

STANISŁAW KRAMSZTYK

WYBÓR PISM

TOM I

Z PORTRETEM AUTORA

1909

WYBÓR PISM
STANISŁAWA KRAMSZTYKA

TOM I.



Przeworski

WYBÓR PISM
STANISŁAWA KRAMSZTYKA

WYDANY STARANIEM GRONA

JEGO KOLEGÓW, PRZYJACIÓŁ I UCZNIÓW.

TOM I.

Z PORTRTEM AUTORA.



WARSZAWA

Druk Rubieszewskiego i Wrotnowskiego, Włodzimierska 3/5.

1909.

SŁOWO WSTĘPNE.

Bogata spuścizna piśmiennicza po zmarłym w dniu 22 grudnia 1906 roku Stanisławie Kramsztyku składa się z szeregu doskonałych podręczników do nauki Matematyki, Fizyki i Astronomii, które służą i długo jeszcze służyć będą z pożytkiem w nauczaniu tych przedmiotów, oraz z wielkiej liczby rozpraw i artykułów z różnych gałęzi nauk przyrodniczych, które Autor w ciągu lat przeszło czterdziestu ogłaszał stale w najpoważniejszych wydawnictwach i czasopismach. Pewną część tych artykułów, wyróżniających się, jak wszystkie prace Kramsztyka, doborem treści i wysokimi zaletaniami wykładu, zebrał Autor w tomie „Szkiców przyrodniczych z dziedziny Fizyki, Geofizyki i Astronomii“, wydanym w r. 1893 na uczczenie trzydziestolecia jego pracy autorskiej przez grono przyjaciół. W roku 1904 ogłosił zbiór pierwszy nowego wydania tych „Szkiców“, zamierzając w zbiorach następnych zgromadzić najważniejsze swe rozprawy tak dawniejsze, jak i w późniejszych latach pisane, a dotyczące zasadniczych pytań naukowych oraz najważniejszych odkryć i badań w dziedzinie Fizyki, Geofizyki i Astronomii. Zamiaru tego spełnić już nie mógł...

Po zgonie nieodżałowanego pisarza i pedagoga wielbiciele jego zasług postanowili ziścić życzenie zmarłego, kierując się przeświadczeniem, że składając tym sposobem cześć jego pamięci, dadzą zarazem piśmiennictwu polskiemu książkę pożyteczną, mogącą wyrzucić wpływ zbawienny na krzewienie wiedzy rzetelnej i na podniesienie zamiłowania do nauk przyrodniczych, których uprawę poczytywał on zawsze za jedną z najważniejszych dźwigni oświaty i postępu w społeczeństwie. Tym to sposobem powstał

SŁOWO WSTĘPNE.

Wybór pism Stanisława Kramsztyka, którego tom I oddajemy do użytku czytelników.

W pracy nad przygotowywaniem do druku tych pięknych „Szkiców“ Stanisława Kramsztyka towarzyszyło mi stale żywe wspomnienie niezapomnianego przyjaciela, który przez długie lata świecił nam, towarzyszom i świadkom jego pracy, przykładem rzadkiej wytrwałości wśród nieprzyjaznych warunków. Jego wiedza głęboka i wszechstronna, jego pogląd światły na sprawy społeczne, jego gorąca miłość nauki i umiłowanie kraju rodzinnego przemawiały do mnie z tych kart, pisanych językiem pięknym, ze ścisłością uczonego badacza a z prostotą i jasnością wytrawnego pedagoga. I pomyślałem, iż dobrze się stanie, że te prace, na których kształciły się pokolenia dawniejsze, pójdą w świat i pełnić będą w dalszym ciągu, wśród pokoleń młodszych, tę służbę publiczną, jaką za życia pełnił zaszczytnie ich Autor, i budzić będą wśród tych pokoleń cześć dla nauki i głosić pamięć o człowieku, który w tych pracach złożył „myśli swych przędzę i uczuć swych kwiaty“.

S. Dickstein.

Warszawa w grudniu 1908.

SZKICE PRZYRODNICZE
Z DZIEDZINY
FIZYKI, GEOFIZYKI I ASTRONOMII.

PRZEDMOWA.

— Nie uwierzysz, mówił mi przyjaciel mój — nowelista, ile to pracy włożyć trzeba w obrobienie stylowe, jak namozolić się wypada nad wygładzaniem języka.

— Rozumiem, wiem, sam się przecież staram...

— Och, tobie to wszystko jedno, rzeczy takich nikt nie czyta.

Nie mogę przeczyć przyjacielowi memu: pomimo to, dla tego może właśnie, przydatny będzie zbiorowy ten przedruk prac, zamieszczonych we „Wszechświecie“, w „Ateneum“, w „Bibliotece Warszawskiej“, choćby jako protest przeciw zbyt wyłącznemu rozwielmożnieniu się noweli i powieści w czytelnictwie naszym.

Umysłowe, duchowe nasze wymagania, podobnie jak i materialne, zaspokojenia potrzebują, a począwszy od pewnej miary dobrobytu i od pewnego stopnia wykształcenia dla jednostki, zarówno jak i dla społeczeństwa, znaczenia coraz większego nabierają. Śród tych potrzeb umysłowych wybitne miejsce zajmuje poznanie otaczającego nas świata, badanie przyrody. Cywilizacja nasza przedewszystkiem na podstawie wiedzy przyrodniczej się opiera, dzieje jednej i drugiej postępują równorzędnie obok siebie. Kopernik otwiera zarówno przyrodoznawstwo nowoczesne, jak i nowożytny okres cywilizacji. Pogląd nasz na świat w każdej epoce zależy od spóczesnego stanu wiedzy przyrodniczej, a w miarę jej rozwoju coraz ściślej się z nią jednoczy; już dla tego względu znajomość zasad i rezultatów nauk przyrodniczych jest niezbędnym warunkiem ogólnego wykształcenia.

Dla ogółu wykształconego popularyzacja wiedzy przyrodniczej, niezależnie od materiału, jaki przynosi, ma jeszcze to znaczenie, że umysł strawą naukową odżywia. Troski i drobiazgi życia codziennego coraz nas bardziej oddalają od czasów młodości naszej, coraz bardziej zrywają węzły z tym okresem życia naszego,

który nauce wyłącznie jest poświęcony, — od tej dziedziny sprawy życia potocznego coraz nas dalej usuwają. Ale i poeta, zdala od zakątka domowego, choć mu lira z rąk wypada, śpiewać nie przestaje:

„By choć w swej piersi spróbować tchu,
Czy po dawnemu, świeży i czysty,
Stepowe wichru wygra poświsty“.

Życie z troskami swemi i drobiazgami podobnem jest wygnaniem, na którym obumiera zwolna młodzieńcza jędrność umysłu i którą podtrzymywać nam trzeba. Zadanie to spełnia najlepiej materyał, jaki popularyzacya wiedzy przyrodniczej przynosi.

— Czy tylko to książka lekko pisana?

Jest to pytanie nieuniknione, — przywykliśmy lekkość uważać za główną zaletę pisarza. Piszcie lekko — mówią nam — ogół nasz nawykł do rzeczy lekkich, potrzebuje czytania lekkiego. To rzecz tak lekka — zaleca najlepiej wydawca swój nakład — że ją w łóżku przed zaśnięciem czytam. Rzekłbyś, że słyszysz ironiczną pochwałę:

„Jak ślicznie, lekko tańczysz pan“.

Książce popularnej lekkość nadać można dwiema tylko drogami, — bądź pomijając wszelkie poważniejsze sprawy nauki, bądź też traktując je w sposób pobieżny jedynie.

Jeżeli wszakże książka odzwierciedlać ma postęp nauki, która coraz głębiej w tajniki przyrody się przedziera i nie unika dróg choćby najmozolniejszych, nie można rzeczy prowadzić w sposób anegdotyczny i poprzestawać wyłącznie na drobiazgach dla tego tylko, że łatwiej je napisać i przeczytać.

Pobieżne znów traktowanie przedmiotu polega na podawaniu gotowych rezultatów nauki z pominięciem dróg, jakimi ona rezultaty te zdobywa, jakimi do celów swych dąży. Są całe książki, głośne i chwalone nawet, które się w ten sposób z nauką załatwiają. Możemy tam lekko przeczytać, że do Słońca tyle a tyle milionów mil, albo że światło czerwone jest objawem tyłu a tyłu trylionów drgań na sekundę, ale nie poznamy zgoła metod, które nam świadomość tę osiągnąć dozwoliły. Taka wszakże znajomość rzeczy pozorna jest tylko; nie to bowiem, co wiemy, ale jak wiemy, stanowi umysłową posiadłość naszą. Jeżeli nauki przyrodnicze, wskutek wysokiego swego rozwoju, innym gałęziom wiedzy przodują i za wzór im służą, to właśnie raczej dzięki wyrobieniu swych metod, aniżeli osiągniętym przez siebie rezultatom.

Nie za lekkością tedy ubiegać się ma popularyzacya wiedzy, starać się jej raczej o dostępność należy.

Rzecz popularna od wykładu ścisłego tem się przedewszystkiem różni, że winna mieć na uwadze czytelnika, dla którego przedmiot rozważany nowym jest zupełnie i obcym. Winna tedy wątek swój snuć od początku samego i od zasad najprostszych, a gdzie ich uniknąć nie zdoła, podsunąć winna wyjaśnienie. Wykład popularny ma być tylko tłumaczeniem, czy też przekształceniem kunsztownych form i mozolnego języka naukowego na mowę jasną i zrozumiałą dla wszystkich.

Dostępność więc osiąga się jedynie sposobem przedstawienia rzeczy, nie omijaniem trudności, ale ich pokonywaniem. Nie treścią swoją, ale formą różnić się tylko może nauka popularna od ścisłej, a przez tę formę swoją wiąże się ona z literaturą ogólną. Jest ona nauką i literaturą zarazem; jako nauka czerpać może swój materiał z badań umiejętnych jedynie; jako literatura troszczyć się winna o sposób, w jaki swe myśli wypowiada.

Ton tylko popularności różny być musi; brzmień będzie inaczey w piśmie ludowem, aniżeli w książce, dla warstw wykształconych przeznaczoney. Na uwadze tu miałem czytelników, którym znane są już te pojęcia, co stały się udziałem życia zwykłego; te wyrazy, co weszły w skład mowy potocznej; te wreszcie zasady, które daje szkoła, choćby w zakresie najskromniejszym wiedzy przyrodniczą traktująca.

— A czy to ostatnie słowo nauki?

I na to pytanie czekałem. Ostatnie słowo nauki ma dla nas urok szczególny, stało się frazesem ulubionym; jest to ułuda, że najnowsze odkrycie i hipoteza najświeższa za umiejętność całą starczą, że wiedzę poprzednią strącają, jak rupiecie bezużyteczne.

Ułudę tę podsycya żywy ruch nauki dzisiejszej, szybki jej rozwój, zdobycze olśniewające; głównie wszakże źródło jej stąd płynie, że do oceny postępów wiedzy zbyt słabo miarę historyczną stosujemy. Na dzieje nauki uwagę niedostateczną zwracamy. Podręczniki nauki ujmują wszystek zasób wiedzy w całokształt uporządkowany, w systemat logicznie związany. Nadaje to nauce charakter dogmatyczny; utajają się przeobrażenia, jakim ona ulega; zapominamy, że podręczniki odsłaniają nam tylko obraz bieżącego stanu nauki.

Uderzający zwłaszcza przykład takiego dogmatyzmu pozorowego, w którym zaciera się żywioł historyczny, daje nam Matema-

tyka elementarna. Nie dostrzegamy zgoła roboty, która gmach ten wzniosła: każdy szczegół jest w nim tak na właściwym miejscu osadzony, że wydaje się, jakby tam wybujał sam przez się, nie domyślamy się pracy, która go tam mozolnie wtoczyła; nie przypuszczamy, że jest tu jeszcze miejsce na poglądy rozleglejsze lub odmienne, że w innym oświetleniu całość inaczej przedstawiać się może. Nie tak wybitnie jak w Matematyce początkowej, ale w pewnej, mniejszej lub większej mierze błąd ten rodzą i usystematyzowane wykłady innych działów wiedzy. Oswajamy się z bieżącym stanem nauki i przyswajamy go sobie, wydaje się nam ostatniem słowem nauki; zapominamy, że każdochwilowy stan wiedzy rezultatem jest tylko prac ubiegłych, podstawą badań dalszych. Wiemy aż nadto dobrze, jak opornie ustępują teorie dawne; nowe poglądy utrwalają się w nowem dopiero pokoleniu, by dalej znów innym miejsca swego ustąpić.

Gdy błyskawica nagle pomroki ciemnej nocy rozjaśnia, toczący się wóz nieruchomym się nam wydaje; aby bieg kół dojrzeć, trzeba oświetlenia trwałego. W blasku iskry elektrycznej bieżącej chwili nauka przedstawia się jak posąg wykończony; w pełnem oświetleniu historycznem poznajemy ją jako organizm żyjący, na tle dziejowem ujawnia się w niej żywioł zmienności.

Jest linia krzywa, spiralną logarytmiczną zwana, która się w skrętach niezliczonych wije dokoła punktu, opasuje go coraz częściej, zbliża się doń ustawicznie, ale osiągnąć go nigdy nie zdoła. Taki jest los nauki, — ostatnie jej słowo na niedościgłym mieści się punkcie.

I luźne więc te kartki, z całości wiedzy wydarte, pełne są badań nieukończonych, pytań nierozstrzygniętych. Jak we wszelkich sprawach życia, tak i w nauce dążeniem tylko do celu, nie zaś osiągnięciem celu zadowalać się nam przychodzi. Jest to rezygnacja, którą wyraził już Seneka, gdy rozwikłać się starał zagadkę komet:

„Nadejdzie czas, gdy to, co teraz jest utajone, długich wieków pilność na jaw wydobędzie... Nadejdzie czas, gdy potomkowie nasi dziwić się będą, żeśmy rzeczy tak jasnych nie znali“.

Słowa te służą nam dziś, jak przed dwoma tysiącami lat. Powtarzać je będzie i przyszłość daleka.

I.

C Z A S.

. W łonie słowa
Razem ze światem poczęty,
Jestem ja, czas, niepojęty...

Niepojęty dla poety, niepojęty jest i dla przyrodnika. Przyrodnik wszakże tem się nie kłopotuje i usuwa zupełnie potrzebę definicji; o określenie czasu zgoła się nie troszczy, — pozostawił ten móżół filozofom. Szczęśliwe złudzenie, czy rozumne zaparcie. Chłodniejszy niż poeta, znosi spokojnie okowy, które mu przyroda nałożyła, i rozerwać się ich nie sili; skromniejszy niż filozof, nie wybiega poza kresy, do których mu drogę zmysły utworować mogą. Co jest czas, nie pyta; pociąga go tylko w zakres swych rozważań, ocenia, wynajduje przyrządy do jego mierzenia, oblicza przeszłość Ziemi, stara się przyszłość Świata odcyfrować. Z tak rozległego obszaru, rozrzuconego po całej dziedzinie badań przyrodniczych, wydobyć tu pragniemy kilka luźnych ustępów.

I.

Świadomość upływającego czasu budzą w umyśle naszym tylko zmiany wokoło nas i wewnątrz nas zachodzące, stosunki między rzeczami istniejące. W przestrzeni, wypełnionej materją jednorodną i niezmienną, pojęcie nasze czasu nie miałyby żadnego znaczenia; jest ono bowiem abstraktem tylko, oderwaniem dostrzeżeń naszych i doświadczeń. Dla tego też mówić nie możemy o czasie bezwzględnym, czyli niezależnym od wszelkiej zmiany.

Newton wprowadzicie w uwadze, która następuje bezpośrednio po określeniach podanych na początku wielkich jego „Principiów“, wyróżnia czas bezwzględny i względny, podobnie jak mówi o bezwzględnej i względnej przestrzeni. „Czas bezwzględny, prawdziwy

i matematyczny, płynie sam przez się i dla natury swej jednostajnie i niezależnie od jakiegokolwiek przedmiotu zewnętrznego; można go również oznaczać nazwą trwania. Czas względny, pozorny i zwykły, jest dotykana i zewnętrzną miarą trwania, którą się posługujemy zamiast czasu prawdziwego, jak godzina, dzień, miesiąc, rok“. Mach wszakże w swej „Historii Mechaniki“ sądzi, że Newton okazał się tu niewiernym swemu założeniu rozpatrywania rzeczywistości tylko. Czas ten bezwzględny bowiem nie ma żadnej wartości praktycznej ani naukowej; nikt twierdzić nie może, by o nim cokolwiek wiedział, jest to przeto czcze wyobrażenie metafizyczne.

Pojęcie czasu osiągamy, zestawiając treść naszych wspomnień, zasób dostrzeżeń, w pamięci naszej zawartych, z wrażeniami, jakie nam ustawicznie świat zewnętrzny przynosi. Wszelkie wyobrażenia zatem nasze o czasie odpowiadają przebiegowi zjawisk w przyrodzie. „Jeżeli twierdzimy, mówi Mach, że czas upływa w określonym kierunku, to znaczy, że objawy fizyczne, a zatem i fizjologiczne, dokonywają się tylko w pewnym oznaczonym kierunku. Wszystkie różnice stanu temperatury lub elektryczności, wogóle wszystkie różnice poziomów, same sobie pozostawione, nie stają się większymi, ale mniejszymi. Gdy rozpatrujemy dwa stykające się ciała niejednakowej temperatury, zbiegać się mogą jedynie większe różnice tej temperatury w obszarze naszych wspomnień z różnicami mniejszymi w obszarze naszych dostrzeżeń. W tem wszystkim ujawnia się jedynie właściwy, głęboko sięgający związek rzeczy“. Według tego zatem, dla tego tylko nie pojmujemy cofania się czasu, że rzeka wstecz nie płynie, że piec rozgrzany sam przez się nie rozpala się wyżej, że my sami starzejemy się, a nie odmładzamy. Dla tego tylko, że ogół zjawisk w przyrodzie odwrócić się nie dozwala, wydaje się nam i czas nieodwracalnym, chwila upłyniona niepowrotną. Wyobrażenia nasze wychylać się nie mogą poza szranki przyrody, a pojęcie czasu jest wyrazem zmian w niej zachodzących. Gdzie panuje nieruchomość zupełna, tam o czasie mowy być nie może.

Dla tego też, jako czynnik naukowy, czas wtedy dopiero mógł wystąpić, gdy ruch stał się przedmiotem badań. Wszystko, co starożytni z Mechaniki wiedzieli, tyczyło się jedynie Statyki, której ściśle podstawy dał Archimedes. Skąpe wiadomości o ruchu w Fizyce Arystotelesa są wręcz błędne; według niej ciała ciężkie opadają na dół dla tego, że szukają miejsca swego, które właśnie

u dołu przypada, co też uzasadnia pozorne dostrzeżenie, że ciała cięższe spadają prędzej aniżeli lżejsze. Dynamika jest nauką zupełnie nowożytną, rozpoczyna się od badań Galileusza nad spadkiem ciał. W poszukiwaniach tych wybija się duch nauki nowożytnej, który usuwa na plan dalszy pytanie, dla czego ciała spadają, a przede wszystkim usiłuje wykryć, jak ciała spadają, poszukuje praw spadku. Prawa te obejmują zależność, jaka zachodzi między drogą przez ciało spadające przebytą a czasem, na przebycie tej drogi łożonym, zarówno jak zależność między czasem a osiąganą w każdej chwili prędkością. Uchwycenie tych związków (1638 r.) stanowi z różnych względów jedną z najważniejszych w dziejach nauki epok; odkrycia Galileusza otwierają nowożytny okres przynajmniej Mechaniki i Fizyki, jeżeli dzieje nowożytne przyrodoznawstwa w ogólności odnieść zechcemy do Kopernika.

Prawa wykryte przez Galileusza uczą, że prędkości nabyte przez ciała swobodnie spadające rosną jak czasy, drogi zaś przez nie przebyte jak kwadraty z czasów; co znaczy, że gdy ciało spada przez czas dwa, trzy, cztery razy dłuższy, osiąga prędkość również dwa, trzy, cztery razy większą, przebywa zaś drogę cztery, dziewięć, szesnaście razy dłuższą. W tak wyrażonych prawach Galileusza po raz pierwszy występuje czas jako czynnik zasadniczy w Mechanice i Fizyce, z którym one odtąd liczyć się mają bezustannie, na którym opierać mają ocenę wszelkich swych wielkości, jakie w miarę rozwoju nauki coraz się więcej mnożą i coraz ściślejszego nabierają znaczenia. Wszystkie bowiem objawy, których badanie stanowi przedmiot Fizyki i wspartych na niej gałęzi wiedzy przyrodniczej, są objawami ruchu, wyjaśnienie zaś ruchu wymaga ujęcia związku między masą, drogą i czasem. Są to pojęcia zasadnicze, do których sprowadzają się wszelkie ściśle rozważania w Fizyce. Jednostki zatem, przyjęte dla oceny tych trzech wielkości, są to jednostki podstawowe, zasadnicze; z nich zaś budują się jednostki dalsze, złożone, pochodne, które nam służą do wyrażenia wszelkich innych, jakkolwiek złożonych i zawiłych wielkości. Im widoczniejszą i lepiej rozumianą stawała się wzajemna zależność sił przyrody, tem konieczniejszą okazywała się potrzeba jednolitego układu miar, aż wreszcie, po wielu mitręgach, do ostatecznego wprowadzenia go zagniął bujny rozrost badań i zastosowań elektrycznych. W układzie tym miar, dla którego przyjęto nazwę absolutnego czyli bezwzględnego, nadaną przez Gaussa, jednostką masy jest gram, jednostką długości centymetr, jednostką czasu

sekunda, a wszystkie wielkości mechaniczne i fizyczne wyrażają się i oceniają za pośrednictwem tych jednostek niezależnych. Postęp nauki znamionuje się dokładnością, z jaką wyrażać i oceniać umie rozpatrywane przez siebie wielkości: czas, wchodząc w skład pojęć i jednostek zasadniczych, stał się niezbędnym czynnikiem należytych określeń i ścisłych oznaczeń w nauce, a za jej pośrednictwem i w technice.

W badaniach Galileusza nad związkiem, jaki zachodzi między drogą i prędkością ciał spadających a czasem na spadek tenłożonym, tkwi też zaród innego jeszcze szeregu rozważań, początek głębokich pomysłów, które złożyły się w Matematykę wyższą, ten najdzielniejszy środek, jakim umysł ludzki rozporządza. Pierwotne mianowicie pojęcie prędkości, jakie istniało w czasach przedgalileuszowych, jest bardzo proste, jest to bowiem droga, przebyta przez ciało w ciągu pewnej jednostki czasu. Pociąg kolei żelaznej, który przez dziesięć minut ujeżdża 9 kilometrów, pędzi z szybkością 900 metrów na minutę, albo 15 metrów na sekundę; prędkość zatem oznacza się stosunkiem drogi do czasu: $v = \frac{s}{t}$. Rozumienie

wszakże takie służyć może tylko, gdy pociąg zdaleka od stacyi posuwa się z chyżością jednostajną; rzecz przedstawia się trudniejszą daleko do ujęcia, jeżeli rozważamy bieg pociągu wtedy, gdy ze stacyi wyrusza lub do następnej dobiega; wtedy bowiem sunie on coraz prędzej lub coraz wolniej, z szybkością zatem zmienną. Nie możemy już wtedy mówić o prędkości w ciągu minuty lub sekundy, jest ona bowiem inna w każdej, by najdrobniejszej chwili. Należy przeto brać tu pod uwagę jedynie niesłychanie drobny przeciąg czasu, maleńki jego przyrost Δt , i podobnie niesłychanie drobną cząstkę, drobny element drogi Δs , w tym czasie przez ciało przebyty, a według określenia powyższego prędkość w tym nikłym przeciągu czasu wyrazi się stosunkiem $\frac{\Delta s}{\Delta t}$. Ale i to wyobrażenie

dostateczne jeszcze nie jest, nie stanowi to bowiem jeszcze prędkości w danej chwili, o którą tu właśnie idzie. Przyjąć tedy dalej należy, że w powyższym stosunku oba wyrazy, element czasu i odpowiadający mu element drogi, maleją coraz bardziej, zmniejszają się nieograniczenie, schodzą do zera; nie znaczy to wszakże, aby z zanikiem obu tych wielkości zmierzał do zera i sam ich stosunek. Dąży on owszem do pewnej oznaczonej granicy, do pewnej wartości, która właśnie stanowi prędkość w danej chwili i którą ozna-

czamy przez $\frac{ds}{dt}$. Nowe to pojęcie zawiera w sobie i pierwotne określenie prędkości w ruchu jednostajnym, gdy jednak w tym ostatnim ruchu prędkość czyli wielkość $\frac{ds}{dt}$ jest zawsze stała, przedstawia ona w biegu zmiennym wartość coraz inną.

Zmiana, jakiej prędkość ulega, stanowi jej przyspieszenie. Przyspieszenie to znów może być bądź statecznie jednakie, jak to ma miejsce w biegu pociągu wyruszającego ze stacyi lub w spadku ciał zbiegających ku Ziemi, bądź też wciąż zmiennie, jak przy kołysaniu się wahadła. Względnie tedy do czasu zależność między prędkością v a przyspieszeniem jest takąż sama, jak w poprzednim rozważaniu zależność między drogą a prędkością, czyli że przyspieszenie φ w każdej chwili wyraża się przez podobny stosunek graniczny: $\varphi = \frac{dv}{dt}$.

W najprostszych słowach stosunek ten oznacza przyrost, jakiego doznaje w każdej chwili prędkość ciała; łatwo więc pojmujemy, że jest on w biegu jednostajnym równy zeru, w jednostajnie zaś przyspieszonym ruchu ciał spadających ma wartość zawsze stałą.

W słownictwie matematycznym graniczne te stosunki mają nazwę ustaloną; mówimy, że prędkość jest pochodną drogi, tak jak przyspieszenie pochodną prędkości, a zatem drugą pochodną drogi. Wielkości te tak są ze sobą związane, że skoro znamy prawo, wedle którego ciało drogę swą przebywa, możemy przez „różniczkowanie“ wyprowadzić jego prędkość i przyspieszenie w każdej chwili, jak znów znajomość przyspieszenia dozwoli nam przez „całkowanie“ wysnuć prędkość i drogę przebytą przez ciało w danym czasie. Rozważania te wszakże nie ograniczają się bynajmniej do pojęć mechanicznych, ale w podobny sposób rozprze-strzeniają się do wszelkich zmiennych, które wymierzać możemy, i stanowią ogólne tło zasadnicze, na jakim rozpościera się cała wyższa analiza matematyczna.

Dodać należy, że tak rozległe rozwinięcie, a zwłaszcza sformułowanie tych pojęć zawdzięczamy dopiero Newtonowi i Leibnizowi; nastąpiło to zatem znacznie później po Galileuszu, niemniej jednak pierwsze źródło tych odkryć tkwi już w badaniach jego nad prędkością i przyspieszeniem ciał spadających. Nieprzerwany bowiem i jednostajny bieg czasu najłatwiej pozwala uchwycić owe stosunki graniczne, a następnie wyobrażenia te rozciągnąć i do in-

nych kategorii wielkości. W nazwie fluksyi, użytej przez Newtona do oznaczenia owych stosunków, dla których przyjmuje się obecnie nazwę pochodnych, zdradza się wyraźnie pierwotny wywód tych pojęć z biegu, z płynięcia czasu.

W pojęciu przyspieszenia, które Galileusz do nauki wprowadził, mieści się zarazem i dokładniejsze rozumienie siły, jako przyczyny wywołującej ruch, a zarazem możliwość jej oceny. W biegu ciał spadających, zatem w ruchu pod wpływem Ziemi zachodzącym, przyspieszenie to wynosi dziesięć (dokładniej 9,8) metrów na sekundę. Gdyby przyciąganie Ziemi działało silniej, ciała biegłyby prędzej; gdyby było słabsze, ruch ten byłby wolniejszy; przyspieszenie zatem, jakie rzeczywiście nadaje Ziemia biegnącym ku niej ciałom, stanowi istotną miarę jej przyciągania. Taż sama uwaga tyczy się wszelkich innych sił, w ogólności zatem siły i działania ich rozumieć, oceniać i porównywać między sobą możemy jedynie w związku z czasem, od niego bowiem zależą bezpośrednio pojęcia prędkości i przyspieszenia.

Przytoczone tu przykłady starczą, by wskazać, jak zasadnicze znaczenie przedstawia czas w badaniu przyrody i w najdonioślejszych rozważaniach naukowych.

II.

Od tych wywodów teoretycznych zstępując do względów praktycznych, spotykamy się z kwestyą rachuby czasu. Z samej natury rzeczy wynika, że przy pomiarach czasu mniej, aniżeli przy mierzeniu jakichkolwiek innych wielkości, posługiwać się możemy jednostkami dowolnymi; przez następstwo bowiem dni i nocy oraz przez kolejny przebieg pór roku, czyli przez objawy podwójnego ruchu Ziemi, przyroda tak potężnie oddziałuje na wszelkie sprawy nasze, że okresy te, dobę i rok, narzuca nam jako naturalne jednostki czasu. Konieczność ustalenia dogodnej i pewnej rachuby czasu była już w zamierzchłej starożytności główną podniętą do rozpatrywania zawiłych ruchów ciał niebieskich.

Pozorny obrót sklepienia niebieskiego, wschód i zachód rozrzuconych w przestrzeni brył niebieskich, jest odzwierciedleniem obrotu ziemi dokoła jej osi. W drodze swej od wschodu do zachodu każda gwiazda wznosi się raz na dobę najwyżej nad poziom, przechodząc przez południk danego miejsca; dwa kolejne zatem przejścia jednej i tej samej gwiazdy przez południk znaczą czas

obrotu Ziemi i obejmują dzień gwiazdowy czyli astronomiczny. Należałoby tu wprawdzie mówić nie o dniu ale o dobie, pożyteczny ten wszakże wyraz nie przedarł się z mowy potocznej do naszego słownictwa naukowego, zapewne dlatego tylko, że oprócz dawnych greków (*νοχθήμερον*) i dzisiejszych holendrów (*etmaal*) nie mają inne narody zachodnie w swych językach terminu na oznaczenie dnia i nocy zarazem; ze szkodą więc dla ścisłości wyrażenia i z ujmą dla bogactwa języka przywykliśmy mówić o dniu w znaczeniu doby.

Rachuba wszakże czasu według dni gwiazdowych, wystarczająca zupełnie dla astronoma, byłaby zbyt niedogodna w życiu praktycznem, które zostaje w zależności od biegu gwiazdy dziennej, od słońca. Słońce zaś w ciągu roku ulega (pozornemu wskutek rzeczywistego ruchu Ziemi) ruchowi na wschód; przeciąg zatem czasu, jaki upływa między dwoma kolejnymi przejściami Słońca przez południk, musi być nieco większy, aniżeli między dwoma przejściami gwiazdy stałej, innemi słowy — dzień słoneczny jest dłuższy od gwiazdowego. W ciągu roku Słońce kończy pełną swą drogę między gwiazdami, gwiazda zatem stała w zestawieniu ze Słońcem zyskuje w ciągu tego czasu jeden obieg dokoła Ziemi, skąd wynika, że dzień słoneczny dłuższy jest od gwiazdowego w stosunku $366\frac{1}{4}$ do $365\frac{1}{4}$; jeżeli pewnego dnia Słońce przechodzi przez południk danego miejsca wraz z pewną gwiazdą, to dnia następnego opóźnia się względem niej o 4 minuty blisko (3 m. 57 sek.) czasu gwiazdowego.

I „prawdziwy“ wszakże czas słoneczny zleby nam służył w życiu zwyczajnem, roczny bowiem ruch Słońca zgoła nie jest jednostajny, a to z dwu powodów. Powód jeden stanowi eliptyczność drogi ziemskiej, skąd prędkość kątowna Ziemi, a tem samem i pozorna prędkość Słońca jest zmienna: największa w grudniu, gdy Ziemia najbliżej jest Słońca, najpowolniejsza w czerwcu, gdy odległość Ziemi od Słońca jest najznaczniejsza. Ważniejszy jeszcze jest powód drugi, polegający na tem, że Słońce posuwa się nie po równiku ani po równoleżniku, ale po drodze względem równika pochylonej, po ekliptyce.

Gdyby więc zegary nasze regulowane były według prawdziwego biegu Słońca, musiałyby w pewnych porach roku biedz prędzej, w innych wolniej, trzeba by zatem poświęcić największą ich zaletę, to jest ich chód jednostajny. Korzystniej wypadło tedy odstąpić od rachuby czasu według Słońca prawdziwego i za podsta-

wę jej przyjąc pewne słońce hypotetyczne, słońce „średnie“, które obiega roczną swą drogę po równiku i zupełnie jednostajnie, już to wyprzedzając Słońce rzeczywiste, już pozostając za niem w tyle. Prędkość więc, z jaką się to Słońce posuwa, jest wielkością średnią ze wszystkich w ciągu roku prędkości słońca prawdziwego. Południe średnie przypada, gdy przez południk miejsca przechodzi to Słońce średnie, a czas, upływający między dwoma kolejnymi jego przejściami, stanowi „dzień słoneczny średni“. Zegary słoneczne dają nam czas prawdziwy, ale właściwe nasze zegary wskazują czas średni, który od prawdziwego w różnych porach roku rozmaicie odstępować może, a najwięcej o 16 minut; aby zatem z obserwacji czasu prawdziwego przejść do średniego, należy znać przypadającą na dzień każdą poprawkę, czyli tak zwane równanie czasu, które cztery razy do roku, 15 kwietnia, 14 czerwca, 31 sierpnia i 24 grudnia, schodzi do zera. W tych przeto tylko czterech dniach można zegarki swe nastawiać według zegarów słonecznych, czas bowiem średni zbiega się wtedy z prawdziwym. Natomiast, 11 lutego, w chwili południa prawdziwego zegary wskazywać winny blisko kwadrans na pierwszą (właściwie 14 min. 34 sek. po dwunastej), a znów 2 listopada, również w chwili południa prawdziwego, niespełna jeszcze trzy kwadransy na dwunastą (właściwie brak do południa 16 min. 18 sek.). — Południe zatem naszych zegarów, regulujące podział dziennych naszych zajęć, przyspiesza się lub opóźnia w ciągu roku względem istotnego biegu Słońca, co nie uchodzi pobieżnej nawet uwadze ogółu, przeciąg bowiem czasu od wschodu Słońca aż do południa dłuższy być może albo krótszy, aniżeli przeciąg czasu od południa aż do zachodu Słońca. Zagadka ta tem się poprostu tłumaczy, że wschód i zachód według rzeczywistego dostrzegamy słońca, południe zaś oznaczamy według naszych zegarów, według Słońca urojonego. Gdybyśmy południe rozumieli jako przejście słońca prawdziwego przez południk, nie byłoby żadnej różnicy między przedpołudniowym a popołudniowym okresem dnia; południe wszakże naszych zegarów, według których bieg czasu oceniamy, przypadać może już to bliżej wschodu aniżeli zachodu, już bliżej zachodu aniżeli wschodu Słońca, a różnica dochodzić może aż do półgodziny. W lutym, jak to widzimy z liczb przytoczonych, okres popołudniowy jest o pół godziny krótszy, w listopadzie o pół godziny dłuższy aniżeli okres popołudniowy. Dla tego to słyszymy o rankach dłuższych niż wieczory, lub o wieczorach dłuższych niż ranki; gdybyśmy wszakże

czas mierzyli według zegarów słonecznych, różnica taka nie miałaby miejsca, — ranki i wieczory byłyby zawsze równe.

Podobnie naturalną jednostką czasu, jak dzień, jest i rok, to jest przeciąg czasu, jakiego potrzebuje Ziemia do odbycia drogi swej około Słońca. Rzeczywisty ten ruch Ziemi jest również dla nas niedostrzegalny i wybija się tylko w pozornym biegu Słońca: rok przeto pojmować możemy jako przeciąg czasu, jaki łoży Słońce na ukończenie pozornej swej drogi wśród gwiazd. Gdyby gwiazdy widzialne były za dnia, jakby to miało miejsce w braku atmosfery, bieg Słońca wśród gwiazd moglibyśmy dostrzedz równie łatwo jak przesuwanie się Księżyca, które się bezpośrednio uwarze naszej nastroczą; skoro jednak gwiazdy gasną w blasku Słońca, rozpoznanie jego drogi wymaga obserwacji nieco baczniejszej. W początkach wiosny, tuż po zachodzie Słońca, zbliża się za niem do poziomu Aldebaran, gwiazda pierwszej wielkości z konstelacji Byka, dająca się łatwo po czerwonym swem świetle rozpoznać; Słońce więc przypada w tej epoce na niebie nieco na zachód względem Aldebarana. W ciągu następnych jednak tygodni Słońce zachodzi coraz później, przesuwając się zatem ku wschodowi, przystępuje coraz bliżej do Aldebarana, aż wreszcie zachodzi z niem razem i gwiazda przestaje być dla nas widzialną. W dalszym swym biegu Słońce oddala się coraz bardziej na wschód od wspomnianej gwiazdy, aż po kołowej swej drodze znów zbliży się do niej od zachodu i znajdzie się w tem samym względem niej położeniu, jakieśmy pierwotnie uważali. Przeciąg ten czasu właśnie, po jakim Słońce wraca do teje samej gwiazdy stałej, wskazuje nam czas obiegu ziemi około słońca i nazywa się „rokiem gwiazdowym“.

W drodze tej po wielkim okręgu niebieskim bawi Słońce przez jedno półrocze na półkuli nieba północnej, przez drugie na południowej; dwukrotnie zatem w ciągu roku przekracza równik niebieski w tak zwanych punktach równonocnych, znacząc tem chwile początku wiosny i jesieni. Przez zestawienie własnych swych obserwacji z dostrzeżeniami dawniejszych astronomów poznał już Hipparch, największy z astronomów starożytnych, w drugim wieku przed Chr., że gwiazdy na wschód względem punktu wiosennego położone wciąż się od niego oddalają, a natomiast gwiazdy na zachód położone ku niemu się zbliżają. Wniósł tedy, że punkt równonocny wiosenny, a przeto też i punkt równonocny jesienny, przesuwają się zwolna ku zachodowi, w ciągu stulecia o 1° przynajmniej. Astronomowie późniejsi oznaczyli dokładnie, że wiel-

kość tej „precesji“ czyli „poprzedzania punktów równonocnych“ czyni 50,2'' rocznie, czyli 1° na lat 70; na wytłómaczenie wszakże osobliwej tej zmiany przyszło czekać dwa tysiące lat blisko. Newton bowiem dopiero wykazał, że jest ona także odzwierciedleniem pewnego powolnego ruchu samej ziemi, wywoływanego przez przyciąganie słońca i księżyca na równikowe jej nabrzmienie.

Precesya wiąże się oczywiście bezpośrednio z kwestyą długości roku, skutkiem niej bowiem obieg roczny Słońca wśród gwiazd nie odpowiada zupełnie ściśle powrotowi pór roku, które zależą przecież od stanowiska Słońca względem ziemi, a nie od położenia jego między gwiazdami. Początek wiosny ma miejsce dla półkuli północnej, gdy Słońce w drodze ku północy krzyżuje równik w punkcie równonocnym wiosennym; jeżeli więc, wyszedłszy z tego punktu, po okrążeniu nieba do niego wraca, napotyka go wcześniej aniżeli gwiazdę, od której się przed rokiem oddaliło, punkt ten bowiem posuwa się naprzeciw słońca o łuk wynoszący 50,2''. Różnica ta w ciągu jednego roku jest nieznaczna, na przebieżenie bowiem tej drogi Słońce potrzebuje około 20 minut zaledwie, z biegiem jednak wieków różnica ta narasta i po upływie tysiąclecia wynosi już prawie dni czternaście. Od określonego wyżej roku gwiazdowego odróżnić tedy trzeba „rok zwrotnikowy“, zatem czas, jakiego Słońce potrzebuje do powrotu do tegoż samego punktu równonocnego, a że od tego roku zwrotnikowego właśnie zależy powrót pór roku, musi on być przyjęty ze podstawę rachuby czasu w życiu zwyczajnem; z tego więc względu należało go ocenić ze wszelką dokładnością, jaką można było osiągnąć jedynie z długoletnich dostrzeżeń. Obecnie długość roku zwrotnikowego wynosi 365,242,217 średnich dni słonecznych, czyli 365 dni, 5 godzin, 48 minut, 47 sekund; mówimy — obecnie, gdyż długość roku zwrotnikowego ulega drobnej zmianie, maleje bowiem w ciągu wieku o 0,505 sekundy. Ubytek ten nie jest wszakże stateczny, a po upływie kilku stuleci przejdzie znów w drobny przyrost. W ogóle chwiejność ta roku zwrotnikowego nie przekracza 19 sekund wyżej lub niżej średniej jego wartości, która przypada na rok 2270 i wynosi 365 dni 5 godzin 48 minut 45 sekund.

Pomiędzy dniem a rokiem, jako trzecia naturalna jednostka czasu, staje miesiąc, obejmujący w pierwotnem znaczeniu czas obiegu Księżyca naokoło Ziemi wraz z osobliwymi odmianami, jakie od obiegu tego zależą. Istotny czas obiegu Księżyca dokoła ziemi, czyli przeciąg czasu, jakiego on potrzebuje, aby wrócił do

I. C Z A S.

też same gwiazdy, wynosi 27 dni i 8 godzin; jeżeli wszakże w pewnej chwili ma miejsce oznaczona odmiana Księżycy, nów, dajmy, lub pełnia, to po upływie tych $27\frac{1}{2}$ dni ta sama odmiana jeszcze nie wraca; postać bowiem, w jakiej nam się Księżyc przedstawia, zależy od stanowiska jego względem Słońca, a w ciągu powyższego czasu Słońce także posunęło się ku wschodowi, i to o taką mianowicie drogę, że księżyc potrzebuje jeszcze przeszło dwa dni za nim pędzić, by się nam w poprzedniej swej fazie ukazał. Uwagę człowieka przykuwa wszakże właśnie następstwo odmian Księżycy, dla tego jednostką miary czasu stać się nie mógł czas obiegu Księżycy dokoła Ziemi, czyli „miesiąc gwiazdowy“ (syderyczny), ale „miesiąc synodyczny“, t. j. przeciąg czasu upływający między jednym a następnym nowem, zatem czas, po jakim Księżyc wraca do poprzedniego swego względem Słońca stanowiska, co wynosi 29 dni i 13 godzin. Obieg Księżycy jednak tak mało wiąże się z objawami przyrody ziemskiej i z losami człowieka, że chyba tylko w praktykach religijnych szukać trzeba przyczyny, dla której u wielu narodów rachuba czasu oparła się na biegu Księżycy.

III.

Gdyby rok zwrotnikowy składał się z całkowitej liczby dni, nie byłoby kłopotu z urządzeniem kalendarza; obejmuje on wszakże niespełna $365\frac{1}{4}$ dnia, a do tej wielkości brak mu tylko 11 minut i 15 sekund. Bezpośrednio tedy posługiwać nie może w stosunkach życia zwyczajnego, gdybyśmy bowiem zachowali $365\frac{1}{4}$ dnia, to rok, któryby się rozpoczął o północy, skończyłby się o godzinie szóstej rano, a w ciągu roku następnego początek każdego dnia liczyłby należało od godziny szóstej, tak jak w ciągu roku dalszego od południa. Celem więc kalendarza jest pogodzenie wymagań życia praktycznego z istotną długością roku zwrotnikowego.

Jak inne zasadnicze urządzenia społeczne, tak też i kalendarz przeszedł do nas od rzymian, którzy go sami zawdzięczali Egipcjowi. Dawni bowiem egipcjanie posługiwali się rokiem słonecznym, ale liczyli go okrągło po dni 365, chwila zatem równonocy wiosennej opóźniała się corocznie o 6 godzin blisko; po upływie 120 lat różnica narastała już do 30 dni, czyli do całego miesiąca, a w ciągu 1460 lat, mniej więcej, różne pory roku obiegałyby wszystkie miesiące. Zmienność ta przypadała do gustu pojęciom religijnym dawnych egipcjan, po upływie bowiem przytoczonego okresu wszystkie miesiące uświęcone byłyby różnemi uroczysto-

ściami religijnemi, których obchód przypadał na różne pory roku; z wymaganiami jednak bardziej uregulowanego życia dzisiejszego stosunki takie pogodziłyby się nie dały.

W pierwszych czasach istnienia Państwa Rzymskiego rok składał się tylko z dziesięciu miesięcy i obejmował 304 dni; Numa dodał styczeń i luty, skutkiem czego liczba dni roku wzrosła do 355. Następnie poznano niedogodność podobnego roku cywilnego, znacznie krótszego od roku zwrotnikowego, i postanowiono poprawić go przez dodawanie co dwa lata miesiąca przybyszowego, zwanego Mercedonius, który wtrącano, w dziwaczny dosyć sposób, między 23 a 24 lutego. I ten wszakże dodatek nie sprowadził pożądanej zgody między rokiem cywilnym a Słońcem, a na domiar złego decyzję co do wprowadzania tego miesiąca dodatkowego i oznaczania jego długości pozostawiono władzy arcykapłana — pontifex maximus. Arcykapłani oczywiście nieomieszkali z władzy tej korzystać wedle swych upodobań lub swych interesów; dawało im to bowiem możność dowolnego oznaczania epoki odnawiania urzędów, co stało się źródłem zepsucia i przekupstwa. Za czasów Juliusza Cezara zamęt doszedł do tego stopnia, że święto żniw przypadało w zimie, a uroczystość zwaną a u t u m n a l i a obchodzono na wiosnę. Dla zaradzenia właśnie takiemu stanowi rzeczy dyktator ten podjął reformę kalendarza, która dotąd imieniem jego jest oznaczona.

Reforma juliańska, zaprowadzona według rady astronoma aleksandryjskiego Sozygenesa, polega na wtrącaniu co cztery lata dnia dodatkowego, przyjmuje tedy długość średnią roku po $365\frac{1}{4}$ dnia; aby zaś pory roku sprowadzić na odpowiadające im daty, rok zaprowadzenia reformy, który był rokiem 709 od założenia Rzymu, albo rokiem 46 przed narodzeniem Chrystusa, przeciągnięto do 445 dni (annus confusionis). Dodać jeszcze należy, że kapłani, którzy mieli reformę tę stosować, nie zrozumieli ustanowionego pravidła i zamiast dodawać dzień przybyszowy po każdym trzech latach, liczyli rok przestępny co każde trzy lata; powstały stąd błąd poprawiono za Augusta przez wytrącenie dni nadliczonych.

Ponieważ długość roku juliańskiego obejmuje średnio dni 365,25, przechodzi więc podaną wyżej długość roku zwrotnikowego o $11\frac{1}{4}$ minuty; różnica ta wydaje się drobną, ale nagromadzając się, czyni po upływie 128 lat całą dobę. Wypływa stąd, że chwila równonocy wiosennej, która za Cezara przypadała 25 marca,

po upływie 128 lat nastąpiła już 24 marca, potem 23 marca, a na koniec w r. 325, w czasie Soboru nicejskiego, miała miejsce 21 marca. Sobór nicejski przyjął kalendarz juliański za podstawę do oznaczania dat świąt kościelnych, a chwilę równonocy wiosennej ustanowił na 21 marca, ale zachował nadal długość roku o 365,25 dniach, tak, że epoka równonocy i następnie cofała się o dzień jeden co lat 128. W końcu więc wieku szesnastego błąd wynosił już 10 dni, porównanie przeto wiosenne przypadło 11-go, a nie 21-go marca. Gdyby rzeczy biegły tak dalej, niezgodność pór roku z odpowiedniami im datami byłaby coraz bardziej rażąca, a uroczystość Wielkiejnocy, którą półkula północna święci powrót Słońca i odzyskanie przewagi dnia nad nocą, obchodzona byłaby w lecie, a następnie i w jesieni.

Na to przesuwanie się wytycznych punktów roku zaczęto zwracać uwagę w wieku XV (Piotr z Alliaço, Mikołaj Cusa); w roku 1475 papież Sykstus IV zaważwał do Rzymu w celu rewizyi kalendarza słynnego Regiomontana, nagła wszakże śmierć tego astronoma, spowodowana może otruciem, zamiar ten obaliła. W 40 lat później papież Leon X ogłosił breve, wzywające do obmyślenia sposobu naprawy kalendarza, a uznanie zjednął sobie wtedy memoriał, złożony przez Marcina z Olkuszka, profesora Akademii Jagiellońskiej. Urzeczywistniony został wreszcie zamiar ten przez papieża Grzegorza XIII, który tą drogą pontyfikat swój uświetnić pragnął; wypracowany z polecenia jego przez Aloizego Lilliusa projekt reformy kalendarza rozesłany został 1577 r. do rozpatrzenia akademik europejskim, a wreszcie powierzony umyślnie ustanowionej komisji, która ostatecznie uchwaliła naprawę kalendarza, od imienia papieża nazwaną gregoryańską.

Reforma ta obejmowała dwie zmiany, jedna tyczyła się błędu bieżącego, druga usuwała źródło tego nieładu w przyszłości; za długość zaś roku przyjęto wartość, podaną w Tablicach Alfonsowych przez nadzorcę synagogi w Toledo, rabi Izaka Abensida, mianowicie 365 dni 5 godzin 49 minut 16 sekund, co od długości roku juliańskiego odstępuje o 10 minut 40 sekund. Porównanie wiosenne sprowadzono do 21 marca przez zniesienie 10 dni, w ten sposób, że dzień następujący po 4 października 1582 r. liczono jako 15 października. Co do przyszłości zaś postanowiono, aby w każdym okresie 400-letnim usunąć trzy dni przybyszowe, a to

według prawidła następnego: W kalendarzu juliańskim przestępny był każdy rok, oznaczony liczbą podzieloną przez 4, wszystkie zatem lata wiekowe, to jest o liczbach zakończonych dwoma zerami, były przestępne; w kalendarzu zaś gregoryańskim z czterech lat wiekowych, po sobie idących, jeden rok tylko jest przestępny, ten mianowicie, którego liczba po odrzuceniu dwu zer podzielna jest przez 4. Według tego rok 1600 był przestępny, lata 1600, 1800, 1900 były zwyczajne, rok zaś 2000 będzie przestępny. Usunięcie trzech lat przestępnych z okresu 400-letniego wychodzi na zmniejszenie średniej długości każdego roku o $\frac{3}{400}$, w kalendarzu zatem gregoryańskim długość średnia roku wynosi $365,25 - \frac{3}{400} = 365,25 - 0,0075 = 365,2425$ dnia.

W porównaniu więc z istotnym rokiem zwrotnikowym rok gregoryański jest jeszcze zadługi, różnica wszakże wynosi zaledwie 0,000283 dnia, ilość tak drobną, że doba cała uzbierać się z niej może dopiero po upływie kilku tysiącleci. Pomimo to obliczano i radzono, jakby i tę nieznaczną niedokładność usunąć; wszelkie jednak środki, któreby osiągały większą ścisłość kosztem dogodności i wytworności reguły gregoryańskiej, sprowadzałyby niepotrzebne zagmatwanie. Rachunki Heisa wskazują, że przy zachowaniu tej reguły, dla utrzymania zgody między kalendarzem a istotną długością roku, dosyć będzie wyrzucać jeden dzień przybyszowy co lat 3200, licząc od r. 3200. W ten sposób lata 3200 i 6400, które, według przepisów reformy gregoryańskiej, byłyby przestępne, w projekcie Heisa są latami zwyczajnymi.

Rzecz wszakże godna uwagi, że persowie, którzy się również rokiem słonecznym posługują, posiadają kalendarz bliżej przystępujący do rzetelnej wartości roku zwrotnikowego, aniżeli gregoryański. Kalendarz, o którym mowa, oddawna już w Persyi używany, polega na okresie 33-letnim, w którym pierwszych lat 28 liczy się jak w kalendarzu juliańskim, to jest o każdym czwartym roku przestępnym, z pozostałych zaś pięciu lat cztery są zwyczajne, a dopiero piąty przestępny. Średnia długość roku wynosi tu dni 365,2424, co odstępstwo jednej doby sprowadza dopiero po 4800 latach; mniejsza jednak prostota reguły pożyteczność jej osłabia.

W dziejach kalendarza ważną rolę odgrywa i rok księżycowy, to jest rok złożony z dwunastu miesięcy księżycowych. Gdyby miesiąc księżycowy liczył okrągło dni 30, a rok słoneczny dni 360, zastosowanie obu tych jednostek do miary czasu nie przedstawiałoby żadnej zgoła trudności. Skoro wszakże, jak widzieliśmy, mie-

siąc synodyczny nie dochodzi o kilka godzin do pełnej liczby dni 30, a rok obejmuje blisko $12\frac{1}{2}$ takich miesięcy, przeto usiłowanie pogodzenia obu tych okresów prowadzi do mozolnych zawikłań, których ślady dostrzegamy, i w niejednakiej długości miesięcy naszego kalendarza.

Miesiąc księżycowy, czyli przeciąg czasu między dwoma nowami, wynosi prawie $29\frac{1}{2}$ dnia, przy posługiwaniu się przeto takimi miesiącami liczono je naprzemian po 29 i po 30 dni. Okres wszakże $29\frac{1}{2}$ dni jest w rzeczywistości o $\frac{3}{4}$ godziny za krótki, w ciągu zatem trzech lat omyłka czyniłaby już pełną dobę, co wymagałoby dodatku dnia do któregokolwiek miesiąca. Nadto rok, z dwunastu miesięcy księżycowych złożony, obejmowałby tylko 354 dni i byłby względem roku słonecznego o 11 dni za krótki. Pomimo tak uderzającej niedogodności był rok księżycowy w użyciu u różnych narodów starożytnych, nawet u greków, a pierwotnie i u rzymian; pewne zaś praktyki religijne, z odmianami Księżycy związane, zapewniają mu dotąd poważanie u narodów wschodnich. Kalendarz mianowicie turecki opiera się na czystym, bez żadnych poprawek, roku księżycowym; każdy zatem dzień nowego roku według tego kalendarza wyprzedza o 11 dni bieg słońca, a różne miesiące i różne święta w krótkim stosunkowo przeciągu czasu obiegają wszystkie pory,—święto obchodzone w lecie po niewielu już latach przypada w zimie.

Zamęt w liczeniu lat u greków został w części usunięty przez wprowadzenie okresu czyli cyklu, wykrytego przez Metona w piątym wieku przed Chr. Cykl Metona opiera się na tem zestawieniu, że w ciągu 19 lat słonecznych Księżyc ulega 235 pełnym swym przeobrażeniom, mianowicie bowiem:

235 lunacyj czyni	6939 dni 16 g. 31 m.
19 lat zwrotnikowych	6939 " 14 " 27 "
18 lat juliańskich	6939 " 18 " 0 "

Na 19 zatem lat słonecznych przypada 235 miesięcy księżycowych, to jest o siedm ponad liczbę $228 = 12 \times 19$; jeżeli się tedy między 19 lat rozrzuci siedm dodatkowych miesięcy, to można w okresie tym przecięciową długość roku doprowadzić do dostatecznej ze Słońcem zgody. Liczby porządkowe każdego roku cyklu Metona, od 1 do 19, oznaczane były złotemi głoskami na pomnikach, skąd poszła nazwa liczby złotej, dotychczas w kalendarzu kościelnym używanej a służącej do wynajdywania daty niedzieli wielkanocnej, która właśnie od biegu Księżycy zawisła.

Kalendarz religijny żydów dotąd opiera się na cyklu Metona, w okresie zatem 19-letnim przypada 12 lat zwyczajnych o 12 miesiącach i 7 lat przestępnych o 13 miesiącach; rok zwyczajny średni ma dni 354, rok przestępny średni dni 384; są wszakże i lata mające mniej lub więcej o jeden dzień, skąd kalendarz żydowski ma lata sześciorakie: o 353, 354, 355, oraz o 383, 384 i 385 dniach. Przeciętna długość roku w kalendarzu tym wynosi 365,242682 dni, przystępuje przeto do prawdziwej wartości roku zwrotnikowego bliżej nawet nieco, aniżeli w kalendarzu juliańskim; zbytnia wszakże zawilóść i znaczna niejednostajność długości roku odejmuje rachubie tej czasu cechę praktyczności.

Pod względem zatem dokładności, z jaką zbliżają się do prawdziwej wartości roku zwrotnikowego, różne kalendarze idą w porządku następnym:

Rok zwrotnikowy	365,242217 dni słoń. średnich	
„ perski . . .	365,242424	„
„ gregoryański	365,2425	„
„ żydowski . .	365,24682	„
„ juliański . .	365,25	„

We wszystkich więc tych kalendarzach średnia wartość roku jest nieco zadługa; widzieliśmy jednak, że w kalendarzu gregoryańskim potrzeba wytrącenia jednego dnia nastąpi dopiero po kilkunastu stuleciach, a dzisiejsze pokolenie sprawą tą zaprzętać się nie potrzebuje zapewne. Nasuwa się wszakże inne pytanie: czy nie znalazłoby się tu miejsca dla drobnych ale użytecznych poprawek, któreby mogły większą jeszcze stateczność i dogodność zapewnić kalendarzowi i przystosować go lepiej do wymagań życia praktycznego?

Wzgląd ten zachęcił zawiązane przed niewiele laty w Paryżu Towarzystwo astronomiczne do ogłoszenia konkursu na najlepszy projekt reformy kalendarza. Podniecię do takiego wystąpienia dało zapewne nowemu Towarzystwu astronomicznemu wspomnienie pierwszej Republiki francuskiej, która, zerwawszy węzły z tradycją chrześcijańską, ustanowiła odrębny zupełnie dla siebie kalendarz o miesiącach 30-dniowych i o pięciu dniach dopełniających, przeznaczonych na obchód święta republikańskiego, oraz o dekadach w miejsce tygodni. Mniej radykalna Rzeczpospolita dzisiejsza okazała się bardziej umiarkowaną i w propozycjach co

do reformy kalendarza. Przeciw dzisiejszemu kalendarzowi podniesiono różne zarzuty; wiele z nich uważać można wprawdzie za niedorzeczne, niektóre jednak wydają się uzasadnione, a tyczy się to mianowicie uwagi, którą jeden z autorów streszcza w ten sposób: przy kalendarzu obecnym lata idą jedno po drugim, ale nie są podobne. Znaczy to, innymi słowy, że niema statecznego związku między dniami tygodnia a datami roku, i trzeba się odwoływać do rachunków dość zmuśnych, gdy chcemy wiedzieć, na jaki dzień tygodnia przypada oznaczona data roku; toż samo powiedzieć można o braku zgodności między dniami tygodnia a datami miesiąca. Zajęcia nasze ustanawiają się według dwu zasad, według dat i według dni tygodnia, pomiędzy którymi żadna nie zachodzi zależność; staje to się źródłem wielu niedogodności i częstych pomyłek. Umowy zawarte na pewną datę przypadać mogą na niedzielę lub inny jaki dzień niedogodny, co sprowadza zawikłanie i stratę czasu; przy rozkładzie wielu zajęć należy z góry poszukiwać, na jaki dzień tygodnia oznaczona data przypada. Przepisy administracyjne, rozkład dni targowych, rozporządzenia szkolne, zgromadzenia stowarzyszeń w oznaczonych terminach i mnóstwo tym podobnych okoliczności, wszystko to ulega nieraz zakłóceniom dla tej niezależności dat od dni tygodnia. Krótko mówiąc, niedogodność polega na tem, że każdy rok wymaga innego kalendarza.

Według tych uwag naprawa obecnego kalendarza polegać ma na tem, aby długość różnych miesięcy była, o ile można, wyrównana, zwłaszcza zaś, aby też same daty roku przypadały na też same dni tygodnia, aby zatem lata po sobie idące były do siebie podobne. Osiągnięcie tego celu wymaga oczywiście pewnych odstępstw od dotychczasowych urządzeń kalendarzowych, z którymi związani jesteśmy długowiecznym nawykniem; należy więc baczyć, aby odstępstwa te jak najmniej były rażące, a nowy kalendarz jak najmniej różnił się od dawnego. Z kilkudziesięciu nadesłanych prac zadanie to najlepiej rozwiązał projekt p. G a s t o n a A r m e l i n, który uzyskał pierwszą na konkursie nagrodę.

Naczelna zasada projektu tego polega na wyłączeniu jednego dnia roku z miesięcy i tygodni; rok bowiem, obejmując 365 dni, składa się z 52 tygodni i jednego dnia. Mielibyśmy zatem każdego roku jeden dzień nadliczbowy czyli uzupełniający, stojący zewnątrz tygodni i miesięcy; byłby to dzień „Nowego Roku“, nie noszący żadnej innej nazwy ani żadnej daty. W roku przestępnym ten „nowy

rok“ musiałby się składać z dwu dni, co cztery zatem lata święto to obchodzonoby w ciągu dwu dni.

Po usunięciu tego jednego dnia, rok, według projektu p. Armelin, dzieli się na cztery równe kwartały, obejmujące po 91 dni; z trzech miesięcy, składających każdy kwartał, pierwszy posiada 31, dwa pozostałe po 30 dni, — każdy przeto kwartał zawiera dokładnie po 13 tygodni. Wypływa stąd, że też same dni tygodnia przypadają na też same daty nie tylko każdego roku, ale nadto każdego kwartału; uproszczenie to, przy oswojeniu się z nowym kalendarzem przez ciągle go użycie, pozwoliłoby łatwo zachować w pamięci rozdział 91 dni w ciągu trzech miesięcy; w każdym bowiem kwartale odpowiadające sobie miesiące przedstawiają zupełną zgodność dat i dni tygodnia. Dwanaście takich miesięcy obejmują 364 dni, a dzień pozostały mieści się na początku roku i nie włącza do żadnego tygodnia ani do żadnego miesiąca. Styczeń rozpoczyna się od poniedziałku, który jest drugim dniem roku; kwiecień, lipiec i październik rozpoczynają się również od poniedziałku i, podobnie jak styczeń, liczą po 31 dni; luty, maj, sierpień i październik zaczynają się od czwartku i zawierają po dni 30; pozostałe wreszcie cztery miesiące, również 30-dniowe, zaczynają się od soboty.

Można do rzeczy tej wielkiej wagi nie przywiązywać, pewnej użyteczności wszakże wprowadzeniu stałego i prawdziwie wieczystego kalendarza odmawiać nie należy. Inicytorowie mieli zamiar poddania tej kwestyi pod rozwałę umyślnie w tym celu zwołanego kongresu, prawdopodobnie jednak nie znaleźliby chętnych uczestników.

IV.

Przy obrocie swym dziennym Ziemia kolejno różne swe strony ku Słońcu zwraca, miejsca zatem dalej ku wschodowi położone wcześniej wschód gwiazdy dziennej witają, aniżeli okolice bardziej zachodnie. Dla miejscowości, na jednym i tym samym południku położonych, chwila południa przypada spólcześnie, punkty natomiast wzdłuż równoleżnika rozrzucone mają godziny różne. Ponieważ w pozornym tym swoim ruchu Słońce w ciągu doby cały okrąg o 360° obiega, co czyni 15° na godzinę, miejsca przeto, różniące się o 15° w długości geograficznej, mają czas o godzinę różny; gdy w Warszawie jest południe, w okolicach Moskwy już go-

dzina pierwsza, na zachodniej granicy Francji dopiero jedenaśta.

Prosta ta więc zależność pozwala z różnicy czasów oznaczać różnicę długości geograficznej. Z biegu Słońca lub gwiazd poznaje żeglarz godzinę miejsca, gdzie się w danej chwili znajduje, a zestawiając ją z godziną wskazaną przez zegar, który nastawił wedle czasu swojego kraju lub portu, z którego wypłynął, wie bezpośrednio, na ile stopni oddalił się ku wschodowi lub zachodowi, gdy znów z obserwacji gwiazdy biegunowej lub z położenia innych brył niebieskich poznaje szerokość geograficzną, pod jaką się znajduje. Z szerokością tylko geograficzną rzecz o tyle prostsza, że gdy równik, do którego ją odnosimy, jest jeden tylko i jakby przez przyrodę samą wskazany, południk każdy rościć sobie może jednaki do pierwszeństwa prawo, buta zaś narodowa nakazuje każdemu państwu posiadać własny swój pierwszy, narodowy południk, co daje powód do narad, kongresów i niezałatwionych dotąd sporów. Szczęściem, nie jest to najcięższy szkopuł w waśniach międzynarodowych, a różnaitość południków nie powoduje kłopotów zbyt wielkich; gorzej, że dokładne oznaczanie długości geograficznej połączone jest z trudnościami znacznie większemi, aniżeli dochodzenie szerokości.

Jak dotąd na morzu, tak dawniej i na lądzie, do oznaczania długości geograficznej posługiwano się głównie przewożeniem zegarów; obecnie z dzielną pomocą przybył telegraf, który z mniejszym zachodem w każdej chwili donieść nam może godzinę oddalonego miejsca. Służyć też mogą i sygnały niebieskie, czyli zjawiska astronomiczne, które dla różnych punktów ziemi zachodzą spólcześnie. Zjawiskiem takim jest przedewszystkiem zaćmienie Księżyca; gdy więc, dajmy, początek pewnego zaćmienia Księżyca obserwowano w Warszawie o 12 godz. 21 min. 21 sek., w Paryżu zaś o 11 godz. 6 min. 33 sek., to różnica obu tych miejsc w czasie wynosi 1 god. 14 min. 48 sek., zatem w długości geograficznej 18°42'. Przy pomocy tablic astronomicznych można też różnicę czasów dwu miejsc wyprowadzić z obserwacji biegu Księżyca i z innych jeszcze objawów niebieskich, a chociaż wszystko to są rzeczy w zasadzie proste, nastroczają, jak nadmieniliśmy, znaczne trudności, skoro idzie o dokładność, jakiej się nauka dzisiejsza domaga. To wszystko zaś wskazuje, jak z tego względu doniosłej wagi czynnikiem jest czas dla astronoma, geografą i żeglarza, jak troskliwie i bezustannie z nim się liczyć muszą; w zakresie zaś tym

Astronomia, tak daleka w ogólnym swym charakterze od spraw ziemskich, nabiera charakteru nauki stosowanej i nagina się do celów praktycznych.

Rozmaitość ta czasu na różnych południkach tłumaczy dalej osobliwy paradoks, który występuje przy podróżach dokoła Ziemi. Jeżeli mianowicie udajemy się na zachód, napotykamy miejsca, mające czas coraz wcześniejszy; zegar nasz zatem pospieszy już o godzinę całą, gdy oddalimy się o piętnaście stopni, czyli na każdy stopień o cztery minuty. Skoro do Nowego Yorku przybędziemy z chronometrem londyńskim, to wskazywać on będzie południe, gdy w mieście tem jest dopiero godzina 7 rano, a jeżeli dalej znajdziemy się w San-Francisco, napotkamy tam godzinę 4 rano, gdy znów chronometr nasz wskaże południe. Gdybyśmy więc, jak to czynili pierwsi żeglarze dokoła świata, nastawiali swój zegar według miejsca, do którego przybywamy, to w miarę posuwania się ku zachodowi coraz więcej pozostawalibyśmy w tyle co do czasu, a przy całkowitem okrążeniu Ziemi odstalibyśmy o całą dobę, przy powrocie do własnego kraju znaleźlibyśmy tam datę o cały dzień późniejszą, tak że pozornie utracilibyśmy dzień jeden; oczywiście—pozornie tylko, gdyż każdy dzień przebyty w podróży był dłuższy od dnia istotnego i to o tyle razy po cztery minuty, ileśmy stopni ku zachodowi przebyli, a zatem wszystkie dni razem były o jedną dobę dłuższe; przeżyliśmy czas jednaki, utraciliśmy tylko jeden zachód Słońca. Przeciwnie, jeżeli się posuwamy ku wschodowi, naprzeciw Słońca, czyli przybywa nam dzień. Verne, umiejący korzystać z takich drobiazgów naukowych, wyzyskuje szczęśliwie tę zasadę w swojej „Podróży dokoła Ziemi w ciągu ośmdziesięciu dni“.

Cesarstwo Rosyjskie i Azja wyprzedzają nas w czasie, Europa zachodnia, ocean Atlantycki, Ameryka zostają za nami w tyle; na oceanie Wielkim zatem istnieje granica oddzielająca miejsca, gdzie przeskakuje data i dzień tygodnia. Dwie przeto miejscowości sąsiednie, mające prawie jedną godzinę, różnią się tam w swej rachubie czasu o jeden dzień tygodnia i o jeden dzień w dacie. Data i dzień tygodnia stron tamecznych zależą mianowicie od tego, czy kultura europejska doprowadzona została od wschodu czy od zachodu; tak np. portugalczycy i holendrzy w swych odkryciach przepływali około Przylądka Dobrej Nadziei, gdy hiszpanie obrali drogę przeciwną, około Ameryki południowej. Stąd wypada, że wyspy zajęte przez hiszpanów pozostają pod względem rachuby czasu o jeden dzień w tyle względem posiadłości portugalczyków

i holendrów. Portugalska miejscowość Macao na wybrzeżu chińskim liczy o jeden dzień więcej niż wyspa Luzon, położona na wschód o pół godziny tylko różnicy co do długości. O tem przekonał się w swym czasie z wielkiem zdumieniem ojciec *Alfons Sanctius*, który się z *Manilli* udał na Luzon do Macao, gdzie według swego mniemania przybył jeszcze w dzień św. Atanazego, 2 maja, przy wylądowaniu zaś poznał, że Portugalczycy obchodzili już dzień Znalezienia św. Krzyża 3 maja. Linia graniczna, oddzielająca miejsca, posiadające różne daty i różne dni tygodnia, ma przebieg nieregularny. Poczynając od bieguna południowego, sunie na brzegu wschodnim Nowej Zelandyi, Hebryd, Nowej Gwinei, pozostawia Filipiny na wschód, Celebes, Borneo, Formozę i wyspy Japońskie na zachód i przez cieśninę Beringa dochodzi do bieguna północnego. Jeżeli na wschód tej linii obchodzą niedzielę, to na zachód jej przypada już poniedziałek.

Rozmaitość czasów w różnych punktach ziem stała się też źródłem pewnego zamętu na drogach żelaznych, których krańcowe i pośrednie nawet stacje mają często godziny dosyć różne, co zmusza podróżnych do baczenia na różnicę czasu miejscowego i czasu używanego na stacyi, a przy ożywionej komunikacji kolejowej oddziaływa i na inne stosunki życia zwyczajnego. Dla tego też w wielu krajach zaprowadzono jeden lub kilka czasów normalnych, bądź tylko dla potrzeb dróg żelaznych, bądź dla wszystkich spraw życia zwyczajnego. Takie zupełne ujednostajnienie czasu napotykamy mianowicie w Wielkiej Brytanii, gdzie od roku 1848 na całej wyspie uznawana jest jedynie godzina Obserwatorium w Greenwich; we Francyi od marca 1891 r. godziną legalną w całym państwie jest paryska. Najsilniej wszakże konieczność uregulowania godzin uczuć się dała w Stanach Zjednoczonych, zarówno dla ożywionego ruchu na rozgałęzionej sieci dróg żelaznych, jak i dla znacznej rozległości terytorium, obejmującego 60° w długości czyli cztery godziny w czasie. Z tego ostatniego względu nie można było wszakże narzucić jednej godziny dla całego kraju; na podstawie więc układu, zawartego przez wszystkie zarządy dróg żelaznych, od r. 1885 jest w użyciu tylko pięć różnych godzin normalnych, które odpowiadają tyłuż południkom, zostającym w prostej łączności z południkiem Greenwich. Normalne te czasy oznaczone są nawet odrębnymi nazwami: *Intercolonial time*, odpowiadający długości zachodniej 60° względem Greenwich, *Eastern time* 75°, *Central time* 90°, *Mountain time*

105°, Pacific time 120°; czasy te zatem opóźniają się względem Greenwich o 4, 5, 6, 7 i 8 godzin. Granice obszarów, w których różne te godziny znajdują zastosowanie, nie biegną dokładnie według południków, ale zależą od granic administracyjnych różnych stanów oraz od stosunków lokalnych. Otóż, system ten amerykański dałby się łatwo zastosować do całej Ziemi. Należałoby w takim razie powierzchnię jej podzielić na 24 pasy czyli wrzeciona, ograniczone południkami i obejmujące po 15° długości geograficznej; każde z tych wrzecion miałoby czas sobie właściwy, a w każdym dwu sąsiadujących ze sobą pasach różnica czasów wynosiłaby dokładnie godzinę. Pas pierwszy rozciągałby się od 7°30' na wschód do 7°30' na zachód względem Greenwich, drugi obejmowałby przestrzeń od 7°30' do 22°30' długości zachodniej i t. d. W praktyce granice pasów mogłyby odstępować nieco od południków, stosując się do granic państw lub prowincyi.

Rzeczywiście też sposób taki ujednostajnienia czasu przedostał się już do Europy. Na zgromadzeniu Związku dróg żelaznych niemieckich i austriackich, które miało miejsce w sierpniu 1890 roku w Dreźnie, uchwalono dla całej tej rozległej sieci przyjęcie godziny wspólnej, odpowiadającej 15° długości wschodniej względem Greenwich, przyczem wyrażono życzenie, by godzina ta stała się powszechną i jedyną i w życiu zwyczajnem. Rząd niemiecki przygotowuje nawet podobno projekt do prawa, które ma życzenie to urzeczywistnić, a tymczasem i bez sankcyi prawnej zastosowała się do niego znaczna liczba miast Europy środkowej, w wielu bowiem godzina 15° długości wschodniej zastąpiła już właściwą godzinę miejscową. Godzinę tę przyjął i Kraków, a że znajduje się pod 20° długości wschodniej względem Greenwich i ma względem normalnego południka 15° czas o 20 minut późniejszy, musiał więc zegary swe o te 20 minut cofnąć.

W ogólności południk greenwickski odniósł stanowcze już zwycięstwo nad paryskim; Belgia nawet poświęciła godzinę brukselską, a od maja 1892 r. używana jest w miejsce niej na drogach żelaznych godzina greenwickska, różniąca się o 11 minut. Sprawa unormowania czasu była nawet przedmiotem obrad międzynarodowych na konferencyi w Waszyngtonie w r. 1884, a uchwałą tej konferencyi uznany został za pierwszy południk Greenwich, od którego liczenie długości ma się odbywać w dwie strony, na wschód (+) i na zachód (—), od 0° do 180°. Według tego zaś południka liczony czas przyjęto jako czas powszechny, przyczem początkiem

dnia powszechnego ma być północ według czasu Greenwich, godziny zaś liczyć się mają kolejno, od 0 do 24.

Postanowienia te wszakże, zarówno co do południka pierwszego jak i co do godziny wspólnej, nie weszły w wykonanie. Południk Greenwich nie zyskał mianowicie uznania delegatów francuskich, którzy żądali, by południk pierwszy był zupełnie neutralny i był oparty na zasadach naukowych. Według ich poglądu nie powinien on przerywać żadnego ładu ważniejszego, aby nie wprowadzać zmiany przy oznaczaniu długości geograficznej w obrębie jednego kraju i by na morzu przypadał „przeskok daty“, t. j. punkt w którym okręty, podczas żeglugi dokoła ziemi, zmieniają datę. Z tego względu proponowano przyjęcie za początek długości południka, idącego przez cieśninę Beringa; nie znalazł on jednakże uznania, zarzucono bowiem, że na linii tej niema obserwatorium, a zatem zero długości byłoby określone tylko przez fikcję legalną, ale nie stanowiłoby zgoła zera rzeczywistego. Akademia więc bolońska w inny sposób zapragnęła usunąć przedmiot tego sporu, a raczej ułagodzić drażliwość narodową francuzów, zaproponowała bowiem południk bardziej neutralny, który nie mógłby budzić zawisłości międzynarodowej, a mianowicie południk idący przez Jerozolimę, gdzieby założone być mogło obserwatorium, pod opieką państw zostające. Rząd włoski przyjął projekt ten pod swą opiekę, rzecz jednak bardzo wątpliwa, czy ma on widoki urzeczywistnienia. W każdym razie najwięcej stronników posiada obecnie południk Greenwich, jako południk najwięcej w żeglarstwie używany, czyli mający „największą klientelę“.

Więcej wszakże przeszkód nastęrczył zamiar ujednostajnienia czasu. Oczywiście, zwolennicy godziny powszechnej nie mogli dążyć do zupełnego usunięcia godziny miejscowej. Przyjąwszy bowiem czas powszechny według południka Greenwich, japończyk wstawałby około godziny ósmej wieczorem, a kalifornijczyk obiadowałby o drugiej rano,—do niedorzeczności takiej trudno by chyba nawyknąć. Dla tego też konferencja waszyngtońska uznała, „że dla pewnych potrzeb naukowych, jako też dla kolei żelaznych, dla linii okrętów parowych, dla telegrafów i poczt, istnieje korzyść z przyjęcia godziny powszechnej obok miejscowych godzin narodowych, które miałyby być dalej używane w życiu zwyczajnem“. I te wszakże względy praktyczne nie wydają się istotnej wagi. Kupcowi, dajmy, otrzymującemu depeszę telegraficzną, więcej zapewne zależy na znajomości godziny miejsca, skąd depesza ta wy-

słana została, aniżeli godziny abstrakcyjnej; przy systemie bowiem obecnym wie on bezpośrednio, czy depesza wysłana została rano, czy wieczorem, przed giełdą, czy po niej, gdy tymczasem godzina powszechna wskazówek takich nie mogłaby mu udzielać, chyba po odwołaniu się do rachunku, przyczem znów zająłaby mogła omyłka.

Korzystniejsze zastosowanie mogłaby znaleźć godzina powszechna w nauce, przy badaniu zjawisk, które wymagają obserwacji społecznych, jak np. przy objawach magnetyzmu ziemskiego albo trzęsień ziemi. I to stanowi wszakże względ podrzędny tylko, dla tego też ostatecznie stronnicy godziny powszechnej jako główny swój argument przytaczają dążność do ujednostajnienia, jaką na różnych polach działalności ludzkiej obecnie spotykamy. Dążność ta wszakże musi mieć przecież swoje granice; rozpowszechnienie jednolitego układu miar i wag jest niewątpliwie rzeczą bardzo użyteczną i dogodną, ale obmyślenie jakiejś sztucznej mowy powszechnej jest mrzonką niedorzeczną. Wszelka nowość niekoniecznie jest postępem, a sama przyroda tworzy różnorodność i powoduje różnice, których przełamać nie można. Zajęcia ludzkie stosują się do godziny miejscowej i ona tylko obchodzi człowieka zwykłego, a kto obejmuje poziom rozleglejszy, nie doznaje żadnej trudności, łącząc z godziną miejscową znajomość godziny innej.

W każdym razie, zabiegliwa ta skrzętność koło dokładnego unormowania rozkładu czasu jest jedną z najbardziej charakterystycznych cech życia nowożytnego; wiąże się ona bezpośrednio z udoskonaleniem i rozpowszechnieniem przyrządów, do mierzenia czasu służących. Do ich tedy historii zwrócić się nam teraz wypada.

V.

Najdawniejszy przyrząd do mierzenia czasu stanowią oczywiście zegary słoneczne, u nas kompasami zwane. Gdy bowiem bieg dzienny słońca następstwo godzin nam znaczy, trzeba było tylko ruch ten przenieść na przesuwanie się cienia, rzucanego przez pręt w ziemi utkwiony, by obserwacyi większą nadać dokładność. Wynalazek zegarów słonecznych przypisywano filozofom szkoły jońskiej, następcom Talesa, Anaksymandrowi i Anaksymenesowi, z szóstego wieku przed Chr., niewątpliwie wszakże znane były dawniejszym znacznie astronomom Chaldei i Egiptu. W pierwotnej swojej formie był to zresztą zapewne tylko słup lub filar, pionowo na płaszczyźnie poziomej wzniesiony,

który oznaczał południe w chwili, gdy cień jego stawał się najkrótszym: jest to sławny gnomon astronomów starożytnych, budowany troskliwie i w skromnym swym zakresie wciąż doskonalszy, zanim ustąpił w obec przyrządów Astronomii dzisiejszej.

Aby wszakże zegar słoneczny zbudować, nie dosyć jest wbić pręt pionowy w ziemię i zatoczony dokoła niego okrąg na równe podzielić części, Słońce bowiem wraz z całym niebem nie bieży dokoła linii pionowej, ale obraca się dokoła osi, która w różnych punktach Ziemi rozmaicie jest do poziomu pochyłoną. Z najmniejszym tedy zachodem urządzić byśmy mogli zegar słoneczny, ustawiając pręt ten czyli gnomon w kierunku osi świata, t. j. zwracając go ku gwiazdzie biegunowej; u nas pręt ten byłby pochyłony do poziomu pod kątem 52° , a cień jego, przy zmiennem położeniu Słońca, na tarczy do pręta prostopadłej co godzina obiegałby drogi równe; tarcza ta ułożonaby więc była w płaszczyźnie do równika równoległej, a kompas taki nazwano równikowym albo równonocnym. Pomijając już wszakże niedogodność, wynikającą z pochyłego względem poziomu ułożenia tego zegara, pamiętać jeszcze należy, że Słońce wznosi się na półkuli północnej nad równik jedynie w ciągu półroczna letniego, górną zatem stronę tarczy oświetla tylko od końca marca do końca września, przez drugie zaś półroczcie promienie jego padają na dolną jej stronę, którą tedy podobnie jak górną zaopatrzyć należy w podziały, aby pręt, i ku dołowi wydłużony, mógł cieniem swym godziny w półroczu zimowem wskazywać.

By niedogodności tych uniknąć, korzystniej jest tarczę kompasu umieszczać poziomo lub pionowo; w tym razie jednak odstępki kresek wskazujących godziny nie będą już równe, a konstrukcja takiego zegara słonecznego wymaga pewnych metod geometrycznych. Dla tego też urządzenie kompasów stanowiło niegdyś ważną sprawę Astronomii praktycznej, a na rozwiązywanie następujących się tu zagadnień nie skąpiono pilności. Pomimo to wszakże zegar słoneczny być może bardzo niedostatecznym jedynie przyrządem. Nie mówiąc już o tem, że daje on czas prawdziwy, a nie średni, którym się posługiwać musimy, że godziny wskazywać może tylko za dnia i przy niebie pogodnem, to nadto niepodobna jeszcze oznaczyć na nim dokładnych i drobnych podziałów. Trzebaby konstrukcyi niezwykle starannej i wielkich wymiarów tarczy, aby odczytywać na niej dokładnie minuty. Udoskonalenie zegarów mechanicznych odebrało kompasom wszelkie „znaczenie

praktyczne; z chluby astronomów stały się jedynie ozdobą parków, zanim wreszcie z motywu tego skorzystali ogrodnicy, by w wielkie cyfry, z kwiatów różnobarwnych ułożone, trawniki swe ozdobić.

Również odległą przeszłość i koniec podobnie niesławny miały i zegary wodne czyli klepsydry. W najprostszej formie były to dwa naczynia, stożkowatej zwykle postaci, zbiegające się zwężonemi swemi końcami, gdzie przez szczupły otwór woda z naczynia górnego przepływa do dolnego. Wymiary przyrządu mogą tak być dobrane, że czas przypływu wody wynosi godzinę, kwadrans lub kilka minut tylko; po przelaniu się zaś wody do naczynia dolnego klepsydrę trzeba tylko odwrócić, by tenże sam przebieg znów się powtórzył. W tak prostym urządzeniu mogła wprowadzić klepsydra oznaczać upływ godziny, ale nie mogła służyć do wskazywania jej części, woda bowiem nie z jednakową płynie wciąż szybkością. W miarę jak jej ubywa, jak pod coraz słabszem pozostaje ciśnieniem, prędkość wypływu maleje; w równych przeto odstępach czasu woda w naczyniu dolnem o niejednakowe wznosi się wysokości. Przy uwzględnieniu praw wypływu cieczy, które zresztą dopiero Torricelli wykazał, można wprowadzić osiągnąć znaczną dokładność zegarów wodnych, budowa ich wszakże byłaby wtedy zbyt zawiła. Można także, przez stosowne doprowadzanie wody, utrzymywać ją w naczyniu górnem wciąż na jednym poziomie, a wtedy w równych czasach do naczynia dolnego przelewać się będą równe jej ilości; jeżeli więc naczynie to ma postać walcową, to umieszczony w niem pływak w jednakich odstępach czasu wysuwałby się w górę o jednakowe wysokości, a za pośrednictwem połączonej z nim skazówki oznaczałby bieg czasu.

Można też do tego celu skorzystać z energii wypływającej cieczy, czyli z pracy, jaką wykonać jest w możności. Jeżeli mianowicie strumień, wypływający z pełnego wciąż naczynia, uderza koło na osi osadzone, to pod naciskiem takim koło przechodzi w obrót jednostajny, który uregulować można tak, by się dokonywał w ciągu godziny albo minuty. Zegary takie budowano rzeczywiście, a różne ich formy pod nazwą *horologium aquaticum*, *horologium hydraulicum* i t. p. opisał słynny jezuita Kircher w wieku siedemnastym. Przy wszelkich wszakże podobnych urządzeniach nie możnaby na czas dosyć długi zapewnić zegarom wodnym biegu statecznego, niszczą go bowiem różne okoliczności uboczne, jak nieuniknione wstrząśnienia naczynia, zanieczyszczenie wody lub bezustanna zmienność temperatury.

I. C Z A S.

Dziś więc zegary wodne pozostały w historycznym tylko wspomnieniu. Ostatnią rolę naukową odegrały chyba na usługach Galileusza, gdy przy doświadczeniach swych nad spadkiem ciała potrzebował oznaczać krótkie odstępy czasu. Zachował on wszakże tę ostrożność, że woda wązkim bardzo otworem wypływała z naczynia znacznych wymiarów; wtedy przez krótki czas wypływa poziom wody w naczyniu wyraźnym zmianom nie ulegał, odważone przeto ilości cieczy wypływającej z dostatecznym przybliżeniem miarę czasu dawały. Metoda ta zresztą i dziś jeszcze może być przydatna, gdy idzie o oznaczenie stosunku dwu niewielkich odstępów czasu; wodę w tym razie korzystnie zastąpić może rtęć.

Podobnie usługi, jak klepsydry wodne, oddawały i klepsydry piaskiem suchym wypełnione; sądzono nawet, że piasek przesypuje się wciąż jednostajnie, bez względu na wysokość, do jakiej jest usypany. Dla tego nadano zbiegającym ze sobą naczyniom postać rur walcowych, a urządzona na nich podziałka pozwalała z niejaką dokładnością oznaczać jednakie odstępy czasu.

Wraz z kompasami i klepsydra poszła w zapomnienie. Gdy niegdyś mówcy greccy według niej długość swych mów oznaczali, dziś chyba klepsydra trzyminutowa służy do pilnowania się przy gotowaniu jajek. Możliwość powiedzieć, że na zabawkę wyszła, gdyby z niej nie zrobiono ponurego symbolu śmierci, z kądem nawet owe złowieszcze kartki, co rogi ulic obok obwieszceń teatralnych pokrywają, przyjęły u nas nazwę tych dawnych czasomierzy.

W braku zresztą prawdziwych zegarów musiano sobie radzić i innymi prostymi środkami mierzenia czasu, niewiele jednak o nich wiemy. Przytoczyć chyba można ocenę godzin z przebiegu płonienia świecy walcowej, która w równych odstępach czasu o jednakie opala się długości, przyczem odpowiedni materiał wybuchowy, w oznaczonych punktach w świecę wprowadzony, służyć może do sygnalizowania oznaczonych momentów. Szczątkowym zabytkiem tego sposobu mierzenia czasu są jeszcze świeczki przy licytacjach sądowych używane.

VI.

Do jakiej epoki odnieść należy początek dzisiejszych naszych zegarów, polegających na połączeniu kół i kółek, wprawianych w ruch działaniem spadającego ciężaru lub rozwijającej się sprężyny—trudno powiedzieć; w każdym razie w wieku czternastym

mechaniczne takie czyli kółkowe zegary posiadały już pewien stopień dokładności.

Pomysł zastosowania spadku ciężaru czyli wagi do wprowadzenia w ruch mechanizmu zegarowego jest rzeczywiście bardzo prosty i dawno mógł się nasunąć, ciężar bowiem zawieszony na wale, dokoła swej osi ruchomym, wprowadza go spadkiem swym w obrót, a zarazem i osadzone na nim koło zębate, którego ruch przenosi się na kółka dalsze i na skazówki. Zadanie to nie przedstawiałoby więc trudności, gdyby bieg wagi dokonywał się jednostajnie; wiemy wszakże, że spada ona biegiem przyspieszonym, wał zatem i cały połączony z nim mechanizm obracałby się coraz prędzej, a zegar wskazywałby godziny coraz krótsze. Trudność polegała przeto jedynie na obmyśleniu środków ujednostajnienia tego ruchu. Radzono sobie bądź przez zmianę momentu bezwładności obracającej się bryły, bądź przez zwiększanie oporu, jaki przy ruchu swym przewycięzać musiała, co do pewnego stopnia pozwalało utrzymywać ruch jednostajny, ani dokładnie wszakże, ani na długo. W r. 1364 urządził Henryk von Wyck na gmachu parlamentu w Paryżu zegar bijący godziny, a odtąd zegary wieżowe zaczęły się mnożyć w Europie; zdaje się jednak, że zegary poruszane spadkiem wagi znane już były we Włoszech w wieku trzynastym, a są może wynalazkiem arabskim, w r. 1232 bowiem miał pewien władca wschodni przesłać cesarzowi Fryderykowi II zegar, który oceniano na 5000 dukatów. Zaczęto się nieni nawet w miejsce zegarów wodnych posługiwać przy obserwacjach astronomicznych, wymagały wszakże codziennej regulacji i ulegały częstemu zakłóceniu. Wszystkie stare środki mechaniczne okazały się niedostateczne do ujednostajnienia biegu zegarów, trzeba było szukać dróg nowych, a tę pożądaną pomoc przyniosło wreszcie wahadło.

Tu znowu do Galileusza zwrócić się nam wypada.

Od niepamiętnych czasów bujał się ciężarek na sznurku, ale ruch ten powszedni nikogo nie zastanawiał, na drobne bowiem spostrzeżenia umysł genialny tylko uwagę zwrócić potrafi, a umiejętności z nich korzystanie twórczość naukową stanowi. W katedrze pizańskiej rozbujał się świecznik kościelny na długim zwieszającym sznurze — było to w r. 1583, a ruch ten obserwował Galileusz, dziewiętnastoletni wówczas student medycyny, którego samodzielność i zdolność spostrzegawcza wrywały się poza zakłętę nieruchomością średniowieczną szranki Fizyki arystotelesowej. Obszerne z początku łuki przez świecznik zataczane zwolna malały, a młody

obserwator dostrzegł, że pomimo to każde wachnięcie dokonywało się w czasie jednakim; licząc więc uderzenia swego tętna, wykrył, że rzeczywiście trwanie wachnięcia od obszerności jego nie zależy, byleby długość wahadła pozostawała niezmienną: zarówno rozległe jak i drobne wahania dokonywają się w czasie jednakim. Taki był początek naszej znajomości wahadła, tego przyrządu prostego, któremu w dalszym rozwoju nauki przypisać miała rola tak wybitna.

Zrozumiano też bezzwłocznie, że izochronizm ten wahadła, równoczesność jego wahań, czyni zeń pożądanym czasomierzem, i już sam Galileusz, a później Riccioli, Grimaldi, Mersenne, Kircher, Heweliusz posługiwali się nim przy dostrzeżeniach astronomicznych i doświadczeniach fizycznych. Wahadło wszakże przedstawiało tę niedogodność, że nie zaznaczało czasu upłynionego, a niepotracane na nowo rychło się uspakajało. Galileusz już przeto wpadł na pomysł połączenia wahadła z odpowiednim mechanizmem skazówkowym, o czym w r. 1636 pisał do Laurenasa Reaala, gubernatora Niderlandów; gdy wszakże przerwała się korespondencya ze Stanami Holandyi, prowadzona w przedmiocie ściślejszej metody oznaczania długości geograficznej, nie słyszano już o czasomierzach Galileusza.

We dwadzieścia dopiero lat później zadanie to podjął Huygens, który obok Galileusza i Newtona uzupełnia trójcę twórców Mechaniki nowożytnej. Zamiast jednak urządzenie zegara naginać do wahadła, zwrócił się do dawnych zegarów wagowych i do nich zastosował wahadło, które równoczesnością swych wahań jednostajny im bieg zapewniło. W r. 1657 uzyskał Huygens od Stanów generalnych Holandyi patent na swoje zegary wahadłowe i opisał je w rozprawie „Horologium“, ogłoszonej w r. 1658.

Jak zwykle wszakże, nie obyło się i tu bez sporów o pierwszeństwo wynalazku. Galileusz już nie żył od lat szesnastu, ale uczeń jego i biograf, Viviani, starał się wykazać prawa swego mistrza do tego pierwszeństwa w przedstawieniu, złożonem księciu tokańskiemu Leopoldowi w r. 1659. Viviani utrzymywał, że Galileusz od r. 1641 pracował nad udoskonaleniem swego czasomierza, że zamierzał właśnie nie używać wahadła do poruszania tego mechanizmu, ale przeciwnie, mechanizm utrzymywać w ruchu za pomocą wagi, a wahadło tak z niem połączyć, by przez działanie mechanizmu w ustawicznym pozostawało ruchu.

Ponieważ w r. 1640 Galileusz zaniewidział zupełnie i sam robót tych prowadzić nie mógł, wykonanie powyższego planu poruczył synowi swemu Wincentemu, który wszakże zajął się nim dopiero w kwietniu r. 1649, ale zmarł w ciągu tegoż samego roku i rozpoczętej roboty nie dokończył. Viviani podał nawet rysunek tego zegara, a z pozostałości po Wincentym sprzedany być miał „un oriuolo non finito di ferro col pendulo, prima invenzione del Galileo“. Według tych danych przyjąć można, że Galileusz rzeczywiście obmyślił plan zbudowania zegara wahadłowego, ale z tego też wypływa, że otoczenie jego doniosłości pomysłu tego nie oceniło, inaczej bowiem Viviani nie czekałby ze swem ogłoszeniem na pracę Huygensa, któremu tedy bezspornie przypada chwała wynalazcy naszych dzisiejszych zegarów wahadłowych.

Oprócz Galileusza jest inny jeszcze współzawodnik Huygensa, a mianowicie Jost Bürgi, którego Wolf w swej „Historii Astronomii“ uważa za prawdopodobnego wynalazcę zegarów wahadłowych już około 1580 r. Wolf przytacza kilka dosyć chwiejnych dowodów na poparcie swego przypuszczenia, między innymi stary zegar wahadłowy, przechowany w skarbcu wiedeńskim i uważany za dzieło Bürgiego. Podobny zegar znajduje się i w Obserwatorium w Cassel, gdzie Bürgi, zmarły 1632 r., ostatnie lata życia swego przepędził. Zegar ten wszakże wyrestaurowany był w r. 1676 i wtedy dopiero zapewne opatrzony był w wahadło. Krytyka też historyczna odparła nieuzasadnione przypuszczenia Wolfa, tem bardziej, że, przypisując Bürgiemu wynalazek zegarków wahadłowych około r. 1580, należałoby mu przyznać i odkrycie zasady równoczesności wachnięć.

Nad dalszem udoskonaleniem zegarów pracował przede wszystkim sam Huygens, którego większe dzieło „Horologium oscillatorium“ (1673) szczególnie jest ważne, a to ze względu na przeprowadzone w niem badania teoretyczne nad wahadłem i wiążącemi się z niem innymi kwestyami Mechaniki. Jakkolwiek w zasadzie ogólne urządzenie Huygensa przetrwało dotąd, szczegółowe zmiany i ulepszenia oddzielnych części zegarów wprowadzały się i wprowadzają bezustannie, najważniejsze zaś znaczenie mają zmiany, obmyślane przez Clementa (1680), Grahama (1675—1751) i Harrisona (1693—1776).

Nie zapuszczając się zresztą w szczegółowy opis budowy zegara, winniśmy jednak przytoczyć główne zasady tego mechaniz-

mu. Ciężar czyli waga, zawieszona na wale, wprawia w obrót wraz z tym wałem i osadzone na nim koło zębate, które powoduje ruch dalszych kół przyrzędu. Byłby to, jak wiemy, ruch przyspieszony, ale wahadło przerywa go w jednakich odstępach czasu, a tem samem ujednostajnia go i reguluje. Pośrednikiem zaś między wahadłem a właściwym przyrządem zegarowym jest wychwyty czyli kotwica, tak z wahadłem związana, że wraz z niem się kołysze, zachaczając kolejno o zęby koła na wale osadzonego.

Wahadło samo przez się długo służyłoby nie mogło, z powodu bowiem tarcia na osi, na której jest zawieszone, i z powodu oporu powietrza, rychłoby ruch swój wstrzymało, gdyby uderzenia wychwyty o zęby koła na wale osadzonego nie nadawały mu wciąż nowego impulsu. Waga więc opadająca stanowi siłę poruszającą dla całego systemu kół, a za pośrednictwem wychwyty podtrzymuje i kołysania wahadła; z drugiej strony wahadło, za pośrednictwem tegoż wychwyty, tworzy regulator dla szybkości spadku wagi.

Szybkość wszakże kołysań wahadła zależy od jego długości; wahadło krótkie kołysze się szybciej, długie wolniej; na bieg zatem zegara wpływa temperatura, której wzrost powoduje wydłużenie wahadła. Zaradzić temu szkodliwemu oddziaływaniu temperatury próbował w r. 1715 Graham przez użycie wahań z drzewa, które się od ciepła słabiej, aniżeli metale, rozszerza; gdy jednak sprowadziło to inne niedogodności, zamierzył osiągnąć niezmienną czyli niezależną od temperatury długość wahadła przez stosowną kombinację kilku metali. Tego rodzaju kompensator wykończył wszakże dopiero Harrison, Graham zaś znalazł również szczęśliwe rozwiązanie, złączywszy z prętem wahadła naczynie napełnione rtęcią. Te dwa rodzaje kompensatorów są dotąd najpowszechniej używane.

Nadmienić również należy, że własność izochronizmu posiada wahadło zwykłe do pewnego tylko stopnia; skoro łuki przez nie przebiegane wykraczają poza pewną granicę, czas wachnięcia staje się już nieco dłuższy. Doskonale izochronicznem jest tylko wahadło cykloidalne, to jest wahadło, którego ciężarek przebiega nie po łuku kołowym, ale po innej linii krzywej, zwanej cykloidą; w zagazie zatem, opatrzonym w wahadło tego rodzaju, nie potrzebaby się troszczyć, aby jednakowemu zawsze ulegało impulsowi. Rzeczywiście Huygens wskazał już sposób takiego zawieszania wahadła, aby przebiegało drogę cykloidalną, a w czasach

późniejszych do pomysłu tego nieraz wracano; z powodu wszakże trudności technicznych, z jakimi urządzenie to jest połączone, nie weszło ono w użycie.

VII.

Drugą kateryę czasomierzy stanowią zegarki; zdrobniła nazwa nie odpowiada tu zmniejszonym tylko wymiarom, ale odmiennemu urządzeniu. W miejsce opadającej wagi ruch mechanizmu wywołuje sprężyna, która, wyprowadzona ze stanu swej równowagi przez nakręcenie zegarka, usiłuje do stanu tego wrócić, czem powoduje ruch połączonych z nią kółek.

Ruch ten wszakże, ciąglem rozkręcaniem się sprężyny utrzymywany, zachodziłby również coraz prędzej; każda bowiem siła statecznie działająca, jakby przez coraz sumujące się impulsy, ruch przyspieszony wywołuje. Potrzeba i tu zatem regulatora, któryby w jednakich odstępach czasu ciągłość tego ruchu przerywał, a regulatorem tym i tu jest wahadło; nie wahadło zwykle wprawdzie, kołyszące się pod działaniem siły ciężkości, niemniej jednak kombinacja, która również ruchy wahadłowe wykonywa. Jest to bowiem małe, na osi osadzone kółko, opatrzone w bardzo cienką i spiralnie zwiniętą sprężynkę, zwaną włosem; skrety tego włosa, ze stanu równowagi usunięte, rozszerzają się i ściągają, przenosząc ruch ten na połączone z niemi kółko, które stąd kręci się wciąż na prawo i lewo. Balansyer ten zatem, działaniem sprężystości w ruchu utrzymywany, odgrywa zupełnie rolę wahadła i ze sprężyną poruszającą tak jest systemem wychwytywów związany, że ciągłość jej działania wciąż przerywa, sam zaś doznaje bezustannych popędów, które zapewniają jednostajność jego kołysań.

Aż dotąd zatem zupełną znajdujemy analogię w budowie zegarów wagowych i sprężynowych, w tych ostatnich wszakże nieunikniona jest większa zawilóść. Siła bowiem ciężkości, przyciąganie ziemi, jednakowo zawsze na opadającą wagę działa, skąd bieg jej jest jednostajnie przyspieszony. Konieczne jest tu zatem urządzenie dodatkowe, któreby usuwało wpływ ciągłego słabnięcia siły poruszającej; potrzeba pośrednika między sprężyną poruszającą a balansyerem. Pośrednikiem takim jest ślimak. Jest to stożek mosiężny, zwężający się ku górze, po którym wije się równia pochyła, ślimakowato skrecona, jak droga na górę wiodąca; gdy sprężyna rozkręca się i tem samym wprawia w obrót bęben, w którym

się mieści, wtedy zarazem działa i na ślimak za pośrednictwem łańcucha, który się zwija dokoła coraz szerszych jego skrętów. Z początku więc działa na skręty niewielkie, następnie na coraz rozleglejsze, które, jakby coraz dłuższe ramiona drążka, coraz mniejszej do obrotu wymagają siły. W ten sposób wynagradza się ciągle ubytek siły poruszającej.

Aby otrzymać zegarki mniej wypukłe, postarano się o wyrugowanie ślimaka i zastąpienie go innymi sposobami; zastosowano więc sprężyny niejednostajnej grubości i szerokości, tak aby w miarę ubytku sprężystości coraz dzielniejsze części na widownę występowały, ale i przy użyciu jednostajnej sprężyny zaradziły temu stosowne systemy wychwytów.

Jak na wahadło zegarów wagowych, tak też wpływa ciepło i na balansyery zegarków, a nawet silniej jeszcze; nie tylko bowiem wzrost temperatury działa na sprężystość drgającego włosa, ale zarazem powiększa i średnicę kółka, w którym jest on osadzony. I tu zatem, jak przy wahadłach zwykłych, trzeba było wprowadzić kompensację, która zresztą na podobnych mniej więcej zasadach polega.

Zegary sprężynowe pojawiły się w początkach wieku szesnastego, a jako ich wynalazcę wymieniają Piotra Hele z Norymbergi; wynalazca ślimaka jest nieznany. Wprowadzenie sprężyny spiralnej czyli włosa zawdzięczamy, podobnie jak zastosowanie wahadła do zegarów wagowych, Huygensowi, a pierwszy zegarek kieszonkowy wedle jego pomysłu wyrobił zegarmistrz Turet w Paryżu 1674 r. I ten wszakże wynalazek dał również powód do zaciętego sporu, z roszczeniem bowiem do pierwszeństwa wystąpił namiętnie Robert Hooke, sławny sekretarz Towarzystwa królewskiego w Londynie. Według własnego oświadczenia powziął on już w r. 1658 pomysł użycia sprężyny stalowej, jako regulatora do zegarków, a następnie traktował z kilku uczonymi o wyjednanie na wynalazek ten patentu; zanim jednak zdołał pierwszy swój zegarek wykończyć, co nastąpiło w r. 1676, Huygens skorzystał z jego pomysłu, o którym miał się dowiedzieć od jednego z członków Towarzystwa królewskiego. O ile uzasadnione jest to wystąpienie, trudno powiedzieć; Hooke bowiem, człowiek niewątpliwie rozległej nauki i wysokich zdolności, cechował się przedewszystkiem charakterem kłótlwym i ambicyą niesłychaną: wszystko wiedział, sobie przypisywał pierwszeństwo wszystkich niemal spółczesnych mu odkryć i wynalazków; New-

tona nawet oskarżył o plagiat w odkryciu praw ciężenia powszechnego.

Huygens wykazał nadto pożytek, jaki przynieść mogą podobne zegary przenośne przy oznaczaniu długości geograficznej, zwłaszcza na morzu, a z tego względu parlament angielski wyznaczył nagrodę 20000 funtów za takie udoskonalenie tych zegarów, by przy ich pomocy można było długość geograficzną oznaczać z błędem nie przechodzącym pół stopnia. Połowę tej znacznej nagrody osiągnął znany nam już Harrison dopiero w r. 1764, gdy, wprowadziwszy kompensację i inne ulepszenia, dostarczył admiralicyi brytańskiej chronometr, przedstawiający pożądaną ścisłość, a od owego czasu sztuka wyrabiania dokładnych chronometrów tak się rozwinęła, że, zdaje się, doszła już do granicy dla biegłości człowieka dostępnej.

Drobny zegar nie powinien rzeczywiście dawać błędu większego nad pół sekundy na dobę, czyli przekraczającego drobny ułamek $\frac{1}{172800}$, a tanie nawet zegarki błędzą zaledwie o dwie lub trzy minuty na tydzień, dokładność ich zatem wynosi $\frac{3}{10000}$.

Wyborne chronometry dochodzą ścisłości $\frac{1}{432000}$, w ciągu doby bowiem dają różnicę, nie przechodzącą piątej części sekundy. Aby podobną osiągnąć ścisłość przy ocenie długości lub masy, trzeba przyrządów wyjątkowej dokładności przy szczególnej baczności i wprawie; przy zwykłym mierzeniu i ważeniu popełniamy błędy wielokrotnie większe. Długość, masa i czas stanowią, jak zaznaczyliśmy wyżej, wielkości zasadnicze, do których sprowadzają się wszelkie pomiary, ale czas mierzymy z najznacniejszą dokładnością i największą łatwością. Jest to wielkość, która nas widocznie najbliżej dotyczy, niewielu bowiem tylko dźwiga przy sobie łoćkę, a nikt prawie nie zabiera ze sobą wagi i gwichtów; z zegarkiem tylko nie rozstajemy się nigdy, jest on najbliższym towarzyszem naszym i doradcą wiernym. Posiadanie zegarka jest marzeniem chłopca i stanowi nagrodę jego pilności; czeladnik z terminatora wyzwolony chlubi się nim wobec towarzyszy, jako dowodem swej rządności, a skromny, srebrny zegarek studenta ileż to razy od głodu i chłodu ratuje swego właściciela. Pozór życia mający mechanizm zegarka budzi podziw dziecka; ale też — rzecz dziwna zaiste — z całego zastępu przyrządów, którym nas postęp

techniki obdarzył, jest on najmniej może znany, a Mechanika i Fizyka szkolna nie zadają sobie nawet trudu, by wyjaśnić tę gmatwaninę kół i kółłek, co przecież istotny ich tryumf stanowi.

VIII.

Unormowanie stosunków w wielkich ogniskach działalności ludzkiej wywołało potrzebę zaprowadzenia dokładnej obsługi czasu, polegającej na tem, by wszystkie zegary miejskie jednaki czas wskazywały. Obecnie, gdy telegraf elektryczny w jednej chwili roznosi wieści w najodleglejsze okolice Ziemi, urządzenie takie trudności nie przedstawia; w samej też rzeczy rozsyłanie godziny albo regulowanie zegarów stanowi poniekąd rodzaj telegrafii. Jeden bowiem zegar normalny wywołuje ruch skazówek na setkach tarcz zegarowych, po całym mieście rozrzuconych. Cel ten osiągnąć się daje w ten sposób, że zegar normalny w oznaczonych odstępach czasu, co minuta zwykle, zamyka automatycznie prąd elektryczny, który, rozbiegając się po drutach, wzbudza elektromagnesy i powoduje tem na połączonych z nimi tarczach przeskok skazówki minutowej o jedną kreskę podziałki. System ten wszakże nie jest wolny od niedogodności, druty bowiem w miastach łatwo uszkodzeniu ulegać mogą, a niekiedy i elektryczność atmosferyczna przeszkadza należytej działalności prądu galwanicznego. Dla tego też korzystniejszym okazało się pozostawienie zegarów niezależnych, które tylko co godzina, albo i raz na dobę, za pośrednictwem prądu elektrycznego doprowadzają się do zupełnej zgody z zegarem normalnym.

Ze szczególną zwłaszcza starannością system przesyłania godziny rozwinięty jest w Stanach Zjednoczonych, stanowi to nawet jedno z głównych zadań Obserwatorium waszyngtońskiego. Godzina z Waszyngtonu przesyła się codziennie do głównych portów atlantyckich. Poczynając od trzech minut przed południem aż do chwili południa przesyła się czas co sekunda, a na każdej stacyi elektromagnes, wzbudzony prądem nadsyłanym, odtwarza każde uderzenie chronometru, znajdującego się w sali Obserwatorium stołecznego; w kilku zaś miastach w chwili południa, pod wpływem prądu, spadają w widocznych punktach osadzone kule. Prąd również poprawia, w południe, trzysta lub czterysta zegarów rozrzuconych po szkołach, ministeryach i zakładach publicznych Waszyngtonu. W podobnyż sposób Obserwatorium w Neufchatel

przesyła codziennie godzinę do głównych ognisk fabrykacyi zegarów w Szwajcaryi.

Przy usługach wszakże, jakie nam elektryczność na wszelkich polach oddaje, byłoby dziwnem, gdyby li tylko w roli pośrednika przy mierzeniu czasu występować mogła. Rzeczywiście też posiadamy i prawdziwe zegary elektryczne, zegary zatem, gdzie elektryczność jest sama motorem i zastępuje działanie wagi lub sprężyny. Wobec jednakże doskonałości zegarów mechanicznych zegary elektryczne donioślejszego znaczenia zdobyć nie mogą, a lubo w pewnych szczególnych przypadkach użyteczne, stanowią wogóle przyrządy ciekawości raczej, aniżeli istotnego pożytku praktycznego.

IX.

Jakkolwiek nikłym ciągiem czasu wydaje się nam sekunda przy wielu badaniach naukowych, a nawet i w celach praktycznych, zachodzi potrzeba ujmowania drobnych jej części, setnych, tysięcznych. Na zegarze zwyczajnym sekundy dzielić nie można, chociaż bowiem wszystkie wachnięcia są między sobą izochroniczne, każde oddzielnie wszakże ma przebieg wcale niejednostajny; trzeba by więc radzić sobie użyciem wahadła krótkiego, którego ruchy dokonywają się bardzo szybko, jak to ma miejsce w znanych taktomiarach muzycznych, gdzie nawet przesuwanie ciężarka pozwala wahadło takie dowolnie skracać i wydłużać, a tem samem szybkość jego kołysań zmieniać. Gdy wszakże idzie o czasy bardzo drobne, wahadła musiałyby być nader krótkie, a jak łatwo pojąć, różne względy kładą rychło kres zbytniemu jego skracaniu.

Trzeba więc było szukać metod innych, a chociaż przyrządy do celu tego służące są często bardzo zawile, polegają w ogólności na prostych zasadach. Wyobraźmy sobie walec, uczerniony sadzą, który za pomocą mechanizmu zegarowego obraca się, dajmy, raz na sekundę, pręcik, dotykający tego walca, ściiera przy obrocie sadzę i kreśli na nim linię, stosowne zaś urządzenie pozwala pręciem tym tak manewrować, że w żądanej chwili może on być do walca zbliżany lub od niego oddalany. W ciągu całego obrotu pręcik oczywiście opisze na walcu pełny okrąg, przez dziesiątą zatem lub setną część okręgu, z długości tedy linii na walcu wypisanej odczytujemy długość czasu obserwacyi. Przez zwiększanie wymiarów walca i przez podwyższanie szybkości jego obrotu mamy nie-

ograniczoną prawie drogę ujmowania by najdrobniejszych cząstek czasu; idzie więc o to tylko, aby pręcik dokładnie zaznaczał początek i koniec obserwowanego zjawiska, a do należytego posłuszeństwa zmagamy go dobrze za pośrednictwem prądu galwanicznego.

Chronoskop tego rodzaju jest najczęściej używany, nie brak wszakże przyrządów polegających i na odmiennych zasadach. Metody doświadczalne tak dalece się rozwinęły, a na usługi mają narzędzia tak doskonałe i tak starannie wyrobione, że nauka podjąć zdołała badania, które niezbyt dawno mrzonkami tylko wydawać się mogły. Szybkość światła, którą poznano z obserwacji astronomicznych, jest tak wielka, że wydawało się niemożliwym, by ją potrafiiono drogą doświadczalną ująć; a wszakże już przed kilku dziesiątkami lat Fizeau i Foucault obmyslili metody, które dozwoliły zadanie to szczęśliwie rozwiązać, chociaż milę geograficzną światło przebiega w czasie krótszym nad jedną czterdziestotysięczną część sekundy. Wheatstone, później Casin i Lucas, dochodzili, jak długo trwa przebieg iskry elektrycznej, a doświadczenia wykazały im ledwie stutysięczne i milionowe części sekundy. Wiadomo, że są ciała posiadające zdolność fosforescencji czyli świecenia po poprzednim wystawieniu ich na światło: Becquerel okazał, że własność ta zgoła nie jest rzadka i przypada przeważnej ilości ciał, trwa jednak tak krótko, że uchodzi zwykłym dostrzeżeniom, w wielu bowiem razach nie przenosi trzechsetnej części sekundy.

Podobne badania napotykaemy obecnie już nietylko w Fizyce, ale i w innych dziedzinach wiedzy przyrodniczej. Chemik wyczytuje czas przebiegu procesów chemicznych i oznacza szybkość rozchodzenia się fal, przez eksplozyę wzbudzonych. Artylerzysta wykrywa szybkość biegu kuli armatniej lub czas, przez jaki w lufie bawi, a fizyolog ocenia czas, jaki upływa, zanim wrażenie, na zmysł wywarłe, do mózgu dobiega.

Po przykłady czasów tak drobnych sięgnąć możemy i do fotografii. Aby uchwycić szczegóły na powierzchni Słońca występujące, trzeba było jak najbardziej zredukować czas wystawienia płyty fotograficznej, inaczej bowiem, pod bezpośrednim działaniem promieni słonecznych, ulega ona tylko jednostajnemu zczernieniu; głośny astronom francuski Janssen zdołał aparat swój tak urządzić, że czas ten zeszedł do $\frac{1}{3000}$ części sekundy, a w ten sposób odfotografował nietylko plamy słoneczne, ale i szczegóły

budowy chromosfery, czyli najgłębszej warstwy Słońca, dostrzeżeniom naszym jeszcze dostępnej. Fuzya fotograficzna Mareya, za pomocą której badacz ten ruchów zwierzęcych chwytła obrazy konia w biegu lub ptaka w locie, daje dwanaście obrazów na sekundę, czas zaś wystawienia płyty wynosi zaledwie $\frac{1}{720}$ sekundy, a Muylbridge podaje nawet, że do ujęcia obrazu zwierzęcia w biegu starczyłaby mu dwutysięczna część sekundy.

A wreszcie, gdy chwila jest już tak niewypowiedzianie drobna, że doświadczenie bezpośrednie żadną miarą ująłby jej nie zdołało, następują się drogi pośrednie, teoretycznie uzasadnione i niewątpliwe. Światło, podobnie jak głos, jest objawem drgania; ale gdy struna brzmiąca wydaje na sekundę 16 do 70 000 drgań, ciało świeci wtedy dopiero, gdy cząstki jego dokonywają na sekundę 400 do 800 trylionów drgań. Drganie zatem, które wzbudza w nas poczucie czerwieni, trwa ledwie $\frac{1}{400\ 000\ 000\ 000\ 000}$, wrażenia zaś fioletu doznajemy, gdy drganie wynosi tylko $\frac{1}{800\ 000\ 000\ 000\ 000}$ część sekundy. Ułamki tak drobne wydają się fantastyczne, odcyfrowane zostały wszakże z rzetelnością niekłamana; podobnej pewności nie znajdziemy już na nieszczęście, gdy od tych chwilek nikłych zwrócimy się do okresów olbrzymich, odnoszących się do czasu istnienia i rozwoju naszej bryły ziemskiej.

X.

Więcej, aniżeli jakakolwiek inna gałąź wiedzy przyrodniczej, wpływowi legend biblijnych uległa Geologia; jakkolwiek bowiem przez dni z powieści hebrajskiej o stworzeniu Świata rozumieć zaczęto długie okresy, to wszakże na tle tem wyrosła teoria przewrotów czyli katastrof w dziejach rozwoju Ziemi. Poglądom tym początek dał mianowicie Cuvier, gdy w szczątkach istot niegdyś na Ziemi żyjących poznał dokumenty do odczytania jej dziejów posłużyć mogące. Widząc, że badane przezeń skamieniałości dawnych istot kręgowych niepodobne są do istot dzisiejszych, a nadto, że i szczątki w różnych piętach Ziemi zagrzebane są różne jedne od drugich, podzielił cały bieg dziejów Ziemi jakby na odrębne okresy, odgraniczone między sobą stanowczo potężnymi katastro-

fami, których groza całą powierzchnią globu naszego wstrząsała, sprowadzając zgubę wszystkiego na niej życia. Każdy okres dziejów Ziemi posiadał właściwy sobie świat organiczny, a po każdej jego zagładzie nowy znów akt stworzenia nowe istoty do życia powoływał; wyjątkowo chyba tylko wytrwały jakiś gatunek zdołał ująć zniszczeniu i wśród przeobrażonej przyrody byt swój utrzymać. W teorii tej przeto oddzielne okresy mają znaczenie dawnych dni biblijnych, ale dni te, w ciągu których przemijały liczne szeregi całych pokoleń istot żyjących, urastać już musiały w długie ciągi czasu, w całe setki tysięcy i miliony lat.

Hypoteza przewrotów takich ustąpić wszakże musiała, skoro Lyell wykazał, że cały ogół przeobrażeń, jakim Ziemia w stopniowym swym rozwoju ulega, wyjaśnić się daje na podstawie dotąd jeszcze zachodzących objawów i sił obecnie jeszcze występujących; przeobrażenia zatem, jakie dokonywały się na powierzchni globu naszego, nie odbywały się przez nagłe i powszechne przewroty, ale były następstwem zmian powolnych i drobnych, które nie przerywały zgoła ciągłości życia organicznego. Rzecz jasna, że wobec tych nowych poglądów na historję Ziemi rozsunąć się jeszcze musiał obszar czasu, potrzebnego do wytworzenia jej skorupy; trzeba już bowiem było całych setek milionów lat, by przez sumowanie zmian tak nikłych i niedostrzegalnych, jakie się i za naszych czasów dokonywają, wyjaśnić rozwinięcie się potężnych pokładów i ich przeobrażanie, powstawanie i zagładę pasm górskich. Czas stał się sprzymierzeńcem geologa, jako czynnik dowolny, jako jedyna zmienna niezależna, którą w spekulacjach swoich bezwzględnie mógł rozporządzać. A zaiste, rachunek geologów nieledwie skromnym okazać się musiał, gdy wystąpiła i teoria descendency, wyprowadzająca wszystek świat dzisiejszy istot żyjących ze wspólnego początku również drogą stopniowych i nieznacznych tylko przeobrażeń, i Biologia bowiem, tak samo jak Geologia, na odparcie następczących się w teorii rozwoju istot trudności za każdym razem działanie czasu na pomoc powołać może.

Długością okresów istnienia ziemi Geologia rzeczywiście rozporządzać może dowolnie, nie posiada bowiem zgoła sposobów, któreby nam chronologję Ziemi z przybliżoną choćby dokładnością odczytać dozwoliły. Przyjrzyjmy się jednak środkom, któremi zadanie to zaatakować przynajmniej próbowano.

W duchu dzisiejszych poglądów swoich, że przyczyny powodujące przeobrażenia skorupy ziemskiej działały zawsze z jedna-

kiem natężeniem, wnioskuje Geologia o przeszłości z tego, co się dzieje obecnie. Do takiego zaś wnioskowania nadaje się najdogodniej narastanie pokładów osadowych.

Wielkie rzeki przy corocznych swych wylewach pozostawiają zawsze na obszarach zajmowanych przez wezbrane wody pewien osad; powolne narastanie takich napływów zauważono już dawno, a następnie zapragnięto obliczyć czas, jakiego rzeki do ich wytworzenia potrzebują. Jako taki utwór napływowy słynie zwłaszcza od wieków Delta nilowa. I dziś jeszcze Nil wylewa jak w czasach starożytnych, i dziś jeszcze pozostawia swój muł użyźniający, skutkiem czego pola zalewane w górę narastają.

Delta nilowa ma postać trójkąta, którego wierzchołek przypada obok Kairu, w pobliżu piramid i dawnego Memfis, podstawa długim zaś łukiem opiera się o morze; odległość od Kairu do Burlos nad morzem wynosi 23 mile geograficzne, odległość między dwoma skrajnymi ujściami rzeki około 40 mil, powierzchnia przeto całej Deltę około 400 mil kw. Wylewy Nilu następują głównie skutkiem wzbierania dopływów jego przebiegających Abisynię; rzeki te podczas tamecznej pory dżdżystej, od połowy czerwca do września, dochodzą znacznej potęgi, gdy w ciągu miesięcy pozostałych prawie wysychają. Gdy zatem dopływy te schodzą do skromnych rozmiarów, Nil czerpie swe wody głównie z wielkich jezior Wiktoryi i Alberta, oraz z dopływów Białego Nilu; ale w połowie czerwca następuje przybór, a Egipt dolny ulega zalewom. Atbara, zwana też Czarną rzeką, sprowadza znaczną ilość mułu, który na Delcie osiada. Oba zatem jeziora równikowe podtrzymują Nil, dopływy abisyńskie powodują wylewy. Przebieg taki trwa już przez cały ciąg czasów historycznych; po zdobyciu Egiptu pisał Amru do kalifa Omara, że kraj daje naprzemian obraz pola zamulonego, morza wody słodkiej i rozkosznego ogrodu.

Naukowe badania Deltę nilowej datują od czasu pamiętnej wyprawy Bonapartego 1798 r., w której uczestniczył zastęp uczonych. Pod warstwą mułu napotkał Girard gruboziarnisty piasek morski; na tym więc podkładzie, w obrębie ograniczonym skałami wapiennymi, składał Nil muł swój w ciągu wieków i wypełnił dawną zatokę morską, której ostatnie ślady widzimy jeszcze w lagunach.

Gdy wylewy roczne rzeki odgrywały tak ważną rolę w gospodarstwie kraju, od najdawniejszych już czasów na stan wód uwagę zwracano i wysokość jej odczytywano na wodoskazach

umyślnie wzniesionych. Dno rzeki podnosi się według tegoż samego prawa, któremu ulega podnoszenie się czyli narost Delty; jeżeli więc wodoskaz pozostaje przez czas długi nienaruszony, dojść musi wreszcie do tego, że wskazywany przezeń najwyższy stan wód wznosić się musi znacznie ponad najwyższy stan wód w czasach dawniejszych.

Gdyby Nil corocznie osadzał warstwę wyraźną, gdyby, inne mi słowy, osad mułu rzecznego posiadał budowę wyraźnie warstwową, możnaby łatwo z ilości warstw takich odczytać liczbę lat i ciąg czasu oznaczyć. Tak jednak rzeczy się nie mają; gdzieniegdzie tylko po bokach Delty, gdzie wiatr znosi piasek pustyni, napotkać można warstwy piasku ułożone naprzemian z warstwami mułu, zresztą Delta nilowa nie okazuje uwarstwowania wyraźnego; przy pomocy warstw tedy odczytać czasu nie można i należy odwoływać się do wodoskazów, których znaczenie zrozumiał właśnie Girard.

Girard zbadał wodoskaz pod Kairem i odkrył też inny, stary wodoskaz nilowy obok Elefantyny, ten sam, który opisany był przez Strabona; wryty jest on na murze, obok schodów prowadzących do Nilu. Przy najwyższej jego kresie wypisana jest cyframi greckimi liczba 24, oznaczała ona tedy w miarach egipskich wysokość wielkich wezbrań za Ptolemeuszów. Stare te znaki porównał Girard ze śladami, jakie pozostawiały na murze wielkie wylewy w czasach ostatnich, skąd okazała się różnica 2,41 metra; o taką więc wysokość podnieść się musiało dno Nilu od urządzenia wodoskazu. Czasu, kiedy wodomiar ten założony został, nie można było wprawdzie oznaczyć, znajduje się wszakże na nim napis, zawierający nazwisko Septymiusza Sewera (193—211); napis ten umieszczony został zapewne dla oznaczenia wylewu, który sięgał już wyżej ponad kresę, wskazaną liczbą 24. Jeżeli przyjmiemy, że napis ten pochodzi z r. 200, to podwyższenie dna Nilu obok Elefantyny wynosi na stulecie 0,152 metra.

Inny wodokask nilowy w Kairze, na wyspie Rudah, stanowi kolumna marmurowa w czworokątnym basenie, który się łączy z rzeką. Kolumna ta, odbudowana przez kalifów w połowie wieku wieku dziewiątego, podzielona jest na 16 odstępów, z których każdy posiada długość 0,541 metra. Różnica między pełnym wylewem z roku 1800 a wylewem z czasów założenia wodokasku wynosiła 1,149 metra, co daje na podwyższenie się dna rzeki pod Kairem 0,120 metra na stulecie. Girard oznaczył średnią z obu wykry-

tych w ten sposób liczb i przyjął, że wielkość ta, mianowicie 0,126 metra, daje podnoszenie się dna Nilu w ciągu stulecia; przyrost przeto Deltę w kierunku pionowym zachodzi w tymże samym stosunku. Girard rozpatrzył nadto różne stare pomniki Egiptu, odkopał zamulone ich fundamenty, zmierzył wysokość otaczających je nasypów i na podstawie powyższej liczby 0,126 metra oznaczył czas, kiedy te pomniki wzniesione zostały. Według tych obliczeń czas zabudowania Teb przypada na rok 2960 przed Chr., założenia pomników luksorskich na r. 1400 przed Chr.

W czasach późniejszych podobne poszukiwania prowadzono na rozleglejszą skalę, rozkopywano Deltę w różnych miejscach, wiercono w niej otwory świdrowe. Podczas podobnych robót, dokonywanych w roku 1851 i 1854 pod kierunkiem Hekekyana a Beja, w obecności Hornera, napotkano w różnych głębokościach liczne skorupy naczyń z gliny palonej; pod Heliopolis znaleziono je w głębokości 60 stóp ang., a Karol Lyell, przyjmując, że grunt w ciągu stulecia narasta o 6 cali, obliczył wiek tych skorup na lat 12000. Podobnie odłamki znalazł Linant Bej prawie w samym wierzchołku Deltę w głębokości 72 stóp ang., gdy zaś tu przyrost stuletni oceniono tylko na dwa cale i trzy linie, trzeba było skorupom tym przypisać starość 30000 lat.

Na podstawie tedy tak wątpliwych dowodów chciano utrzymać, że przed dwunastu i trzydziestu tysiącami lat żył już człowiek i osiągnął tego stopnia kultury, który się cechuje sztuką wyrabiania naczyń glinianych. Oskar Fraas wykazał jednak, że ze skorupek takich niepodobna wysnuwać wniosków tak daleko sięgających; w Egipcie bowiem zawsze wykopywano studnie i kanały do znacznej głębokości, szczątki przeto naczyń rozrzucone po ziemi łatwo dostawać się mogły do takich dołów, zwłaszcza, że drogi wiodły wzdłuż kanałów, a podróżni zabierali ze sobą dzbanki do wody. Podobnie i Maks Eyth, naczelny inżynier za Hallim-paszy, poznał liczne ślady dawnych robót, mających na celu sztuczne nawodnianie kraju, któryby bez takich środków żywności swej utrzymać nie mógł, gdyż po opadnięciu wód wezbranych muł wysycha szybko i twardnieje tak dalece, że bez wód sztucznie doprowadzanych nie mógłby być uprawiany; częste zaś zmiany w biegu tych kanałów utrudniają obliczanie wieku opadów wodnych. Przesycona bowiem mułem woda nilowa składa w różnych miejscach bardzo różne jego ilości; gdzie ziemia jest zagłębiona, a woda płynie spokojnie lub zatrzymuje się w miejscu,

tworzy się osad silny, gdzie natomiast postarano się o to, aby odpływ jej zachodził szybko, nie pozostawia prawie wcale osadu.

Zresztą, rachunków, odnoszących się do przyrostu napływów w pewnym miejscu Delt, nie można rozciągać do całej jej powierzchni, zarówno bowiem obserwacje wodoskazów jak i zamulanie pomników, których czas wzniesienia jest znany, wskazują, że narost osadów w różnych punktach jest niejednaki. Obok wyspy Elefantyny w ciągu 1700 lat grunt miał narosnąć o 9 stóp, pod Tebami o 7, pod Kairem o 5 stóp i 10 cali tylko, a w pobliżu ujść przyrost jest jeszcze słabszy. Gdy niegdyś delta węższa była, musiała być też odmienna i grubość pozostawianej przez rzekę warstwy. Wszystko to osłabia wiarygodność rachunków, wyprawdzających długość czasu z grubości pokładów.

Podstawę do podobnego obliczenia daje nam oznaczona przez Girarda wysokość narostu gruntu 0,126 metra w ciągu stulecia czyli 1,26 m na 1000 lat; obliczenie to odnosi się w szczególności do okolic Kairu, gdzie pokład mułu, spoczywający na podstawie piaszczystej, wynosi 8 metrów; wypada stąd, że utworzenie całej delty, licząc od jej wierzchołka pod Kairem, trwało lat 6350.

Kjerulf podaje inne jeszcze obliczenie, oparte na ilości mułu unoszonego przez rzekę, oraz na rozległości i głębokości Delt. Delta nilowa, jak wyżej przytoczyliśmy, jest u podstawy szeroka na mil 40, gdy odległość wierzchołka od tej podstawy czyni mil 23; powierzchnia jej wynosi zatem 263 960 milionów stóp kwadratowych (26 000 milionów metrów kwadr.). Jeżeli dalej głębokość jej ocenimy na 10 metrów czyli 31,8 stóp, to objętość całej Delt nilowej okazuje się równą 8425 728 milionom stóp sześć. (260 000 milionom metrów sześć.). Z drugiej strony, według Ehrenberga, który rozpatrywał wodę nilową, sprowadzoną przez Lepsius a z epoki wezbrania, ilość części stałych, jaka w Nilu w ciągu sekundy opada, wynosi 130,9 stóp sześć., co na rok czyni 2064 milionów stóp sześć., licząc tylko czas przyboru wody. Wszystka przeto masa, stanowiąca Deltę nilową, zniesioną być mogła w ciągu

$$\frac{8425\ 728}{2064} = 4082 \text{ lat.}$$

Do obliczeń tych Kjerulf nie przywiązuje wprawdzie wielkiej wagi, ale wysnuwa z nich wniosek, że czas, w ciągu którego utworzyła się Delta nilowa, nie przekracza 4000 do 6000 lat. Rachunek ten jednak krytyki wytrzymać nie może: ocena ilości mułu

unoszonego przez rzekę jest zbyt pobieżna, nie bierze się pod uwagę ilości osadu przeprowadzanego przez rzekę do morza, a przyrost mułu pod Kairem nie zawsze zapewne wynosił 1,26 metra na tysiąciolecie. Można łatwo i inne niemniejszej wagi przytoczyć zarzuty, dosyć jednak powtórzyć słowa wspomnianego wyżej inżyniera Eyttha: „Fellah, który brzeg swej łąki tamą otacza, może w ciągu jednego roku dodać kilka tysięcy lat do mozolnych obliczeń uczonych europejskich“.

Bardziej jeszcze uderzający przykład tych trudności przedstawia nam inna delta, która także była przedmiotem wielu badań, mianowicie delta olbrzymiej Mississipi, której nazwa w języku Indian rodzicielkę wód ma oznaczać.

Każdy z jej dopływów, Red River, Arkansas, Missouri, Ohio, sam przez się stanowi już wielką rzekę; materiał, jaki one sprowadzają, zabiera Mississipi i buduje z niego deltę przy swem ujściu do Zatoki meksykańskiej. Powierzchnia jej większa jest od powierzchni delty nilowej w stosunku 4:3, a posuwanie się jej w stronę morza jest też widoczniejsze, aniżeli jakiegokolwiek innego podobnego utworu napływowego. Odwoływano się do niej nieraz, jako do chronometru ziemi.

Przyjmując rozległość jej na 13 600 mil kw. ang., głębokość na $\frac{1}{10}$ mili ang. czyli 528 stóp, a ilość mułu, sprowadzanego przez rzekę w ciągu roku, na 3 702 758 400 stóp sześciennych, obliczył Karol Lyell wiek tej delty na lat 67 000. Według innych danych rzeka unosić ma większą ilość wody, aniżeli dawniej przyjmowano; zwrócono też uwagę, że pewna ilość mułu sunie po dnie rzeki, należy ją przeto dodać do materiału bujającego w wodzie, — z tego względu sądzi Lyell, że możnaby ten obszar zredukować do połowy, to jest do 33 500 lat, w ogólności jednak liczby pierwszej nie uważa za przesadzoną, a nawet w słynnym swem dziele „O starożytności człowieka“ zaokrągliła ją do 100 000 lat. Ponieważ nadto, pod Natchez, w górze doliny Mississipi, w pokładach dawniejszych aniżeli napływy delty, napotkano kości ludzkie, skłania się Lyell do wniosku, że człowiek w Ameryce północnej żył już przed stu tysiącami lat, spólcześnie z wygasłym mastodonem.

Obliczenia Karola Vogta sięgają dalej jeszcze na podstawie otworu świdrowego, wywierconego pod Nowym Orleanem, przyjmuje on, że głębokość pokładów stanowiących deltę wynosi 600 stóp, stąd zaś wyprowadza, że tworzenie się tej delty obejmuje okres 126 000 lat; a że i tu, w pewnej głębokości, znaleziono

czaszkę ludzką, ma ona świadczyć o istnieniu człowieka przed 51900 laty.

Błyskotliwym tym jednak liczbom przeciwstawić nam teraz wypada rachunki o wiele skromniejsze, przeprowadzone przez inżynierów Humphreya i Abбота, którzy w r. 1851—61 zajmowali się opracowywaniem planu ochrony wybrzeży od niszczących je zalewów. Badania ich wykazały przedewszystkiem tę ważną okoliczność, że pokłady napływowe w całej delcie i w dolinie rzeki nie mają zgoła tak znacznej głębokości, jaką im przypisywano poprzednio, wspierają się bowiem na warstwie gliny dawniejszego pochodzenia. Pod Nowym Orleanem napotkano w głębokości 41 stóp warstwę, przepelnioną muszlami morskimi; było to więc dno morskie, po którym rozpostarł się muł rzeczny. W innych punktach delty natrafiono na te obce pokłady już w głębokości 20 stóp. Grubość zatem pokładów napływowych, oceniana poprzednio na $\frac{1}{10}$ mili ang., zredukowana została do 20—40 stóp zaledwie.

Ocena ilości materyału, sprowadzanego przez rzekę, wymagała znacznej staranności, w różnych bowiem odległościach od dna rzeki ilość ta dosyć jest różna. Z licznego szeregu dostrzeżeń wnioskuje wspomniani autorowie, że 1500 części wody na wagę unoszą 1 część mułu; ponieważ zaś ciężar właściwy tego mułu czyni 1,9, przeto na objętość przypada jedna jego część na 2900 części wody rzecznej.

Ponieważ dalej, Mississipi unosi rocznie do morza 19 500 000 000 000 stóp sześc., na zasadzie przeto powyższego stosunku ocenić można ilość mułu bujającego w rzece, do czego wszakże dodać należy jeszcze i materyał tłoczący się po dnie i po bokach rzeki, a który, według oceny tychże autorów, wynosi około $\frac{1}{9}$ części ilości cząstek w rzece zawieszonych. Rezultat rachunku tego uczy, że wszystek materyał przez rzekę w ciągu roku doprowadzany utworzyłby potężny słup, mający za podstawę 1 kwadratową milę ang., a sięgający w górę na 250 stóp.

Aby przy pomocy tych danych obliczyć wiek delty, znać należy rozległość zajmowanej przez nią przestrzeni oraz grubość stanowiącego ją pokładu; obie te liczby podać wszakże można tylko z przybliżeniem. Humphrey i Abbot przyjmują rozległość 12300 mil ang., a średnią głębokość 50 stóp; ostatnia ta liczba większa jest od przytoczonych wyżej rezultatów sondowań, a to

ze względu na większą głębokość skrajnych okolic delty, gdzie się ona w morze wysuwa. Powyżej obliczony słupek roczny mułu, wznoszący się 250 stóp na podstawie jednej mili kwadratowej, utworzyłby powłokę grubości 50 stóp na przestrzeni pięciu mil kw., dla wypełnienia przeto całej delty potrzeba było $12300 : 5 = 2460$ lat.

Humphrey rachunek taki przeprowadził i na innej jeszcze podstawie, opierając się mianowicie na widocznym przyroście delty, który przy różnych ujściach jest nieco odmienny, średnio jednak wynosi 262 stopy rocznie. Ślady dawnego wybrzeża morskiego pozwalają wnosić, że Mississipi pracę swą nad usypywaniem delty rozpoczęła pod Plaquemine, w oddaleniu 226 mil ang. od obecnego (1861) swego ujścia, taka zaś rozległość przy wzroście rocznym 262 stóp utworzyć się mogła w ciągu 4400 lat.

Oba te obliczenia, jak to autorowie sami uznają, same przez się nie mają wartości żadnej; prowadząc wszakże do kilku tysiącoleci tylko zamiast całej setki tysięcy lat, niweczą tem samem i znaczenie tych liczb wielkich. Napływy zatem rzeczne są to chronometry zbyt niepewne, by z nich odczytywać można było czasy dziejów Ziemi. Tem trudniej nadaćby się mogły do tego osady morskie, które pod wpływem mnóstwa różnorodnych czynników z biegiem czasu ulegają znacznej zmienności; wszelkie więc usiłowania, dążące do oznaczenia czasu z grubości pokładów geologicznych uważać można za daremne.

XI.

Inna metoda dochodzenia długości najnowszych przynajmniej okresów geologicznych posługuje się drogą niejako wręcz przeciwną: zamiast obliczać przeciąg czasu potrzebny do utworzenia pewnego pokładu, stara się ona oznaczyć szereg lat, konieczny do jego zniszczenia. Szczególniej też zwracano pod tym względem uwagę na działanie wodospadów.

Najwięcej znany przykład przedstawia wodospad Niagary, a w szczególności stopniowe jego cofanie się z biegiem czasu. Rzeka Niagara sprowadza wody z jeziora Erie do jeziora Ontario, które przypada o 100 metrów niżej w odległości 32 mil ang. Po opuszczeniu Erie, Niagara płynie najpierw po wyżynie, z której następnie rzuca się z wysokości 54 metrów do głębokiego parowu o spadzistych ścianach: parów ten—mówią—rzeka sama sobie wyżłobiła. Wyspy i skały dzielą wodospad na dwie części. Część

większa, mająca 339 m szerokości, położona od strony Kanady, nosi nazwę podkowy, a to z powodu półkołowego zakrzywienia brzegu skały, z której spada; część druga, zwana amerykańską, posiada szerokość tylko 195 m. Ściana skalista, obok której woda się rzuca, składa się w górnej swej części z grubego pokładu (25 m) twardego wapienia syluryjskiego, pod którym spoczywają łatwo niszczące się warstwy marglu i gliny łupkowej, a niżej jeszcze piaskowiec, stanowiący dno parowu. Potężny rzut wody splókuje margiel i glinę, podmywając pokład wapienia, który, pozabawiony w ten sposób podparcia, załamuje się i opada bryłami w przepaść. Wodospady zatem cofają się wstecz ku jezioru Erie, a w dalekiej przyszłości, gdy spód parowu dobiegnie dna jeziora, wspaniałe wodospady ulegną zupełnej zagładzie.

Rzecz jasna, że objaw ten zachęca do obliczeń długości czasu; można się bowiem domyślać, że parów, którym rzeka płynie, w ten sam sposób wyryty został, jak i teraz wstecz się wydłuża, a ruch obecny daje miarę szybkości, z jaką postępowała i dawniej cała ta robota.

Okolice Niagary niezbyt dawno zajęte zostały przez osadników; w końcu ósmnastego stulecia w lesistych tych stronach polowali jeszcze indyanie na bawoły. Od osadnika, który 40 lat przeżył w pobliżu wodospadów, dowiedziano się, że w ciągu tego czasu przesunęły się one o 120—140 stóp, co czyni około trzech stóp rocznie; następnie jednak przyjął Lyell mniejszą szybkość tego cofania się, około jednej stopy czyli $\frac{1}{3}$ metra. W takim razie potrzebowała Niagara 360 000 lat, by poniżej wodospadów wyżłobić jar długi na 9—10 kilometrów, a jeżeli cofanie to i nadal w równej mierze postępować będzie, jar ten wydłuży się aż do jeziora Erie.

Kjerulf, który, jak już wyżej widzieliśmy, nie godzi się z obliczeniami prowadzającymi do liczb tak wielkich, nie ufa także i chronometrowi Niagary. Przytacza, że Niagara pracowała dawniej w węższym korycie, gdy obecnie działalność jej obejmuje większą przestrzeń, ściera bowiem szerszy daleko brzeg skały; znajduje nadto dowody, że w czasach, które nastąpiły po okresie lodowym, gdy topniała powłoka lodowa Ameryki, Niagara pędziła znaczniejsze ilości wody, cofanie wodospadów musiało prędzej zachodzić, a wreszcie nastąpić też mogła i katastrofa nagła, trzęsieniem ziemi spowodowana, której śladu dopatrzeć się nawet można, następstwa zaś katastrofy takiej w jednej chwili dorównać mo-

gły rezultatom pracy, dokonywanej przez rzekę przez kilka tysiącoleci. W ogólności jednak geologowie, chociaż za ścisłością obliczeń tych nie obstają, widzą w tem dowód, jak olbrzymiego czasu dla ujawnienia swych działań wymagają erozye, których skutki należą do najnowszych okresów dziejów Ziemi. A tam, gdzie działanie dokonywa się z natężeniem mniejszem, aniżeli przy potężnych wodospadach, rachunek podobny prowadzić musi do rezultatów bardziej jeszcze uderzających. Okazują to w szczególności rachunki, przeprowadzone przez Heima nad erozyą w obszarze szwarcarskiej rzeki Reuss. Od czasu uregulowania biegu tej rzeki w r. 1851, nie pozostawia już ona żadnych rumowisk w swej dolinie, ale sprowadza je wszystkie do jeziora Czterech Kantonów (Vierwaldstättersee), do którego uchodzi; staranne zaś badania, prowadzone do tego czasu, wykazały, że ilość materiału, jaką rzeka corocznie do ujścia swego znosi, obejmuje 150 000 metrów sześć. Ponieważ dalej obszar, z którego rzeka wspomniana materiał ten zbiera, obejmuje 825 kilometrów kw., z każdego przeto kilometra kwadratowego porywa ona 182 metry sześć., co odpowiada spłókanu 1 milimetra w ciągu $5\frac{1}{2}$ lat, albo jednego metra przez 5 500 lat. — Ślady dawnych ograniczeń doliny są dotąd widoczne i pozwalają ocenić obszar przez działanie wody wymulony; na podstawie zatem wyżej osiągniętej skali oblicza Heim wreszcie, że na dokonanie całej tej roboty, na wyźłobienie doliny, potrzebowała rzeka 1 151 tysiącoleci.

Rezultaty podobnych rachunków upoważniają oczywiście geologów do wniosku, że do wymulenia dolin drogą erozyi trzeba było czasów niezmiernie długich. A przecież dostrzegamy koło siebie rezultaty działań o wiele jeszcze potężniejszych, które tedy wedle wszelkiego prawdopodobieństwa dokonywać się też musiały w ciągu czasu o wiele dłuższego. Wielkie wulkany nie wytworzyły się skutkiem pojedynczego wybuchu, ale są wynikiem długiego szeregu następujących po sobie wybuchów. Jeżeli zaś dla zbudowania góry, jak Etna, trzeba było niezliczonych chyba wybuchów, cóż sądzić można o olbrzymich wulkanach hawajskich, wznoszących się od dna morskiego na 10 000 metrów w górę i utworzonych przeważnie z cienkich warstw zeszlonej lawy, rozlanych jedne nad drugimi. Pod działaniem wód i powietrza wulkany ulegają stopniowej zagładzie, pozostawiając w swych szczątkach i ruinach wymownych świadków tej roboty niszczącej, która zapewne ciągnąć się musiała dłużej, aniżeli pierwotne narastanie wulkanu

do olbrzymich wymiarów. Tak samo zresztą i całe pasma gór, według pojęć w Geologii dzisiejszej panujących, są następstwem powolnego marszczenia się, fałdowania skorupy ziemskiej, i tak samo są na pozerającą je walnę z czynnikami zewnętrznymi wystawione: według Heima szczyty Alp centralnych wznosiły się dawniej o 1 000 albo 2 000 metrów wyżej aniżeli za czasów naszych, a cały ich ogrom dzisiejszy jest już połową tylko masy pierwotnie wzniesionej. Jakżeż długo trwać musiało wytwarzanie się takich potężnych pasm górskich, jak długo ich niszczenie i ścieranie! A przecież wszystkie te objawy, o których tu mówimy, są dziełem najnowszego tylko okresu geologicznego, ostatniej doby dziejów planety naszej.

Na wszystkich tych chronometrach wszakże odczytać można tylko, że bieżą one już od czasów niezmiernie dawnych: dokładnej, albo choćby przybliżonej ich tylko oceny podać nie mogą. Widzieliśmy, jak znaczne sprzeczności zachodzą przy odcyfrowywaniu jednego i tegoż samego zjawiska; niemniej uderzający przykład podobnych różnic przedstawia inny jeszcze objaw, który również sławiono jako chronometr geologiczny, a mianowicie powolne wynoszenie się łądu skandynawskiego. Odkąd sławny Svedborg złożył królowi szwedzkiemu powinszowanie, że panuje nad krajem, który się kosztem morza powiększa, starano się wykryć skalę tego podnoszenia się łądu, ale gdy badacze jedni wnosili stąd, że ruch ten już od pół miliona lat zachodzi, widzą tu inni ślady działalności sięgającej wstecz ledwie o dwa dziesiątki tysięcy lat.

XII.

Do powyższych, czysto geologicznych metod rachuby czasu w dziejach Ziemi, przybyła jeszcze w ostatnich czasach metoda, którąby nazwać można astronomiczno - geologiczną, powołuje bowiem na pomoc wielkie okresy astronomiczne, na których znacznie zwrócił uwagę szczególnie Adhémar. Okresy te tyczą się zmienności mimośrodów drogi ziemskiej oraz obiegu punktu przysłonecznego i odsłonecznego.

W punkcie przysłonecznym swej drogi, czyli poprostu najbliższej słońca, znajduje się obecnie Ziemia w tym czasie, gdy na półkuli północnej panuje zima, a na południowej lato; po tej zaś części swej drogi, która przypada bliżej Słońca, Ziemia bieży prędzej, aniżeli po części od Słońca bardziej oddalonej, — wypada stąd,

że półrocze zimowe dla półkuli północnej trwa nieco krócej, aniżeli letnie, gdy dla półkuli południowej stosunek jest wręcz przeciwny. Korzystne to wszakże położenie półkuli północnej nie jest niezmiennie, punkt bowiem przysłoneczny przesuwają się po ekliptyce i na jej obieżenie potrzebuje około 21 000 lat; po upływie zatem połowy tego okresu, za lat 10 500, półkula południowa doznawać będzie przyjaźniejszych warunków klimatycznych, a po dalszych 10 500 latach korzyść ta przejdzie znów na rzecz półkuli północnej.

Przebieg ten wszakże wikła się zmiennością, jakiej w ciągu długich okresów ulega i sama postać drogi, po której Ziemia biegnie dookoła Słońca; obecnie jest elipsą, niewiele tylko od okręgu koła odstępującą, i w ciągu jakich 24 000 lat zbliżać się będzie jeszcze bardziej do postaci kołowej, poczem znów zmiana dokonywać się będzie w kierunku przeciwnym, a Ziemia toczyć się będzie po elipsie bardziej wydłużonej; gdy obecnie na półkuli północnej jest półrocze letnie o sześć dni dłuższe, aniżeli zimowe, a na półkuli południowej o tyleż dni krótsze, zachodzić mogą przypadki, gdy różnica ta aż 36 dni osiąga. W epokach zatem tak wielkiej eliptyczności drogi ziemskiej pomiędzy półkulą północną a południową występują różnice klimatyczne daleko wybitniejsze, aniżeli je dostrzegamy obecnie, przy kołowej prawie postaci drogi ziemskiej.

Poglądy Adhéma ra rozwinęli głównie Croll i Schmieck; pierwszy za następstwo tych okresów astronomicznych uważa przede wszystkim peryodyczną zmianę temperatury na jednej i drugiej półkuli, drugi wiąże je z kolejnym gromadzeniem się przeważnej masy wód koło jednego lub drugiego bieguna, zaczem idą kolejne zmiany klimatu.

Ponieważ zmiany te zachodziły i w przeszłych czasach istnienia Ziemi, rzecz naturalna, że skorzystano z nich, by wyjaśnić tą drogą owo zagadkowe zniżenie temperatury w pewnej epoce istnienia Ziemi, w tak zwanym okresie lodowym, znamionował się bowiem obfitem rozprzestrzenieniem lodników, czego dowody wykazała Geologia. W takim razie jednak okres lodowy nie obejmował całej nieraz Ziemi, ale przypadał naprzemian na półkuli północnej lub południowej, a nadto objaw ten powtarzać się musiał za każdym obiegiem punktu przysłonecznego, mniej więcej zatem co lat 21 000. Okres lodowy nie jest przeto, według tych poglądów, zjawiskiem przypadkowym, jednokrotnym, ale objawem peryodycznym, powtarzającym się statecznie w dziejach Ziemi, a każ-

da półkula przechodzić już musiała cały szereg takich okresów lodowych.

Są rzeczywiście pewne skazówki, które uważać można za ślady okresów lodowych już w najdawniejszych formacjach skorupy ziemskiej; wśród różnych pokładów, mianowicie, występują niekiedy bryły im obce, przypominające niejako dzisiejsze głązy narzutowe, co do których przyjmujemy pospolicie, że są zabytkiem działalności lodników.

Dowody tego rodzaju nie mogą być oczywiście dosyć przekonujące, a peryodyczność okresów lodowych pozostaje wątpliwym bardzo domysłem; pomimo to próbowano już zastosować przytoczone wyżej okresy astronomiczne do celów chronologii Ziemi, a najdalej w tym kierunku posunęli się Blytt (1876) i Mayer-Eymar (1884).

Ten ostatni przyjmuje, że w tworzeniu się skorupy ziemskiej rozróżnić należy piętra, odpowiadające okresom obiegu punktu przysłonecznego, obejmujące zatem po 21 000 lat dziejów Ziemi, a od początku epoki trzeciorzędowej naliczył on takich piętr piętnaście. Wynika stąd, że ciąg czasu, jaki od tej doby geologicznej do czasów naszych upłynął, obejmuje około 315 000 lat.

Blytt, opierając się na innych dostrzeżeniach i rozumowaniach, o wiele obficie szafuje podobnemi piętrami, a tem samem i latami. W pewnym profilu utworów trzeciorzędowych, odsłoniętym przy budowie kolei pod Méry-sur-Oise, dojrzał on szereg warstw, odpowiadający 47 obiegom punktu przysłonecznego; w systemacie zaś Mayera temuz samemu układowi warstw odpowiadają dwa tylko piętra, dwa obiegi punktu przysłonecznego; znaczy to innemi słowy, że jeden i tenże sam ustęp dziejów Ziemi według jednego z tych badaczy trwać miał ledwie 42 000, według drugiego milion z górą lat.

Różnica ta starczyć może zapewne za dowód, że i tego chronometru astronomiczno-geologicznego odczytać nauka dzisiejsza nie może, przez poszukiwania jednak Heima, Pencka i kilku innych geologów chronologia okresu lodowego zyskała w ostatnich latach pewność znacznie większą. O badaniach tych opowiemy oddzielnie w jednym ze szkiców dalszych, którego przedmiotem wyłącznym jest okres lodowy w dziejach Ziemi.

XIII.

Niepomyślne te próby odcyfrowania wieku Ziemi nie przeszkadzają geologom rozpościerać dziejów naszej planety na tle nieokreślonego i dowolnie długiego przeciągu czasu; w ostatnich wszakże latach nasunęła się wątpliwość, czy w spekulacjach dotyczących się dziejów Ziemi możemy tak dowolnie rozporządzać nieograniczonością czasu. Jeden z najznakomitszych mianowicie fizyków dzisiejszych, William Thomson, opierając się na argumentach porządku fizyczno-astronomicznego, kładzie poważne swe veto przeciw tej dowolności, wykazując, że od wytworzenia się skorupy ziemskiej, a przynajmniej od chwili, gdy stała się zdolną do przyjęcia istot żyjących, upłynęło nie więcej nad dziesięć, lub co najwyżej piętnaście milionów lat.

Fizyk angielski opiera swe wywody również na podstawie objawów, jakie nam dzisiejszy stan Ziemi przedstawia; objawy jednak, jakie rozpatruje, nie są drobne i szczegółowe, ale przedstawiają charakter ogólny i powszechny, za jeden bowiem argument służy mu ciepło wewnętrzne Ziemi, za drugi zwolnienie obrotu dziennego Ziemi pod działaniem przyływów merskich, a dalsze poparcie znajduje nawet w promieniowaniu słonecznym. Zobaczmy, w jaki sposób każdy z tych różnych zgoła między sobą objawów do jednakiego wyniku prowadzi.

Pierwszy swój dowód czerpie Thomson z objawów ciepła wewnętrznego naszej planety, o którym świadczy przyrost temperatury, jaki napotykamy w miarę zagłębiania się w ziemię¹⁾. Skoro zaś wewnątrz Ziemi posiada temperaturę wyższą, ciepło przepływać stamtąd musi bezustannie ku zimniejszej jej powierzchni, skąd rozchodzi się w przestrzeń światową; Ziemia przeto i obecnie jeszcze traci ciepło w pewnym stosunku, który oznaczyć i obliczyć można. W takim razie, na podstawie znanych praw fizycznych, można też z teraźniejszego rozkładu temperatury wywnioskować, jak ciepło rozłożone było w Ziemi przed stu tysiącami lub przed milionem lat, tak samo, jakbyśmy na podstawie obliczeń matematycznych przepowiedzieć mogli, jaki będzie rozkład ciepła w przyszłości. Przeprowadzone dotąd badania wskazują, że temperatura ku wnętrzu Ziemi wzrasta przecięciowo o 1°F na każde 100 stóp

1) Ob. szkic następny: „Zagadka wnętrza Ziemi“.

ang., a na podstawie tej, drogą wyżej wskazaną, doszedł Thomson, że przed dziesięciu mniej więcej milionami lat Ziemia właśnie co skręplała, albo też poczyniała krzepnąć, i że następnie, po upływie niewielu stosunkowo tysięcy lat, zakrzepła powierzchnia Ziemi tak dalece już zastygła, że w niektórych przynajmniej miejscach była już przydatna na siedlisko istot żyjących, jakie obecnie znamy. Temperatura bowiem powierzchni, w pewnych przynajmniej okolicach, nie przenosiła już tego stanu ciepła, jaki teraz zwierzęta i rośliny łatwo znoszą w stronach zwrotnikowych, przyrost zaś temperatury w głębi Ziemi mógł wtedy wynosić 1° na każde sześć lub dziesięć cali, co by nie przeszkadzało utrzymywaniu się życia roślin. W przeszłości odleglejszej, jak uczy tenże sam rachunek, powierzchnia Ziemi musiała być ciekła i rozżarzona do silnej białości, zgoła nieprzydatna do utrzymania życia jakichkolwiek bądź istot. Wynika z tego zatem, że najniższe nawet organizmy nie mogły się ukazać na Ziemi przed dziesięciu lub co najwyżej przed piętnastu milionami lat.

Drugi swój argument opiera Thomson na spostrzeżeniu, że obrót dzienny się zwalnia, co innemi słowy znaczy, że długość doby wzrasta. Zdumiewający i niespodziany dla nas ten objaw wyczytano w ruchach Księżyca; przez zestawienie, mianowicie, dawnych jego zaćmień z obserwacjami nowszemi poznano, że ruch naszego satelity stopniowo się przyspiesza, chociaż przyrost ten szybkości jest drobny, wynosi bowiem tylko 12 sekund na stulecie. Spostrzeżenie to wywołało długą dyskusję astronomiczną i matematyczną, z której się wreszcie okazało, że na karb ruchu samego Księżyca przypada część tylko tego przyspieszenia, reszta jest następstwem zmniejszania się szybkości obrotu ziemi. Skoro bowiem szybkość ta maleje w ciągu wieków, czyli skoro wzrasta długość dnia, która stanowi jednostkę czasu, czas przez nas liczony ciągle opóźniać się musi; Księżyc więc bieży pozornie coraz prędzej, gdy w samej rzeczy to Ziemia coraz powolniej wiruje. Zwalnianie szybkości obrotu Ziemi jest zresztą bardzo nieznaczne, wynosi bowiem, wedle rachunków Adamsa, godzinę ledwie na 16 000 lat, fakt ten jednak obecnie zaprzeczeniu już ulegać nie może.

Przyczyną tego powolnego zmniejszania się szybkości obrotu ziemi jest działanie przyptywów morskich. Pod wpływem przyciągania Księżyca i Słońca woda oceanu wznosi się i rozlewa kolejno w różnych punktach globu, jakby przyciąganiem tem powstrzymywana Ziemia przeto ustawicznie wiruje wewnątrz tej ma-

sy ciekłej; sprowadza to bezustanne tarcie, opór ciągły, który osłabia energię obrotu Ziemi dokoła jej osi. Dopóki więc przypływy i odpływy morza istnieć będą, szybkość obrotu ziemi ustawicznie zmniejszać się musi.

Wypływa stąd tedy dalej, że w przeszłości Ziemia wirować musiała prędszej. Dajmy, że od czasu zakrzepnięcia powierzchni Ziemi upłynęło lat tysiąc milionów; w takim razie rachunek uczy, że planeta nasza wirować wtedy musiała co najmniej dwa razy prędszej aniżeli obecnie, czyli że doba trwała wówczas 13 tylko, a nie 24 godzin. W takim jednak razie nastęrcza się nam inna niemożebność. Wiadomo bowiem, że następstwem osiowego obrotu Ziemi jest jej podbiegunowe spłaszczenie; przy ruchu tedy dwa razy szybszym wzbudzałaby się na równiku siła odśrodkowa czterokrotnie większa, a stąd i spłaszczenie Ziemi musiałoby być o wiele znaczniejsze, aniżeli jest obecnie.

Skoro zaś Ziemia tak słabe tylko posiada spłaszczenie, w czasie przeto, gdy powierzchnia jej krzepła, wirować musiała z prędkością niewiele tylko większą niż obecnie; a że, dalej, szybkość obrotu ustawicznie maleje, epoka skrzepnięcia bryły ziemskiej przypadać mogła stosunkowo niezbyt dawno; na podstawie zaś rachunku swego wykazuje T h o m s o n, że mogło to mieć miejsce przed dziesięciu milionami lat niespełna.

Trzeci swój argument, jak powiedzieliśmy, czerpie T h o m s o n z promieniowania słonecznego i z idącego za tem stygnięcia naszej gwiazdy dziennej; kładzie on wszakże na rzecz tę nacisk znacznie mniejszy, aniżeli na dwa dowody poprzedzające, nie wydaje się ona bowiem równie ściślą. Słońce, mianowicie, rozsyłając swe promienie, ulega stygnięciu; możnaby sądzić, że dawniej, gdy było znacznie gorętsze, obdarzało Ziemię ciepłem sowing niż obecnie, ale też jest prawdopodobne, że silniejszy wtedy żar Słońca powodował wytwarzanie się z jego powierzchni znaczniejszych ilości par, które, wzbijając się w górę, oziębiały się i tworzyły potężne obłoki, pochłaniające znaczną ilość promieni. Z tego zatem powodu ilość promieni ciepłikowych dobiegających niegdys do Ziemi może nie była większa niż obecnie, czyli Ziemia po wszystkie czasy otrzymywała od Słońca jednakową ilość ciepła, gdy bowiem było ono gorętsze a tem samem znaczniejsze ilości ciepła wysyłało, zarazem też rozchodzeniu się dalszemu swych promieni silniejsze stawiało przeszkody; przyjąc więc można, że Słońce zawsze jednostajnemu ulegało stygnięciu.

I. C Z A S.

Przez wzajemne uderzenie się materyałów, z których wytworzyło się Słońce, wzbudziła się zapewne niezmierna ilość ciepła; pomimo to jednak i w przypuszczeniu nawet, że stygnięcie Słońca dokonywało się jednostajnie, rachunek prowadzi do wniosku, że Słońce zaopatrywać mogło Ziemię nie dawniej, jak od piętnastu lub dwudziestu milionów lat choćby tą tylko ilością ciepła, jaką jej obecnie nadsyła.

Ostatni ten dowód, jak powiedzieliśmy, uważa Thomson za słabszy od dwu pierwszych, popiera jednak wnioski, do których one powiodły, dwiema zgoła różnemi i niezależnemi między sobą drogami. Wszystko to razem prowadzi do twierdzenia, że ze względów fizycznych można co najwyżej przyjąć około dziesięciu milionów lat na okres, w ciągu którego zaszły na powierzchni Ziemi wszelkie zmiany od czasu pojawienia się na niej najniższych form organicznych.

Jakkolwiek wnioski swych badań wypowiada Thomson ze wszelką stanowczością, nie oddziaływały one dotąd zgoła na poglądy geologów. Dzieje rozwoju Ziemi, podobnie jak i rozwoju istot na niej żyjących, odbywają się dotąd bez chronologii, czas jest w nich czynnikiem nieokreślonym, którego pod istotną wagę dotąd nie biorą. Ale jak legendy, odnoszące się do pierwotnego bytu człowieka wtedy dopiero w poważną historję rodu ludzkiego przechodzą, gdy mogą się na chronologii oprzeć, tak samo i Geologia zdobędzie może kiedyś środki, które jej pozwolą dokładniej mierzyć rozległe obszary jej czasów.

XIV.

Jeżeli tyle szkopułów napotykamy przy rachubie czasów minionych, to trudności jeżą się więcej jeszcze, gdy od przeszłości wzrok ku przyszłości odwrócimy, chcąc odgadnąć, jak długo jeszcze ziemską naszą bryłę darzyć będzie Słońce dostatecznym zasobem ciepła i światła, by życie na niej istnieć i utrzymywać się mogło. I tu jednak wydożyła nauka niejaki wskazówki, by na nich domysły swe oprzeć, a w kwestyi tej pójdziemy znowu za Thomsonem, któremu odwagi w wysnuwaniu wniosków daleko sięgających odmówić zapewne nie można.

Rozsyłając na wszystkie strony przestrzeni promienie ciepła swego, traci Słońce bezustannie olbrzymie zasoby energii. Z przeprowadzonych niegdys przez Pouilleta badań nad natężeniem

promieniowania słonecznego oceniono, że ciepło, przez Słońce w ciągu każdej sekundy wysyłane, odpowiada pracy, wyrażającej się przez niezmierną liczbę 476 sekstylionów (476 z 21 zerami) koni parowych, a proces ten trwa w tymże samym stosunku od kilku albo i wielu milionów lat. Jakże zdołamy proces ten wytłómaczyć?

Na podstawie przeprowadzonych dotąd badań naukowych wiemy w ogólności, że Słońce składa się z masy ognisto-płynnej, która ulegać musi stopniowemu oziębieniu, chociażby może otrzymywała niekiedy drobny dopływ nowej energii przez przypadkowo spadające meteory. Powszechnie znana jest teoria Helmholtza, mająca za sobą znaczny stopień ścisłości naukowej i przy pomocy której objawy bytu Słońca śledzić można aż do czasów przedhistorycznych. Teoria ta da się treściwie w następujący sposób przedstawić.

W pewnym czasie, który przypada w przeszłości już prawie niedościgłej, wytworzyło się ciepło słoneczne przez skupienie części materii, przyciągniętych ku sobie z przestrzeni światowej pod wpływem działania siły ciężkości; części te materii przez swe złączenie utworzyły masę dzisiejszego układu słonecznego. Żar potężny tej masy, jaki powstał przez wzajemne uderzenia tych części, zmniejszał się przez stopniowe oziębienie, a wskutek tego masa mogła się ścigać i objętość swą zmniejszać.

Teoria Helmholtza opiera się niezbędnie na przypuszczeniu, że masa słoneczna pozostaje dotąd w stanie płynnym, gdyż ciało stałe, choćby do najwyższej jasności rozżarzone, musiałoby po krótkim czasie utracić żar swój na powierzchni i przybrać powłokę ciemną. Powierzchnia bowiem tego ciała stałego otrzymywałaby ciepło z warstw głębszych jedynie przez przewodnictwo, a dopływ taki nie wynagradzałby ubytku, powodowanego stygnięciem powierzchni. Przy masie płynnej, natomiast, substancja zewnętrznych warstw Słońca, która ciepło wysyła, gęstniejąc przy stygnięciu, musi się cofać ku wnętrzu, podczas gdy gorętsza substancja płynna pędzona jest z wnętrza i wydostaje się na powierzchnię. Straszliwe to prądownie, utrzymujące się bezustannie w olbrzymiej, ognisto-płynnej masie słonecznej, stanowi podstawę dzisiejszej fizyki Słońca, która się coraz więcej rozwija przy pomocy badań spektralnych.

Aby powziąć dokładniejsze wyobrażenie o ilości ciepła, jaka bezustannie doprowadzana jest do powierzchni Słońca i w prze-

strzeń wysyłana, należy wyżej podaną olbrzymią liczbą 476×10^{21} koni parowych podzielić przez wielkość powierzchni Słońca $6,1 \times 10^{18}$ metrów kwadratowych, a wypadający stąd iloraz 78000 koni parowych daje nam wielkość promieniowania słonecznego w ciągu sekundy z każdego metra kwadratowego, wyrażoną w jednostkach mechanicznych.

Wyobraźmy sobie ośm machin parowych, każdą o sile 10 000 koni, któreby nakładem wszystkiej swej pracy wprawiały w ruch koło łopatkowe, umieszczone w cieczy, zapełniającej koryto o przecięciu jednego metra kwadratowego: metr kwadratowy cieczy, w tak niesłychany sposób wzburzonej, wysyłałby tą samą ilość ciepła, co każdy metr kwadratowy powierzchni Słońca.

Natężenie to promieniowania słonecznego pozwala obliczyć, że idące za tem ściąganie się promienia słonecznego wynosi około 35 metrów rocznie, co w ciągu dwu tysięcy lat czyni dziesięciotyśięcną część jego długości. Jeżeli więc promieniowanie Słońca jest obecnie takież samo, jakim było przed 200 000 lat, to promień słoneczny musiał być podówczas o jedną odsetkę większy.

Jeżeli zaś działalność słoneczna w takim samym, jak obecnie, natężeniu promieniowania utrzymywać się ma jeszcze przez dwadzieścia milionów lat, to promień słoneczny zmniejszyłby się przeszło o połowę. Dodać wszakże należy, że w takim razie gęstość Słońca byłaby wtedy jednaście razy większa od gęstości wody, czyli wyrównałaby gęstości ołowiu, nie mogłoby przeto już zachodzić prawidłowe zagęszczenie, jak to ma miejsce co do gazów. Należy więc przyjąć, że w przyszłości ilość ciepła wysyланego przez Słońce zmniejszy się nadal znacznie, zwłaszcza przy zmniejszeniu powierzchni promieniującej.

Wskazana tu ocena promieniowania słonecznego polega, jak powiedzieliśmy, na dawniejszych obserwacjach Pouilleta. Dokładniejsze pomiary natężenia tego promieniowania przeprowadził niedawno Langley na górze Whitney w Kalifornii, w wysokości około 15 000 stóp ang. nad poziomem morza. Na podstawie tych obliczeń przyjąć należy, że ciepło, wysyłane w ciągu sekundy przez jeden metr kwadratowy powierzchni Słońca, wyraża się przez 133 000 koni parowych, zamiast podanej wyżej liczby 78 000, co znaczy powiększenie w stosunku 1:1,7. Skoro zaś Słońce przez promieniowanie traci więcej ciepła, aniżeli w powyższych obliczeniach przyjmowano, przeto też i otrzymywane z rachunków tych długości czasów skrócić należy w stosunku 1:1,7. Zamiast więc

obliczonych wyżej dwudziestu milionów lat, wypada, że promieniowanie słońca, niezbędne do utrzymania życia na Ziemi, trwać może jeszcze przez dwanaście milionów lat tylko. Uwzględniając zaś inne jeszcze okoliczności, a zwłaszcza to, że wewnątrz słońca posiadać może gęstość większą i że promieniowanie w czasach ubiegłych odbywać się mogło z żywością odmienną, przypisuje Thomson Słońcu nie więcej nad jakie dwadzieścia milionów lat działalności w czasach ubiegłych i pięć do sześciu milionów lat w przyszłości.

Cokolwiekbyśmy o ścisłości obliczeń tych mniemali, nie może to uwłaczać bynajmniej samej ich zasadzie. Zanim zaś, w miarę oziębiania Słońca, zamrze przyroda ziemską, o wiele wcześniej zapewne ród ludzki znajdzie kres bytu swego; a wtedy też dopiero ulecą się choroby jego i rany ukoją, bo jeżeli według zasady Hippokratesa „*quod medicamenta non sanant, ferrum sanat, et quod ferrum non sanat, ignis sanat*”, to zapewne nad medykamenty wszelkie, nad żelazo i nad ogień, czas najdzielniejszym jest lekarzem.

II.

ZAGADKA WNETRZA ZIEMI.

Mozolna praca człowieka nad odsłonięciem tajników przyrody stawia nam przed oczy i urzeczywistnia legendową walkę tytanów z synami Saturna. Walkę tę zuchwały ród Japeta zwycięsko prowadzi: wydarł już Jowiszowi niebo jego błękitne, a Neptunowi niezmierzone i niezgłębione morze. Niebo rozbił i w nicość rozwiął, a złote gwiazdy rozrzucił w przestrzeń, zmierzył ich odległość, odcyfrował skład ich i budowę; morze przepłynął i z najgłębszych toni wydobył twory tajemne, dziwaczniejsze nad fantastyczny orszak Neptuna. I tylko Pluton, ponury bóg podziemi, urąga wszelkim zamachom, zawistnie broni dostępu do swego dziedzictwa i strzeże go od oczu ciekawych. Aż do nieskończoności rozejrzał człowiek przestrzeń ponad sobą, a tuż pod nim, w najbliższym jego sąsiedztwie, istnieje świat tajemny, na całą wieczność dlań niedostępny. Otwartym bojem nie zdołał pokonać zagadki wnętrza ziemi, ale wezwał do pomocy Matematykę i Geodezyę, Astronomię i Fizykę, Chemię i Geologię, by na tej podstawie oprzeć gmach hypotetycznych domysłów. Gmach to wprawdzie wątły, ale tak położony fundament jego dosyć jest bezpieczny, by zachęcił do rozejrzenia szczegółów wzniesionej dotąd budowy.

I.

Skoro do wnętrza Ziemi sięgnąć mamy, uprzytomnić sobie przedewszystkiem należy odległość, jaka nas od środkowego jej punktu dzieli. Gdy bezpośrednie wysondowanie tej odległości jest rzeczą niemożliwą, daje się ona obliczyć ze znanej długości południka ziemskiego, jako koła wielkiego opasującego naszą planetę. Sprawa pomiarów Ziemi, rozpoczęta przez Eratostenesa w Aleksandryi na 200 lat przed nar. Chr., a dotąd bynajmniej nieukoń-

czona, łączy się w pewnym punkcie, jak to zobaczymy, i z kwestyą, która nas teraz zajmuje; odbieglibyśmy jednak od naszej rzeczy zadaleko, gdybyśmy o tę kwestyę potrącać chcieli¹⁾, przytoczymy więc tylko, że od bieguna środek Ziemi oddalony jest prawie na $856\frac{1}{2}$ mil geogr. Nie ze wszystkich jednak punktów powierzchni Ziemi do jej środka równie jest daleko,—ktoby tam zapragnął dotrzeć nie od bieguna, lecz od któregokolwiek punktu równika, musiałby przejść $859\frac{1}{2}$ mil geogr., zatem o 3 mile więcej. Te trzy mile stanowią to, co podbiegunowem spłaszczeniem ziemi nazywamy. Łatwo wszakże widzieć, że sama ta długość trzech mil nie może stanowić miary spłaszczenia Ziemi, ani nawet o wielkości jego pojęcia nam nie daje. Jest to bowiem wielkość względna; gdyby ziemia była mniejsza, różnica trzech mil między promieniem równikowym a biegunowym miałaby znaczenie donioślejsze; gdyby wzrosła do wymiarów znacznie większych, trzy te mile stałyby się drobnostką podrzędną. Stosunek tylko powyższej różnicy do istotnej wielkości Ziemi, a raczej do jej promienia, wyrazić nam może wielkość spłaszczenia ziemi. Według tego wynosi ono zatem $\frac{3}{896}$, t. j. nieco więcej nad $\frac{1}{300}$; znaczy to, mówiąc językiem jak najzwyczajszym, że od bieguna do środka Ziemi jest o $\frac{1}{300}$ bliżej, aniżeli od równika.

Ułamek ten wszakże, jak to już z liczb wyżej podanych wypływa, daje tylko przybliżoną wielkość spłaszczenia Ziemi. Łatwo dziś wprawdzie powtarzać, że Ziemia ma postać kuli pod biegunami spłaszczonej, trzeba jednak było geniuszu aż takiego Newtona, by wniesić z pewnych objawów, że odstępuje ona od prawidłowej formy kuli. I dotąd jeszcze, pomimo niezmordowanych i długoletnich wysiłków, spłaszczenia tego z zupełną dokładnością oznaczyć nie zdołano, jakkolwiek nie poprzestano na bezpośrednich geometrycznych pomiarach Ziemi, ale poradzono się i wahać, które pod biegunem, już dla bliższego sąsiedztwa ze środkiem Ziemi, kołysze się nieco prędzej aniżeli na równiku. Odczytano nawet wpływ spłaszczenia Ziemi i w pewnych nieprawidłowościach w biegu Księżyca, który w ruchu swoim pod bezpośrednim wpły-

¹⁾ Metodę, historię i stan obecny pomiarów Ziemi opowiedziałem w pracach oddzielnych: „O postaci i ciężarze Ziemi“ (Warsz. 1885), oraz „Ziemia i niebo“ (Warsz. 1898).

wem naszej planety zostaje. Trudności, z jakimi zadanie to walczyć musi, pozwalają dziś z dostateczną pewnością tyle tylko powiedzieć, że spłaszczenie to nie jest większe nad $\frac{1}{289}$, ani też mniejsze nad $\frac{1}{294}$. Pytanie zaś o naturze wnętrza Ziemi łączy się z wielkością jej spłaszczenia.

Podane wyżej wymiary promienia ziemskiego już same wystarczają, by wykazać niemożebność bezpośredniego dotarcia daleko w głąb Ziemi: dosyć powiedzieć, że największa głębokość, do jakiej człowiek dotąd przeniknął, czy to w kopalniach, czy za pośrednictwem otworów świdrowych, czy wreszcie przy wywiercaniu studzien artezyjskich, nie przenosi 2000 metrów, a zatem czyni trzytysięczną ledwie część promienia ziemskiego. Kto zeskrobał ostrożnie cieniutką powłokę dyni lub pomarańczy, alboż wie cokolwiek o budowie tych owoców, o układzie ich nasion? Taki to nieznaczny naskórek Ziemi odsłonięto dotąd ledwie tu i owdzie. A jednak, kto zwiedził choćby Wieliczkę tylko, już zrozumie łatwo ogrom pracy, jaki długie pokolenia łożyć musiały na przekopanie tych jam podziemnych, olbrzymich względnie do sił naszych, a mikroskopowo drobnych odnośnie do objętości całej bryły ziemskiej.

A nawet, pomimo całego rozwoju dzisiejszej techniki, nie jest prawdopodobnem, by granice te człowiek mógł kiedykolwiek znacznie przekroczyć; coraz wzrastające ciśnienie, trudności dostarczania powietrza i tym podobne względy stawiają nieprzebytą tamę dalszemu posuwaniu się górnictwa do głębszych pokładów.

Niedawno obiegał pisma pomysł pewnego amerykańnika, by wszystkie mocarstwa połączyły swe siły i nakłady na przekopanie szybu w głąb Ziemi, któryby wreszcie do jej środka dosięgnął. Wartość takiego projektu łatwo ocenić, choć pomysłowy amerykańnik miał na zawołanie i siłę dostateczną; pragnął bowiem, by na ten cel wszystkie państwa zaoferowały swe wojska. Chciał on może tylko wszystkie armie w głąb Ziemi zakopać.

Bo chociażby mógł kto roić, że przeszkody, o jakich wspomnieliśmy, zdoła przewyciężyć przysły rozwój naszych środków technicznych, to zawsze nieprzepartą zaporę stawiać będzie wysoka temperatura, już w niezbyt stosunkowo znacznej głębokości panująca.

II.

Wiadomo powszechnie, że wpływ promieni Słońca, którym powierzchnia Ziemi i otaczająca ją atmosfera wyłącznie swe ciepło zawdzięczają, w głąb Ziemi daleko nie sięga. Termometry, zapuszczane w ziemię, okazują w głębokościach coraz znaczniejszych coraz słabszy ruch roczny. Z licznych w tej kwestyi badań szczególnie wymowne są rezultaty otrzymane przez *Forbesa* w Anglii, który w trzech miejscowościach, różniących się naturą gruntu, osadził termometry w głębokości trzech, sześciu, dwunastu i dwudziestu czterech stóp angielskich; przebieg roczny temperatury, pomimo różnaitości gruntu, okazał się wszędzie dosyć zgodny, — w głębokości trzech stóp różnica między najwyższym a najniższym stanem termometru w ciągu roku wynosiła 8°C, w głębokości sześciu stóp 5,5°, w głębokości dwunastu stóp niespełna 3°, a wreszcie w głębokości 24 stóp termometr przez rok cały okazał przeskok ledwie o 0,8°.

W ogólnosci, już na kilka stóp pod powierzchnią Ziemi ustaje różnica między temperaturą dnia i nocy, a w odległości nieco znaczniejszej, kilkudziesięciu mniej więcej stóp, termometr nie okazuje już żadnej zmiany nawet w ciągu roku całego. Czy to powierzchnia Ziemi rozgrzewa się działaniem promieni letnich, czy to ścina ją mróz zimowy, w głębokich piwnicach temperatura panuje stale jednaka, bez względu na uderzające przeobrażenia, jakie następstwo różnych pór roku na powierzchni Ziemi powoduje; promienie słoneczne, pochwycone i pochłonięte przez wierzchnie pokłady Ziemi, nie dochodzą już do tej „warstwy obojętnej“, której stateczna zawsze temperatura odpowiada mniej więcej średniej temperaturze położonej nad nią miejscowości.

Istnienie tej warstwy obojętnej zdradził termometr umieszczony w piwnicy Obserwatorium paryskiego, w głębokości 28 metrów, który od stu lat z górą okazuje niezmienną temperaturę 11,83°; trudniej jednak powiedzieć, w jakim mianowicie oddaleniu od powierzchni warstwa obojętka przypada. Niewątpliwie, w różnych stronach Ziemi mieści się ona w rozmaitej głębokości; tam, gdzie w ciągu roku temperatura ulega słabszym kołysaniom, gdzie obszerność roczna jej zmian jest mniejsza, czyli, innymi słowy, gdzie odskok między temperaturą lata i zimy jest niewielki, wpływ promieniowania słonecznego ustaje także w niewielkiej

II. ZAGADKA WNEŹRZA ZIEMI.

głębokości; tam zaś, gdzie kołysanie roczne temperatury okazuje obszerność znaczną, chwiejność jej ujawnia się w głębszych znacznie warstwach skorupy ziemskiej. Wypływa już stąd, że w stronach równikowych warstwa obojętna znajduje się daleko bliżej powierzchni, aniżeli w sferach biegunowych. Według *Boussingaulta* w okolicach zwrotnikowych Ameryki południowej już w głębokości połowy metra ustają wszelkie zmiany temperatury; według późniejszych wszakże dostrzeżeń i w tamtych nawet krajach zstępować trzeba o 5 metrów, by osiągnąć warstwę obojętną. Znaczna różnica obu powyższych danych wskazuje już, jak niepewne są jeszcze wiadomości nasze o przebiegu pod powierzchnią Ziemi tej warstwy obojętnej. W każdym razie obniża się ona coraz więcej, w miarę, jak zbliżamy się ku biegunom, a tam, gdzie temperatura średnia opada niżej zera, wierzchnie pokłady są do znacznej głębokości zlodowaciałe. Świadczy o tem wymownie słynny szyb *Szergina*, wybity w *Jakucku* w *Syberyi*. Robotę rozpoczęto w r. 1828, a w r. 1837 doprowadzono ją do głębokości 116½ metrów, nie osiągnięto jednak jeszcze granicy zlodowaciałego gruntu, a temperatura wynosiła tam $-0,6^{\circ}\text{C}$. W roku 1844 temperaturę tej studni badał dokładnie *Middendorff* z polecenia Akademii petersburskiej i przekonał się, że średnia temperatura roczna *Jakucka* $-10,15^{\circ}\text{C}$ występuje już w głębokości 6 metrów, odtąd zaś temperatura wzrasta statecznie, ale jeszcze na dnie studni wynosi -3° . Z rachunków, opartych na podstawie swych dostrzeżeń, wywnioskował *Middendorff*, że kres przemarzłego gruntu przypadać może dopiero w głębi 186 do 196 metrów; prawdopodobnie jednak jest to liczba zbyt wielka, inna bowiem studnia w tamtych stronach wykopana dotarła do wody w głębokości 126 metrów.

Zmiany temperatury, na powierzchni Ziemi zachodzące, w głąb jej nietylko słabiej, ale i później przenikają. W przytoczonych wyżej obserwacjach *Forbesa* w gruncie, ze skały porfirowej utworzonym, najniższa temperatura w głębokości 3 stóp zachodziła nie w styczniu, ale w połowie lutego; w głębokości 6 stóp termometr zszedł najniżej w połowie marca, w głębokości 12 stóp około 20 kwietnia, a wreszcie termometr najdalej zapuszczony do 24 stóp, przeszedł przez stan swój najniższy dopiero w połowie lipca. Potrzeba było zatem aż półrocza, by w gruncie tym chłód zimowy przeniknął warstwę 24 stóp ang. Tak samo bracia *Aubel* nad morzem Białym w początkach sierpnia 1873 r., w czasie dnia

gorącego, w głębokości jednego metra pod gruntem pokrytym roślinnością napotkali warstwę lodową. Opieszałość ta ruchu ciepła tłumaczy się słabym przewodnictwem materiałów tworzących skorupę ziemską.

To jednak, co tuż pod powierzchnią Ziemi zachodzi, jest raczej jeszcze rzeczą Meteorologii i nie waży zgoła w kwestyi, która nas zajmuje; idzie nam raczej o to, co się dzieje poza ową warstwą obojętną.

Już słynny jezuita *A t a n a z y K i r c h e r*, autor osobliwych dzieł naukowych z wieku siedemnastego, dowiedział się od górników freiberskich, że przy schodzeniu w głąb kopalni napotykamy gorąco coraz wyższe. Donoszą o tem i inni ówczesni pisarze, a wkrótce potwierdzono należycie, że, poczynając od warstwy obojętnej, temperatura ku dołowi wzrasta. Dziś rzecz ta należy do najwięcej rozpowszechnionych wiadomości naukowych, ale naprawdę ponad to ogólnikowe uzasadnienie samego faktu wiele więcej o nim nie wiemy; niepodobna zwłaszcza określić dokładnie, w jakim stosunku, albo raczej według jakiego prawa wzrost ten zachodzi.

Przenoszenie termometrów do kopalń, zapuszczanie ich w otwory świdrami ziemnymi wiercone, albo rozmieszczanie ich w tunelach, nie powinnyby przedstawiać znacznych kłopotów, ale działają tu różne okoliczności wikłające. Przedewszystkiem nasuwa się tu pod uwagę samo ukształtowanie czyli pochylenie powierzchni Ziemi. Gdy bowiem przebijamy w ziemi otwór pionowy, to w ogólności nie posuwamy się w kierunku do powierzchni Ziemi prostopadłym, w jakim przecież oddalenie się od niej mierzyć należy; wzgląd ten okazał się zwłaszcza widocznym przy oznaczaniu temperatur w długich tunelach, które dla potrzeb dróg żelaznych pod wysokimi górami przekopano. Przy porównywaniu dalej termometrów w różnych głębokościach potrzeba zważać, by termometry te przypadły na jednej linii pionowej, a z tego względu korzystnie się zalecają szczególniejsz obserwacye w otworach świdrowych.

Przy badaniach dawniejszych poprzestawano w ogólności na umieszczaniu termometru w powietrzu; temperatura jednak powietrza wypełniającego kopalnie dosyć znacznie odstępować może od temperatury jej ścian, o którą przecież głównie tu idzie. Z tego względu nie można też posługiwać się i wodami, które się w kopalniach napotykają, jakkolwiek na pozór dane tą drogą otrzymy-

II. ZAGADKA WNEŹTRZA ZIEMI.

wane wydawać się mogą wiarogodne, — nie wiadomo bowiem, z jakiej zbiegają wysokości i przez jakie kanały podziemne przepływają, zanim na jaw występują. Tak np. w tunelu góry Cenis, w odległości 500 metrów od bramy południowej, temperatura powietrza wynosi 10,5°, gdy skała posiada temperaturę 14,2°; starać się tedy należy o wprowadzanie termometrów w otwory wybijane w samych skałach. Ponieważ nie pomijano żadnej okoliczności przyjaznej, któraby nam dostęp do dalszych warstw Ziemi otwierała, starano się też korzystać i z wyświdrowanych studzien artezyjskich, sprowadzających nam wodę z dość znacznych głębokości; rezultaty jednak tych dostrzeżeń nie mogą dawać skazówek zupełnie pewnych. Woda bowiem gorąca, gdy się wzbija w górę, oziębia się, a tem samem staje się cięższą, po części zatem opada znów ku dołowi i miesza się niżej z wodą wytryskującą; wskutek tego rozwija się pewien proces obiegu czyli cyrkulacji wody, który nie pozostaje bez wpływu na temperaturę wody wypływającej.

Aby rezultaty obserwacji takich ująć w sposób wyraźny i jasny, najlepiej jest oznaczać odległość, o jaką w głąb Ziemi wstąpić trzeba, aby temperatura wzrosła o jeden stopień Celsjusa. Odległość tę nazwano stopniem albo lepiej gradientem geotermicznym. Na nieszczęście jednak, dane otrzymane w rozmaitych miejscach okazują tak znaczne między sobą odstępstwa, że niepodobna wydobyć z nich pewnej liczby oznaczonej, któraby mogła dać choćby przybliżone pojęcie o ogólnem wzmaganiu się temperatury głębszych warstw Ziemi; zadowolić się musimy tedy tylko przytoczeniem niektórych z osiągniętych rezultatów.

Z dawniejszych nieco prac zalecają się dokładnością badania Reicha w kopalniach saskich; z wielu szczegółowych oznaczeń, które się silnie między sobą różnią, wypływa, że średnia wartość stopnia geotermicznego wynosi tam około 40 metrów, aby zatem dostrzedz podwyżkę 1°C, trzeba tam schodzić o 40 metrów.

W kopalniach znów pruskich stopień geotermiczny wynosi średnio 54,25 m., ale waha się w rozległych bardzo granicach, bo między 15,5 a 115,5 m. W kopalniach angielskich i amerykańskich stopień taki wynosi 53 m., przy chwiejności od 19 do 86 m. Według nowszych badań w Wielkiej Brytanii, dokonywanych staraniem przyrodniczego „Stowarzyszenia brytańskiego“, w kilku kopalniach stopień ten wynosi 26,6 m., 34,1 m. i 42,1 metrów. Na Uralu wykazano 24,8, w studniach artezyjskich w Wiedniu, Rochelle i Epinay 25,4 m., 24,6 m. i 22,9 m. Ze starannych obserwa-

cyj w tunelach gór Cenis i Św. Gotarda na stopień geotermiczny wypada 35 m.

Tę też ostatnią liczbę podaje się zwykle jako średnią wartość stopnia geotermicznego, chociaż, jak widzimy, wielkiego znaczenia do niej przywiązać nie można i przyznać należy, że nie znamy zgoła prawa, według którego wzrost ciepła w Ziemi zachodzi. Tak znaczną zresztą różnicą, jaka się okazuje z różnych obserwacji, rzucać trzeba na karb rozmaitych wpływów lokalnych. Ujawnia się tu zapewne różna zdolność przewodnictwa ciepłikowego skał rozmaitych, co dostrzedz już można nawet w położeniu warstwy obojętnej. Tak na przykład, w kilku kopalniach w Kornwalii napotkano wśród lepiej przewodzących pokładów miedzi temperaturę wyższą, aniżeli w kopalniach cyny. Pewien wpływ przypada dalej i ciśnieniu, jakim ugniātane są badane pokłady; gdzie indziej na podwyższanie lub obniżanie temperatury kopalni oddziaływać może przepływająca w jej pobliżu cieplejsza lub zimniejsza woda. Lokalne wzmożenie się ciepła w innych znów kopalniach może być następstwem pewnych działań chemicznych, dokonywających się w sąsiedztwie w łonie Ziemi. W ogólności też obserwacje, prowadzone w kopalniach węgla, wykazały tam stopnie geotermiczne mniejsze, aniżeli w kopalniach metali. Tłómaczy się to tem, że w formacjach węglowych zachodzi częsta zmiana różnych skał — łupków, piaskowców i skał węglowych; wszystkie te pokłady posiadają przewodnictwo słabe, a przy przejściu z jednego środka do innego ciepło nowy jeszcze opór znajduje; ciepło zatem przenikające z wnętrza Ziemi będzie tu okazywało gęstsze stopniowanie, aniżeli w pokładach jednostajnych, lepiej je przewodzących.

Dla uzmysłowienia rozkładu ciepła wewnątrz Ziemi możnaby użyć metody podobnej do tej, jaką się posługuje klimatologia dla wskazania rozkładu ciepła na powierzchni Ziemi, przez kreślenie na kartach dobrze znanych linii izotermicznych, t. j. linii łączących miejsca, które posiadają jednakową temperaturę średnią. Tak samo możnaby wyobrazić sobie, że poprowadzono powierzchnio przez wszystkie punkty, które w głębi Ziemi jednakową wykazują temperaturę; powierzchnie takie jednakowego ciepła wewnątrz Ziemi nazwano izogeotermami albo chtonizotermami,—ale na nie-szczęście, jak to łatwo wniesć można z niedostatecznej znajomości naszej tych stosunków, posiadamy raczej nazwę tylko, aniżeli rzecz samą. Jakkolwiek jednak nie znamy choćby z niejaką dokładno-

ścią przebiegu owych powierzchni chtonizotermicznych, tyle przynajmniej powiedzieć o nich można, że biegną za załamaniami gruntu, czyli, innemi słowy, rozciągają się mniej więcej równolegle do powierzchni Ziemi, wraz z jej wygięciami podnoszą się i obniżają, lubo i pod tym względem uderzające zachodzą odstępstwa. Krzywe to powierzchnie jednakowej temperatury ziemi, okazują wogóle słabsze wygięcia, aniżeli profil ziemi, pod znacznemi mianowicie wyniosłościami podnoszą się stosunkowo słabo tylko. Dokładne badania Stappffa w tunelu Św. Gotarda wydały nawet rezultat niespodziany, że mianowicie właśnie pod najwyżej wzbijającymi się szczytami chtonizotermy nie wznoszą się tu w górę, ale owszem obniżają się nieco, czyli, innemi słowy, pod szczytami górskimi stopień geotermiczny posiada większą wartość: należy zagłębić się w ziemię dalej, aby dostrzedz wzrost temperatury o 1°; tak np. u północnego wejścia do tego tunelu stopień ten wynosi tylko 20,5 metra, a pod szczytem Cima Boita-Misura przenosi 62 metry.

Bardziej jeszcze uderzające rezultaty okazały się w tunelu Mont-Cenis, gdzie pod najwyżej sięgającymi zakrzywieniami powierzchni ziemi stopień geotermiczny dochodzi aż 300 metrów. W odległości mianowicie 5 000 m. od bramy południowej tunelu temperatura skały wynosi 27,5°, w odległości zaś 6 450 m. 29,5; pierwszy z tych punktów przypada w odległości 910 m., drugi w głębokości 1 609 m. pod powierzchnią ziemi,—jakkolwiek zatem zakrzywienie profilu Ziemi na tej odległości czyni blisko 700 m., temperatura różni się tylko o 2°. Objaw ten przypisać zapewne należy oziębiającemu wpływowi gór sięgających poza granicę śnieżną, a tem samem pokrytych wiecznymi lodami; aby dostrzedz podniesienie się temperatury podziemnej, trzeba tu zstępować znacznie niżej, aniżeli pod innemi miejscami powierzchni Ziemi, które w normalnych warunkach pozostają.

Z tego zapewne powodu temperatura tunelów nie jest tak wysoka, jakby to odpowiadało znacznej głębokości, w jakiej przypadają, w każdym jednak razie pod górami bardzo wysokimi panowałoby już ciepło stosunkowo dosyć wysokie; według oceny przybliżonej wniesć można, że w środkowej części tunelu projektowanego pod górą Montblanc temperatura byłaby nieco wyższa nad 50°. Jakkolwiek zaś biało mętnieje czyli zaczyna się ścinać dopiero przy 60°, a ludzie w spokoju znosić mogą bardzo wysokie gorąco, gdy przytem powietrze jest suche, to wszakże praca robotni-

ków w takim tunelu, gdzie nadto powietrze przejęte jest parą, byłaby już przy 40° zmuDNA i niebezpieczna. Względ ten nie pozwala dobrze tuszyć o projektach tunelów w Szwajcaryi zachodniej.

To tylko zaprzeczeniu ulegać nie może, że tuż pod samą powierzchnią Ziemi chtonizotermy okazują wykrzywienia słabsze, aniżeli jej profil, a stąd wnosić wolno, że w głębokościach znaczniejszych wpływ powierzchni Ziemi coraz staje się słabszy, a dalej jeszcze ku środkowi Ziemi rozkład wewnętrzny jej ciepła jest już prawidłowy i nie ulega zakłóceniu wpływów zewnętrznych. Tak daleko wszakże bezpośrednio dochodzenia nasze nie sięgają, bo, jak przytoczyliśmy już wyżej, największa głębokość, do jakiej człowiek wdrzeć się zdołał, wynosi około 2 000 m. zaledwie. Najgłębsze studnie artezyjskie (Grenelle pod Paryżem, St. Louis) nie dochodzą 600 metrów; co do kopalń, to za najbardziej pogłębione uważają się słynne kopalnie Kutnej Hory w Czechach, schodzące obecnie do 1 152 m. Nieco głębsze są otwory świdrowe; słynny otwór w Sperenberg w Marchii Brandeburskiej sięga do 1 272 m., głębszy jest otwór wywiercony pod Lieth w Holsztynie do 1 339 metrów, a najbardziej pogłębiony dotychczas otwór, który przeszedł już 2 000 m., znajduje się w Paruszowicach pod Rybnikiem na Szląsku górnym. Względem załamów górskich niżej jeszcze, jak widzieliśmy, przypadają tunele, ale tu też warunki zewnętrzne najsilniej wikłający swój wpływ ujawniają.

III.

O tem więc, co dalej wewnątrz naszej Ziemi się dzieje, możemy jedynie wnioskować na podstawie tego ubożego żniwa, które zdołano zebrać w cieniutkiej warstwie, badaniom naszym dostępnej. Skoro zaś tu wszędzie napotyamy stateczny wzrost temperatury, nie trudno się zgodzić, że i głębiej, przy dalszem posuwaniu się ku środkowi Ziemi, ciepło jej również się wzmacnia i dochodzi wreszcie do wysokości bardzo znacznej, dla której oceny wszakże brak nam jakichkolwiek wiarogodnych skazówek. Olbrzymi ten żar wnętrza Ziemi nie opiera się zresztą pojęciom, które skądinąd spekulacye naukowe rozpowszechniły i utrwały; kosmogonia bowiem dzisiejsza tworzenie się i rozwój Ziemi tłómaczy w podobny sposób, jak i wszelkich innych brył światowych, w przestrzeni

rozrzuconych, przez skupianie pierwotnej materii kosmicznej, która stanowiła może mgławicę podobną do utworów, jakie w dalekich stronach nieba i obecnie teleskop obficie nam wykazuje. Pod nazwą Laplace'owej teorii tworzenia się światów hipoteza ta znana jest wszystkim, a nowsze postępy nauki i wzmózone środki badań, chociaż uamnożyły nieco trudności, jakie są jeszcze do pokonania, w ogólności wszakże przyczyniły się raczej do jej poparcia, aniżeli jej ujmę istotną przyniosły.

Ciepło, wytworzone wskutek zagęszczania się mgławicy, z której się nasz układ słoneczny wyłonił, dotąd obficie nagromadzone jest w Słońcu; podobnemże, lubo drobnem słońcem płomiennem była i Ziemia nasza, ale z powodu nieznacznych swoich wymiarów zastygła i dawno już na powierzchni zakrzepła, gdy tyśiąckrotnie z górą od niej większy Jowisz, jak się zdaje z pewnych dostrzeganych na nim objawów, przedstawia jeszcze ślady pierwotnego swego żaru, a olbrzymie Słońce przez pierwsze dopiero fazy tego procesu stygnięcia przechodzi. Twarda skorupa, utworzona z materiałów słabo tylko przewodzących ciepło, która Ziemię ze wszech stron ujęła, chroni od dalszego ziębnięcia wewnętrzne jej masy; żar zatem, który się dotąd w głębi Ziemi kryje, a o którym nam opowiada wzmaganie się temperatury w kopalniach, jest ochronioną pozostałością tego ciepła pierwotnego, związanego z dziejami samegoż tworzenia się Ziemi naszej, zarówno jak i innych ciał niebieskich. Jednem słowem tedy, olbrzymie ciepło wnętrza Ziemi razić nie będzie stronników kosmogonii Laplace'a, przynosi im owszem poparcie poważne.

Pomimo to nie brakło nigdy i przeciwników ciepła wewnętrznego, którzy wprost zaprzeczali temu statecznemu wzrostowi temperatury w warstwach dalszych, bezpośrednim naszym obserwacyom niedostępnych. Najsilniejszy argument, jaki na poparcie swego zaprzeczenia podają, polega na pewnem dostrzeżeniu, o którym nie wspominaliśmy wyżej. Okazało się mianowicie, że stopień geotermiczny, czyli powtarzamy, odległość, o jaką zejść należy, aby dostrzedz podniesienie się temperatury ziemi o 1° C, w różnych głębokościach bardzo jest różny, a w ogólności w głębokościach coraz znaczniejszych coraz się większym staje. Okazują to zwłaszcza obserwacye przeprowadzone w przytoczonym już wyżej otworze świdrowym w Sperenberg:

SZKICE PRZYRODNICZE.

Głębokość w metrach	Temperatura dostrzeżona	Stopień geotermiczny
26,7 . . .	9° C. . . .	} 20,2 m.
313,9 . . .	23,2° . . .	
627,7 . . .	33° . . .	} 32 "
941,6 . . .	43° . . .	
1268,6 . . .	48° . . .	} 31,4 "

Poznano to i w niektórych innych zagłębieniach, a lubo pewne nieprawidłowości i zboczenia usprawiedliwiają poniekąd sceptycyzm, w ogólności jednak fakt ten jest niewątpliwy. Otóż, wydawać się mogło, że okoliczność ta pozostaje w sprzeczności z pojęciem o rozpaleniu wnętrza Ziemi, w miarę bowiem zbliżania się do ogniska centralnego wzrost temperatury winienby się dokonywać coraz szybciej, stopnie geotermiczne winnyby coraz bardziej maleć, nie zaś wzrastać. Nie tedy dziwnego, że przeciwnicy ogniowego początku Ziemi, zwolennicy dawnego neptunizmu geologicznego, pochwycili ten szczegół, któryby mógł zwycięstwo na ich stronę przechylić. Ciągłe to powiększanie się stopnia geotermicznego przybrali nawet w formułę algebraiczną i wydobyli stąd wniosek, że w pewnej, niezbyt zresztą znacznej odległości dalsze wzmaganie się temperatury wewnątrz Ziemi zakończyć się musi, że nawet dalej jeszcze nastąpić winien zwrot, a temperatura statecznie już ku środkowi Ziemi spadać będzie. Ciepło zatem, które termometry zdradzają w kopalniach naszych, miałyby być jedynie objawem warstw wierzchnich naszej bryły ziemskiej; aby zaś wytłómaczyć zagadkowe jego pochodzenie, odwoływano się do ciśnień i powodowanego przez nie tarcia, a więcej jeszcze do działań chemicznych, wywiązujących się w sąsiedztwie powierzchni Ziemi pod wpływem przedzierających się tam części składowych atmosfery.

Niedostateczność jednak takiego tłómaczenia źródła owego ciepła podziemnego łatwo było wykazać; mogą wprawdzie zachodzić, jakieś zresztą wyżej już nadmienili, objawy lokalne, wikłające normalny przebieg zjawiska, ale to nie wystarcza do wyjaśnienia powszechnego i statecznego wszędzie wzrostu temperatury warstw głębszych. Język matematyczny wymowny jest wprawdzie i pewny, ale do rezultatów rzetelnych o tyle tylko prowadzi, o ile z dokładnych podstaw wychodzi; nie dosyć zaś znamy prawo przyrostu temperatury podziemnej, by je w rzetelną formułę algebraiczną ująć się dało, a tem samem wnioski o dalszym przewro-

II. ZAGADKA WNEŹRZA ZIEMI.

cie i obniżaniu się temperatury od pewnego punktu są zbyt wątpliwe, by zburzyć mogły pojęcie o olbrzymiem ciepłe wnętrza Ziemi.

Postarano się nawet doświadczalnie odtworzyć proces stygnięcia Ziemi. Znakomity geolog *Bischoff* odlewał kule ze stopionego bazaltu, mające 0,75 metra średnicy, a po upływie 48 godzin od chwili odlewu oznaczał rozkład temperatury w rozmaitych punktach wnętrza tych brył, skąd okazały się rezultaty następujące:

1.	w środku temperatura	193°
2.	w odległości 0,114 metra od środka	170°
3.	" 0,185 " " "	156°
4.	" 0,247 " " "	137°

Widzimy stąd, że różnica między punktami 1 i 2 na odległości 0,114 m wynosi 23°, co czyni 0,0052 na 1° C; różnica między 2 i 3 wynosi 14° na 0,071 m, czyli 0,0051 na 1°, wreszcie między 3 i 4 wynosi 19° na 0,062 m, czyli 0,0032 na 1°. Odległość przeto, o jaką od powierzchni kuli ku jej środkowi posuwać się trzeba, aby dostrzedz przyrost temperatury o 1° C., co odpowiada właśnie geotermicznemu stopniowi ziemi, wzrasta ku środkowi kuli, a mianowicie w stosunku liczb 32:51:52.

Nie dosyć na tem. *William Thomson*, jeden z tych mężów, którym *Anglia* przodownicze swe dzisiaj stanowisko w nauce zawdzięcza, stopniowe stygnięcie Ziemi wziął pod rozważę z punktu teoretycznego; przyjąwszy mianowicie pewien stan pierwotny rozpalonej bryły ziemskiej, wyprowadził, jakim być musi rozkład w jej wnętrzu ciepła po upływie stu milionów lat od owej chwili początkowej; w założeniu tem, które odpowiada mniej więcej prawdopodobnym warunkom rozwoju Ziemi, okazało się również dobitnie, że w bryle takiej tylekroć wspomniany stopień geotermiczny również ku środkowi wzrastać będzie. Ostatecznie zatem w dzisiejszym stanie wiadomości naszych nie mamy usprawiedliwionego powodu do powątpiewania o olbrzymiem ciepłe wnętrza Ziemi.

Zresztą pogląd taki jest już bardzo dawny, bo chociaż filozofowie greccy niewiele o wewnętrznej budowie Ziemi spekulowali, napotykamy jednak wzmianki o ogniu centralnym, a kościelnie znów pisarze średniowieczni w głębi Ziemi także mieścili płonienie piekielne.

W kierunku jednak naukowym, w wieku ośmnastym dopie-

ro zaczął się ustalać pogląd, że tylko najbardziej zewnętrzne warstwy naszej planety zastygły, a pod tą cienką, zaskrzepłą skorupą cała pozostała masa znajduje się dotąd w stanie ognisto-płynnym.

IV.

Pojęcie to o ognisto-płynnym wnętrzu Ziemi dotąd najbardziej jest rozpowszechnione; skoro bowiem zgadzamy się na tak wysoką temperaturę, to na podstawie najzwyczajszych doświadczeń przyjąć nam dalej wypada, że w żarze tym najtrudniej nawet topliwe metale muszą już stopnieniu ulegać. Wnioskowanie takie wszakże zbyt jest pospieszne, gdyż zapominamy o odrębnych warunkach, w jakich ciała te daleko we wnętrzu Ziemi się znajdują, mówimy tu mianowicie o olbrzymim ciśnieniu, jakie je tam ugniat. W sprawie topienia się ciał ciśnienie stanowi czynnik tak silnie wikłający, że dotąd dostatecznie rozgmatwać tego nie zdołano.

Gdy ciało stałe ogrzewamy, cząstki jego rozsuwają się, a objętość wzrasta, — ciepło walczy ze spójnością, a gdy ją doszczętnie prawie pokona, cząstki zyskują swobodę, charakteryzującą stan ciekły. Przebieg taki pozwala wnosić, że przy przejściu ciała ze stanu stałego do ciekłego objętość jego ulega powiększeniu i najczęściej może tak właśnie rzeczy się mają. Nie zawsze jednak, a najlepszy przykład takiego wyjątkowego zachowania się przedstawia nam lód, w postaci kry po wodzie płynący. Skoro się na jej powierzchni unosi, znaczy to, że jest od niej lżejszy, że zatem woda przy marznieniu objętość swoją powiększa, a lód topniejący ściąga się, kurczy. Woda marznąca rozrywa nie tylko tkaniki roślin, ale i naczynia żelazne, w których jest zamknięta.

Sądono niezbyt jeszcze dawno, że lód jedynie w tak wyjątkowy zachowuje się sposób; poznano jednak, że i kawały żelaza pływają po stopionej masie tegoż metalu, a zapewne i lawa podobną posiada własność. W kwestyi tej, która wymaga wielu jeszcze dokładniejszych badań, dziś przeto tyle tylko powiedzieć możemy, że pod względem objawów swego topienia się ciała dają się podzielić na dwie grupy: jedne, przechodząc w stan ciekły, rozszerzają się, inne wtedy objętość swą zmniejszają.

Otóż na ciała jednej i drugiej kategorii znaczne ciśnienie działać musi w sposób wręcz przeciwny. Ciało, które się przy topieniu rozszerza, gdy jest silnie uciśnięte, przechodząc w stan ciekły, walczyć musi z przeszkodami znaczniejszemi; ciepła potrzebu-

II. ZAGADKA WNIĘTRZA ZIEMI.

je nietylko do zniszczenia swej spójności, ale i do wykonania pracy zewnętrznej, do usunięcia przeszkód, tamujących mu możność większego rozprzestrzeniania się; dla tych przeto ciał ciśnienie powstrzymuje, opóźnia topnienie, punkt ich topliwości podnosi się, topią się dopiero w temperaturze wyższej, aniżeli w warunkach normalnych. Zupełnie inaczej dzieje się z ciałami zachowującymi się na podobieństwo lodu, — tu ciśnienie, sprowadzając ciało do mniejszej objętości, wspiera niejako przechodzenie w stan ciekły, punkt topliwości się obniża, ciało topi się już w temperaturze niższej aniżeli w okolicznościach zwykłych.

Jak powiedzieliśmy, bardzo niedostatecznie znamy dotąd zachowanie się pod tym względem różnych ciał, a pomimo całej potęgi środków pomocniczych, jakimi obecnie nauka doświadczalna rozporządza, niepodobna się zbliżyć do ogromu warunków, które w przyrodzie zachodzą. Czyż wiedzieć możemy, co się dzieje z ciałami, gdy ich temperatura wynosi dziesiątki tysięcy stopni, ale zarazem poddane są olbrzymiemu ciśnieniu ugniatających je warstw wierzchnich? W każdym razie, polegając na wysokiej temperaturze wnętrza Ziemi, nie mamy jeszcze stanowczej zasady do twierdzenia, że musi być utworzone z materiałów płynnych, — owszem, nie brak wskazówek, które za stałym jego stanem przemawiają.

Sto lat niezadługo upłynie od chwili, gdy Cavendish, „najbogatszy z uczonych i najuczeńszy z bogatych“, pierwszy planetę naszą zważył, albo, co na jedno wychodzi, średnią jej gęstość oznaczył; kwestya ta odtąd zwracała zawsze uwagę badaczy, którzy bądź posługiwali się wytworną metodą Cavendisha, bądź też obmyślali metody inne, stanowiące nawzajem pożądaną dla siebie kontrolę, a w ten sposób tak napozór niedostępne zadanie z zupełną nieledwie ścisłością rozwiązane zostało. Jakkolwiek rzecz ta w bezpośrednim jest związku z kwestyą tu roztrząsaną, opis tych metod i ich historia zajęłyby zbyt wiele miejsca, byśmy je tu rozwijać mogli¹⁾; poprzestać musimy jedynie na nadmienieniu, że różnemi drogami oznaczona gęstość średnia ziemi wynosi 5,6, co w języku zwykłym znaczy, że ziemia jest 5,6 razy cięższa od równie wielkiej bryły, utworzonej z wody.

Liczba ta, chociaż sama przez się nie wydaje się zbyt wielkiej wagi, prowadzi jednak bezpośrednio do ważnego wniosku co

¹⁾ Ob. wyżej przytoczone książki: „O postaci i ciężarze Ziemi“ oraz „Ziemia i niebo“.

do materiałów składających wewnątrz Ziemi. Rzeczywiście, o ile znamy powierzchnię Ziemi i tuż pod nią mieszczące się pokłady, widzimy, że, pominawszy już wodę oceanów zajmujących $\frac{3}{5}$ części powierzchni całego globu, resztę stanowią piaski, gliny, wapienie, wogóle materiały, których gęstość średnia względem wody nie przechodzi $2\frac{1}{2}$; skoro zaś gęstość średnia całej bryły ziemskiej przenosi 5, wynika stąd wniosek oczywisty, że we wnętrzu jej nagromadzone być muszą materiały cięższe, metaliczne prawdopodobnie. Wrócimy niżej jeszcze do kwestyi rozkładu gęstości wewnątrz Ziemi, a teraz zaznaczamy tylko, że właśnie to przeświadczenie o stopniowym wzroście gęstości ku środkowi Ziemi rzuciło domysł, iż jądro jej stałe i sztywne być musi. W bryle ciekłej, jako w ciele złożonem z cząstek swobodnie ruchliwych, ciśnienia zupełnie inaczej rozkładać się muszą, aniżeli w bryle zakrzepłej, stałej, gdzie mniejsza swoboda cząstek osłabia wzajemne ich ciśnienie. W walcu z cieczy utworzonym ciśnienie wzrasta coraz ku dołowi i łatwo być może obliczone; warstwa stała mogłaby się utrzymywać w sposób taki, jak kopała, nie ugniatając pokładów niższych. Przypuszczając zupełną płynność wewnątrz Ziemi, obliczyć można, że ciśnienie, jakiemu w tym razie poddane byłyby warstwy centralne, przechodziłoby półtrzecia miliona atmosfer,—sam ogrom tej liczby stanowić już może poniekąd szkopuł dla hipotezy, która do niej prowadzi; w bryle stałej natomiast warstwy mogą się równoważyć, nie wspierając wszystkiej swej masy na warstwach głębszych, skąd ciśnienie w środku ulega zmniejszeniu.

V.

Pierwszy wszakże istotny argument na korzyść stałej przeważnie masy Ziemi przedstawił geolog angielski Hopkins w roku 1840, odwołując się do dawno znanego astronomom zjawiska poprzedzania punktów równonocnych czyli precesyi. Punkty równonocne są to te punkty na niebie, w których równik niebieski przecina się z ekliptyką, czyli z drogą, po której Słońce w pozornym swym rocznym biegu sunie; w punktach tych znajduje się Słońce w początku wiosny i w początku jesieni. Już na 200 lat przed Chr. poznał Hipparch, — a daje to dowód wysokiego stanu Astronomii starożytnej, że punkty równonocne nie zajmują na niebie niewzruszonego stanowiska, ale posuwają się naprzeciw Słońca o pewną drogę, bardzo zresztą drobną, wynoszącą bowiem

II. ZAGADKA WNĘTRZA ZIEMI.

w ciągu roku niespełna jedną minutę miary łukowej, 50,24", wskutek czego każda wiosna następna rozpoczyna się o 20 minut wcześniej, zanim Słońce wraca do tegoż samego na niebie miejsca, jakie zajmowało w początku wiosny poprzedzającej; czyli, używając określeń pospolitych, rok zwrotnikowy jest krótszy od roku gwiazdowego. Jakkolwiek jednak szczegół ten od dawnych znany jest czasów, wytłómaczyć można go było dopiero, gdy pozorny ruch Słońca ustąpił miejsca ruchowi Ziemi i gdy w ciężeniu powszechnem Newton wykazał przyczynę wszystkich ruchów niebieskich. Według nauki Newtona tedy, gdy Ziemia była doskonałą i jednostajnie uwarstwowaną kulą, zjawisko podobne zgołoby nie występowało, wywołuje je zaś przyciąganie Słońca i Księżyca, wywierane na równikowe wypuklenie Ziemi, stanowiące jakoby otaczający ją pas, co ostatecznie powoduje osobliwy ruch osi ziemskiej, wskutek którego wykonywa ona bieg, przypominający stożkowe kołysanie się wirującego bąka. Ruch ten jest zresztą bardzo powolny, bo pełny swój bieg kończy oś ziemską ledwie w 26 000 lat, zdradza się to zaś pozornym ruchem bieguna niebieskiego, a tem samem i przesuwaniem punktów równonocnych.

Otóż do tego zjawiska poprzedzania punktów równonocnych odwołał się Hopkins, by wykazać, że Ziemia w przeważnej przynajmniej części stałą być musi. Dowiódł on mianowicie, że gdyby Ziemia utworzona była z masy ciekłej, cienką tylko skorupą otoczonej, precesya występowałaby inaczej, aniżeli to rzeczywiście ma miejsce, i wniósł na podstawie swoich rachunków, że zeszywniała skorupa Ziemi sięgać winna co najmniej do $\frac{1}{4}$ lub $\frac{1}{5}$ części jej promienia. Zaprzeczono jednak słuszności wywodów Hopkinsa, polegających zresztą na nieprawdopodobnem przypuszczeniu, że między twardą powłoką a płynnem wnętrzem zachodzi nagły przeskok, gdy raczej przyjmowałoby należało, że przejście jest tu pośrednie, przez pewien stan półpłynny, lepki, ciastowaty; w tym ostatnim zaś razie cała sferoida zachowywałaby się jak jedna całość, gdy Hopkins przypuszczał zupełnie swobodną ruchliwość ciekłego wnętrza wzdłuż stałej skorupy.

Poznano wreszcie, że precesya sferoidy ciekłej nie różniłaby się wcale od precesyi podobnejże sferoidy stałej, że zatem całe to zjawisko do rozstrzygnięcia spornej kwestyi, która nas teraz zajmuje, nadawać się nie może; natomiast inny matematyk, G. H. Darwin, okazał, że do tego rozstrzygnięcia posłużyć mogą objawy nutacyi. Nutacya zaś polega również na pewnem kołysaniu

osi ziemskiej, które występuje jako pewna nierówność w przebiegu precesyi i posiada okres 18½-letni; jest ona wynikiem przyciągającego wpływu Księżyca na spłaszczoną Ziemię i sprawia, że osi ziemska nie opisuje w ciągu wieków prawidłowego stożka, jakby się to działo jedynie pod wpływem samej precesyi, ale powierzchnię nieco pofalowaną. G. H. Darwin jest także stronnikiem poglądu o zeszywnieniu przeważnej części Ziemi, w ogólności jednak mozolnych dochodzeń na tej drodze za ukończone uważać nie można; niedawno matematyk belgijski Folie w pewnych, drobnych zresztą szczegółach precesyi i nutacyi dostrzegł dowód istnienia jądra płynnego pod stałą skorupą Ziemi.

VI.

Astronomia, która tak doskonale pod obserwację i rachunek pociągać może choćby najdrobniejsze ruchy i zboczenia, na szalę obchodzącej nas sprawy i inne jeszcze kryteria rzuca, a mianowicie spłaszczenie Ziemi oraz przyływ i odpływ morza, chociaż i oba te względy do stanowczego rozwiązania również doprowadzić dotąd nie zdołały.

Wspomnieliśmy już wyżej, że pierwszy domysł spłaszczenia Ziemi rzucił Newton, skoro dobiegła go wieść przyniesiona przez żeglarzy, że zegary przewożone na okrętach spóźniają się w okolicach równikowych. Znaczy to, innymi słowy, że wahadła, które bieg zegarów regulują, w tamtych stronach wykonywają kołysania swe wolniej, skąd wynika bezpośrednio, że siła ciężkości działa tam słabiej, aniżeli na biegunach. Ponieważ zaś siedliskiem niejako siły ciężkości Ziemi jest jej środek, wniesić wolno, że ku temu punktowi jest od biegunów bliżej, aniżeli od równika. Ale i przyczyna tego odstępstwa od prawidłowej formy kulistej nie pozostała ukryta. Jak kula gliniana, obracająca się na kółku garncarskiem, wskutek działania wzbudzającej się przytem siły odśrodkowej doznaje spłaszczenia, tak też temuż samemu losowi uleż musiała Ziemia, również dokoła swej osi wirująca. Natężenie zaś siły odśrodkowej zależy bezpośrednio od szybkości ruchu wirowego, znana przeto prędkość obrotu dziennego Ziemi daje możność teoretycznego obliczania jej spłaszczenia. Zanim więc jeszcze wysłańcy Akademii paryskiej pobiegli do Peru i Laponii, by z pomiarów przeprowadzonych w tak odległych między sobą stronach spłaszczenie to wydobyć, Newton na zasadzie powyższych rozumo-

wań i rachunków obliczył, że wynosi ono $\frac{1}{232}$. Inny znakomity matematyk i fizyk ówczesny, Huygens, dzielając pogład Newtona, przeprowadził również podobne obliczenia, otrzymał wszakże liczbę bardzo od powyższej odmienną, $\frac{1}{580}$. Różnica ta stąd pochodzi, że Newton przyjmował Ziemię jako bryłę jednorodną, Huygens zaś wyobrażał sobie masę Ziemi skupioną głównie koło środka, czyli gęstość jej na powierzchni niesłychanie drobną w porównaniu z gęstością w środku.

Widzimy stąd, że teoretycznie obliczane spłaszczenie Ziemi prowadzi do wyników różnych, stosownie do tego, jak pojmujemy wewnętrzną jej budowę, rozkład gęstości w jej łonie. Obie powyższe liczby odstępują znacznie od istotnego spłaszczenia Ziemi, które, jakeśmy wyżej przytoczyli, z dostateczną znane jest pewnością; odwołać się przeto należy do innego rozkładu gęstości Ziemi.

Rzecz jasna, że cząstki ciał uciskanych skupiają się, a gęstość ich wzrasta w miarę, jak powiększa się wywierane na nie ciśnienie. W jakim jednak stosunku ściśliwość ta zachodzi, jaka istnieje zależność między gęstością ciał a ciśnieniem, wiemy to jedynie co do gazów, które pod ciśnieniem 2, 3, 4 razy większym posiadają też i gęstość 2, 3, 4 razy znaczniejszą, co znaczy, że gęstość jest do ciśnienia proporcjonalna. Dla ciał stałych i ciekłych, których budowa wewnętrzna jest zawilsza, zależność powyższa nie łatwo da się uchwycić i poprzestawać musimy jedynie na domysłach, na przypuszczeniach. Gazy ulegają w jednakowy zawsze sposób ciśnieniu, ciała zaś ciekłe i stałe opierają się mu tem silniej, im więcej już są ściśnięte; dla tego też Laplace, idąc śladem wielkich swoich poprzedników, Daniela Bernoulliego, Legendre'a, Biot'a, przyjął w swych rachunkach, że przyrost ściśliwości płynu jest proporcjonalny do kwadratu z gęstości, wywołanego tem ciśnieniem. Hypoteza ta dotąd najczęściej służy za podstawę przy rozpatrywaniu gęstości warstw, składających bryłę ziemską. Nie zamyka jednak drogi matematykom do innych przypuszczeń, któreby mogły prowadzić do najzupełniejszej zgody między teoretycznie obliczonem a rzeczywiście poznanem spłaszczeniem Ziemi.

Zmarły w. r. 1883 profesor w Montpellier, Edward Roche, który bardzo starannie przeprowadził ten szereg badań w ostatnich czasach, przyjmuje inny rozkład gęstości wewnątrz Ziemi, —

według poglądu tego uczonego gęstość maleje w stosunku kwadratów odległości od środka. Rachunki, na tej zasadzie przeprowadzone, uczyniły go stanowczym „rygidystą“, t. j. stronnikiem stałego wnętrza Ziemi, wykazały mu bowiem, że hipoteza bryły płynnej pod niezbyt grubą, stwardniałą skorupą nie może się pogodzić z istotną wielkością spłaszczenia naszej planety, znaną nam z dochodzeń bezpośrednich; jakkolwiek więc przyjmuje, że była ona niegdyś w stanie płynnym, to wszakże względy astronomiczne skłaniają go do uznania, że obecnie stanowi już masę zaskrzepłą.

Hypotezę tę poddaje tedy Roche dalszemu rozpatrywaniu matematycznemu, przyjmując przytem, dla udogodnienia i umożliwienia swych rachunków, że w przeważnej swej części stanowi Ziemia bryłę jednorodną. Hypoteza taka może się wydawać zbyt krańcową, zwłaszcza, odkąd badania chemiczne ciał niebieskich nauczyły, że w skład ich wchodzi pierwiastki rozmaite; Roche wszakże uważa za rzecz prawdopodobną, że rozmaite okolice pierwotnej mgławicy, z której się układ słoneczny wyłonił, przedstawiać mogły pewne odrębne, właściwe sobie cechy, a zatem w każdej planecie materyały pewne mogą znacznie nad innymi przeważać. Według tego i Ziemia byłaby utworzona z jednej, naczelnej niejako substancji, któraby właśnie stanowiła owo przypuszczalne jądro jednorodne, a rachunki, lubo nam jej natury odsłonić nie mogą, pozwalają przynajmniej gęstość jej ocenić.

Bryła ta jednorodna otoczona jest powłoką, utworzoną z materyałów lżejszych, które się wydzieliły przy tworzeniu się Ziemi, podobnie jak substancje cięższe zająć musiały miejsce koło samego środka Ziemi. Natura warstwy zewnętrznej nie jest dla nas zupełnie zagadkowa; jak wspomnieliśmy wyżej, gęstość jej względem wody ocenia się zwykle na $2\frac{1}{2}$, najbardziej jednak skrajna, cienka i zupełnie wierzchnia powłoka, utworzona z materyałów dobrze znanych, ma gęstość z pewnością nie większą nad 2, pokłady zatem dalsze posiadać muszą gęstość nieco wyższą, około 3; można więc przyjąć, że są utworzone głównie z law i bazaltów, którym właśnie gęstość taka przypada.

Znajomość taka gęstości warstw zewnętrznych Ziemi pomnaża liczbę czynników wiadomych, z których wysnuwa Roche gęstość swej hypotetycznej, jednorodnej bryły wewnętrznej; inne dane do obliczeń tych nastęrcza spłaszczenie Ziemi w każdym razie większe od $\frac{1}{259}$, oraz wielkość precesji punktów równonocnych.

II. ZAGADKA WNEŹRZA ZIEMI.

Z rachunków tych wypływa tedy, że bryła rzeczona posiada względem wody gęstość 7,6, a stanowi kulę zajmującą 0,82 całego promienia ziemskiego. Stąd znów wynika dalej, że warstwa zewnętrzna, której gęstość oceniono na 3, posiada grubość $\frac{1}{6}$ części promienia ziemskiego. Pomimo tej stosunkowej cienkości, z powodu większej rozległości zewnętrznych warstw kuli, objętość ich czyni $\frac{4}{9}$, tj. prawie połowę całego globu ziemskiego i zawiera czwartą część wszystkiej jej masy. Na bryłę wewnętrzną, która zajmuje połowę objętości Ziemi, przypada tedy $\frac{3}{4}$ jej masy; gęstość zaś jej, wynosząca nieco więcej nad 7, każe się domyślać, że składa się ona z materiału metalicznego, a w szczególności z żelaza, którego gęstość najbliższej liczby tej przypada. Wniosek ten ostatni razić nas nie może, gdy zwazymy, że żelazo stanowi pierwiastek obficie występujący we wszystkich ciałach niebieskich; zresztą i magnetyczne własności Ziemi są może ze składem tym w związku, żelazo bowiem, jak wiadomo, stanowi najsilniej magnetyczną substancję.

Około samego środka Ziemi, jak widzieliśmy, nagromadzone są według hipotezy Roche'a materiały najcięższe; rachunki jednak wskazują, że zajęty przez nie obszar zgoła jest nieznaczny, a o gęstości ich także niewiele powiedzieć on umie; przypuszcza wszakże, że prawdopodobnie wynosi ona 10 lub 12, co stanowi wielkość pośrednią między gęstością srebra i ołowiu.

Ażeby wreszcie uzupełnić obraz wewnętrznej budowy naszej planety, tak odcyfrowany czyli raczej skreślony przez Roche'a, dodać należy, że nie upiera się on przy absolutnej stałości zewnętrznej powłoki bazaltowej; sądzi owszem, że począwszy od pewnej głębokości może się utrzymywać w stanie ciekłym, czem tłómaczyłyby się dały niektóre objawy geologiczne. Pozostaje wszakże znów niewiadomem, czy masa ta ciekła stanowi jakby warstwę oddzielającą powłokę skrajną od bryły środkowej, czy też nagromadzona jest tylko w zbiorowiskach, w jeziorach, po okolicy tej śródziemnej rozrzuconych. Wewnętrzna ciężka bryła metaliczna zbliża się składem swoim do aerolitów żelazistych, powłoka zewnętrzna odpowiada meteorytom zwykłym, kamienistym.

Hipoteza matematyczna Roche'a przedstawia pewną analogię do poglądów, jakie wyznaje znaczna liczba geologów dzisiejszych; zanim się im jednak przyjrzymy, należy nam załatwić się z jednym jeszcze argumentem porządku astronomicznego.

VII.

Argument ten stanowi zjawisko przyływu i odpływu morza. Wiadomo dziś dobrze, że przyczyną tego ruchu wód morskich jest przyciąganie Słońca i Księżyca, któremu ulega łatwo ruchliwa masa wody. Jeżeli jednak i stała skorupa bryły ziemskiej również podobnemu ulega wpływowi, jeżeli i ona okazuje pewien przyływ i odpływ, to ruchy oceanów są słabsze, aniżeli by to miało miejsce, gdyby Ziemia względnie sztywną była, dostrzegamy bowiem wtedy nie całkowity ruch wody, ale tylko różnicę między tym ruchem a ruchem lądów. Jeżeli mianowicie wewnątrz Ziemi jest ciekłe, jeżeli pod niezbyt grubą, stałą powłoką rozlewa się masa ognisto-płynna, to przyływy jej wywierałyby na skorupę nacisk potężny, wystarczający do jej przełamania i przedzierania, i już dawniejsi fizycy, jak Ampère i Poisson, dla ominięcia tej trdności przyjmowali, że bryła ziemską krzepnąc zaczęła od środka, że zatem musi już być w całej swej masie stała.

Dokładniej okoliczność tę wziął pod rozwagę matematyczną William Thomson; obliczył on w szczególności, że niezbyt gruba skorupa ziemska, choćby posiadała zbitość stali, ulegałaby jeszcze ruchom, o których mowa, a wysokość przyływu wynosiłaby ledwie $\frac{2}{3}$ zmian, jakie rzeczywiście w poziomie wód dostrzegamy; naciskowi mas płynnych mogłaby się ledwie oprzeć skorupa zeszywniała, o grubości co najmniej 200 lub 300 mil geograficznych, wynosząca zatem trzecią, mniej więcej, część całego promienia ziemskiego. Thomson nie poprzestaje jednak na tem i przyjmuje, że wszystka masa Ziemi jest już zakrzepła, że stanowi nawet bryłę bardziej zeszywniałą, bardziej zbitą aniżeli szkło, tak oporną prawie jak masa stalowa; a chociaż już w niezbyt znacznej głębokości masy podziemne rozpalone są do białości, to pozostają jednak stałe, ciężące bowiem na nich olbrzymie ciśnienie podwyższa tak dalece temperaturę ich topliwości, że żar ten do stopienia ich nie wystarcza.

Ze zdaniem Thomsona nauka dzisiejsza liczyć się przywykła, ale na nieszczęście, na wysokość przyływu wód morskich działają okoliczności uboczne, które utrudniają dokładne zestawienie wywodów teoretycznych z istotnymi dostrzeżeniami; wywiera tu wpływ najpierw niejednostajny na powierzchni Ziemi rozkład lądów i mórz, a dalej spadek deszczów, tajanie lodów, nacisk wiatrów, dla tego też i Thomson sam oczekuje rozstrzy-

gnięcia w dosyć odległej dopiero przyszłości. Oprócz jednak przyływów zwykłych, które, zgodnie z dziennym obrotem Ziemi, dwukrotnie w ciągu doby po sobie następują, obieg Księżyca naokoło Ziemi powoduje również pewne przyływy i odpływy, a raczej pewne nieregularności przyływów zwykłych, które się ujawniają dwukrotną w ciągu miesiąca peryodycznością. Tak samo wreszcie i zmiana położenia Ziemi względem Słońca w ciągu roku wywołuje znów inną, półroczną okresowość przyływów i odpływów. Oba te rodzaje przyływów, już z powodu dłuższego czasu, potrzebnego do ich wytworzenia, słabiej daleko wklajającym tym zakłóceniom ulegać muszą, do nich przeto przedewszystkiem odwołać się trzeba w spornej kwestyi co do stałości lub płynności wnętrza Ziemi. W ostatnich latach prowadzono staranne badania wysokości przyływów w rozmaitych portach, ale jak twierdzi Zöppritz, który wszystkie stąd otrzymane dane starannie zebrał, nigdzie nie zdołano dostrzedz owych półmiesięcznych lub półrocznych przyływów. Skoro zaś rozważania teoretyczne konieczność takich przyływów dowodnie wykazują, brak ich, jak sądzi Zöppritz, tem się tylko da wytłómaczyć, że i podłoże, na którym się wody oceanu rozlewają, dno tedy morskie wraz z wodą podobnym przyływom ulega, a zatem dalej Ziemia nie jest dosyć zesztynniała, by oprzeć się mogła przyciągającym wpływom Księżyca i Słońca.

Zöppritz wnioskuje tedy, że zebrane przez niego szczegóły przywracają znów siłę dawnym poglądom o płynności wnętrza Ziemi. Za stanowcze wszakże wywodów jego również uważać nie można, opierają się bowiem temu badania G. H. Darwina, który dowiódł, że choćby cała Ziemia posiadała płynność stopionej lawy, a była otoczona skorupą grubości około 100 kilometrów, ulegałaby przyływom równie silnym, jak i wody oceanów. Na powierzchni takiej przeto bryły i dobowe, dzienne przyływy zgołaby uczuć się nie dawały. Skoro zaś przyływy takie niewątpliwie istnieją, to chociaż przyływy półmiesięczne i miesięczne dostrzedz się nie dają, Ziemię—mówi G. H. Darwin—za bryłę stałą uważać należy.

Tak więc i ten trzeci wzgląd astronomiczny do rozstrzygnięcia spornej kwestyi dotąd doprowadzić nie zdołał, jakkolwiek z rozważań powyższych wynika, że powody astronomiczno-matematyczne za skrzepnięciem przeważnej części Ziemi przemawiają, a wielu wybitnych fizyków społecznych pogładowi temu hołduje.

VIII.

Z zakresu tych prac wspomnieć nam tu jeszcze wypada o rozprawie d-ra Ludwika Birkenmajera („*Studia z dziedziny Fizyki teoretycznej. I. O wewnętrznym ustroju Ziemi*“. Lwów 1879), tem więcej, że nasuwa ona pod uwagę naszą jedną jeszcze okoliczność, o której nie wspominaliśmy dotąd, mianowicie działanie siły ciężkości wewnątrz ziemi.

Punkt umieszczony zewnątrz Ziemi ulega przyciąganiu wszystkiej masy, jakby skupionej w jej środku. Jeżeli jednak wyobrazimy sobie punkt umieszczony wewnątrz kuli, to przyciąganie całej takiej warstwy kulistej, to przyciąganie całej takiej warstwy kulistej, na punkt wewnątrz niej położony, jak to jeszcze *Newton* okazał, będzie żadne, przyciągania różnych jej części bowiem nawzajem się znoszą. Punkt zatem materyalny, znajdujący się wewnątrz ziemi, ulega przyciąganiu tej tylko jej części, która zamknięta jest w powierzchni kulistej, przez tenże punkt przechodzącej, cała zaś warstwa zewnętrzna działania nie wywiera żadnego, czyli, krótko mówiąc, punkt znajdujący się wewnątrz Ziemi ulega jedynie wpływowi jądra wewnętrznego.

Jakkolwiek więc, zapuszczając się wewnątrz kuli, zbliżamy się do jej środka, mimo to natężenie przyciągania słabnie, a w samym środku, w samem siedlisku całego tego działania, schodzi do zera. Przebieg tak prosty mógłby wszakże mieć miejsce jedynie tylko w kuli jednorodnej, czyli utworzonej z masy wszędzie jednakowej. Wewnątrz Ziemi stosunki być muszą bardziej zawiłe, głębsze jej bowiem warstwy utworzone są z materiałów gęstszych; gdy więc zagłębiamy się w ziemię, zatracą się wprawdzie działanie warstw skrajnych, ale natomiast znajdujemy się w odległości mniejszej od mas gęstszych, wywierających działanie przeważne, co stratę z zyskiem wynagradza. Dlatego to siła ciężkości aż do pewnej głębokości wzrasta wewnątrz Ziemi, dopóki nie zejdziemy tak głęboko, że strata warstw zewnętrznych przeważać zacznie, — znajdziemy się wtedy w okolicy, gdzie siła ciężkości dochodzi najwyższego swego natężenia, swego maximum, by odtąd znów maleć, dopóki w samym środku Ziemi nie dojdzie do zera. W jakiej zaś głębokości, w jakiej odległości od powierzchni Ziemi maximum to siły ciężkości przypada, zależy to oczywiście od tego, jak rozłożona jest gęstość wewnątrz bryły ziemskiej. Wiemy zaś, że kwe-

II. ZAGADKA WNEŹRZA ZIEMI.

stya ta jest zagadkowa i że pod tym względem skazani jesteśmy na domysły tylko.

Otóż dr. Birkenmajer wyraża w pewien sposób ogólny zależność gęstości od ciśnienia i rozbiera szczególne przypadki, o ile się one do rachunku nagiąć dają. W każdym oddzielnym z takich przypadków głębokość, w jakiej siła ciężkości osiąga swe maximum, będzie odmienna: gdyby przyrost gęstości wewnątrz Ziemi zachodził w sposób, jak to przyjmował Laplace, miałoby to miejsce w odległości około 188 mil geograficznych, gdyby zaś działo się to według hipotezy Roche'a, odległość ta byłaby nieco mniejsza, około 157 mil geograficznych.

Z drugiej strony dane astronomiczne, o których mówiliśmy wyżej, pozwalają ocenić z pewnem przybliżeniem grubość zesztyniałej skorupy ziemskiej, — z zestawienia zaś tak otrzymanych rezultatów okazuje się, że grubość tej skorupy jest dosyć bliska głębokości, w jakiej siła ciężkości największe swe natężenie osiąga. Zbliżenie to, sądzi dr. Birkenmajer, nie może być przypadkowe, i stara się je w następny wytłómaczyć sposób. Gdy krzepnięcie Ziemi wskutek stygnięcia rozpoczęło się na jej powierzchni, to bryły zakrzepłe, stając się cięższymi wskutek zmniejszenia objętości, opadały w otaczającej je cieczy, ale zejść mogły najgłębiej do tych tylko warstw, gdzie działanie ciężkości jest najsilniejsze. Tu więc gromadziły się masy przeprowadzone w stan stały i od tej okolicy rozpoczęło się formowanie zakrzepłej, zesztyniałej skorupy ziemskiej, której grubość wynosi tedy przynajmniej 200 mil geograficznych.

Inni autorowie przyjmują ruch mas zakrzepłych aż do środka Ziemi; dr. Birkenmajer zwraca tedy uwagę na pomijaną dotąd okoliczność, która wszakże prowadzi za sobą pewne trudności i wymaga dokładniejszego rozważania. Skupianie się mas ciężkich dokoła środka stanowi bowiem podstawę zarówno i rozbiernych wyżej teoryj matematycznych, jak i poglądów geologicznych, do których teraz zwrócić się nam wypada.

XIV.

Bezpośrednim badaniom geologicznym dostępne są oczywiście wierzchnie tylko pokłady ziemskie, z których o ustroju warstw głębszych bardzo nieliczne tylko skazówki wydobyć można; klucza zatem do odcyfrowania tej zagadki szukać trzeba w geogonii,

w historii tworzenia się i rozwoju Ziemi, jakkolwiek dzieje te hypotetyczny jedynie charakter przedstawiać mogą. Początkowym punktem wyjścia tych dziejów, jak już wiemy, jest pierwotna mgławica Laplace'a i na tej też podstawie opierają się domysły geologów, które tu przytoczymy pokrótce, według jasnego przedstawienia prof. Lasaulx. Możemy tu zresztą pominąć najbardziej bajeczny wstęp tych dziejów, gdy Ziemia jeszcze masę gazów jedynie stanowiła; uważmy ją w tej chwili, gdy przez ściąganie się i ciśnienie tej masy przeszła już w bryłę ciekłą, dokoła której szeroko rozlegała się jeszcze atmosfera rozżarzona, — stan ten odpowiadał mniej więcej okresowi, w jakim obecnie Słońce pozostaje. Ciekła ta masa Ziemi nie przedstawiała jeszcze wyróżnienia oddzielnych materyałów, była to jednostajna mniej więcej mieszanina „magma” — wedle przyjętego w ostatnich czasach terminu — z której dopiero następnie wydzielić się i wyodrębnić miały oddzielne substancje chemiczne i mineralne, stanowiące obecnie części składowe bryły ziemskiej. Wyróżnianiu takiemu przeszkadzała poprzednio ruchliwość masy ciekłej, ciągle w jej łonie prądowania; przy przejściu dopiero ze stanu ciekłego do stałego dokonywać się mogło indywidualne grupowanie pierwiastków i ich związków, krzepnięcie zaś tej ognisto-płynnej sferoidy rozpocząć się mogło tam, gdzie temperatura najwięcej się obniża, zatem na jej powierzchni, wciąż przez promieniowanie stygnącej. Owa ciekła mieszanina wszelakich stopionych materyałów posiadać musiała ciężar właściwy pośredni, była cięższa od materyałów lżejszych, a lżejsza od materyałów cięższych, w skład jej wchodzących; gdy stygła, ze wspólnej tej masy wydobywały się najpierw te materyały, które mogą już w tak wysokiej krzepnąć temperaturze, czyli, innymi słowy, substancje najtrudniej topliwe.

Nie znamy wprawdzie warunków, przy jakich się cały ten przebieg dokonywał, a w szczególności nie wiemy, pod jakim odbywał się ciśnieniem, od czego właśnie ta temperatura krzepnięcia zależy; przypuścić jednak możemy, że wysokość tego ciśnienia w jednakowy mniej więcej sposób na wszystkie oddziaływała materyały, a zatem z płynnej, ognistej mieszaniny wyosabniać musiały się te ciała, które i ze zwykłych naszych doświadczeń znamy jako najtrudniej topliwe. Do ciał zaś takich, jak wiadomo, należą najpierw metale ciężkie, jak iryd, platyna, nikiel, mangan, kobalt, miedź, żelazo, złoto, srebro, a dalej metale lżejsze: glin, wapń, magnez, oraz pierwiastek niemetaliczny, krzem, rozprzestrzeniony

bardzo silnie na Ziemi w postaci krzemionki i krzemianów, czyli związków z ostatnio wymienionemi i niektórymi innymi pierwiastkami. Wszystkie zatem trudno topliwe substancje podzielić się dają na dwie grupy: na ciała ciężkie, metale, których ciężar właściwy przenosi liczbę 7, oraz na ciała lekkie, jak krzemionka i krzemiany, których ciężar właściwy wynosi około 3. Ognisto płynnej zaś mieszaninie przypisać wypada, jak już nadmieniliśmy, powien pośredni ciężar właściwy, około $5\frac{1}{2}$, co odpowiada właśnie znanej nam obecnie średniej gęstości Ziemi. Gdy więc na powierzchni stopionej masy gromadziły się żuzle zakrzepłe, jedne z nich, lżejsze, pozostawały w górze, tworząc wyspy, gromadzące się i zbijające z wolna w skorupę, która się właśnie z krzemianów składa; cięższe zaś, metaliczne bryły zatapiały się w głąb, dążąc aż do bryły ziemskiej. Na drodze tej przybywały wprawdzie do okolic górętszych, gdzie znowu stopnieć mogły, ale zarazem też dostawały się i pod ciśnienie większe, które w ogólności powrotowi do stanu ciekłego przeszkadzało, a bryły tak zakrzepłe stopniowo gromadziły się około środka.

Proces przeto krzepnięcia bryły ziemskiej dokonywał się z dwu stron spóźnie, zarazem grubiała i skorupa na powierzchni i narastały bryły stałe u środka; jakie wszakże zachodziły tu kombinacje, jak się ustanawiały stopy metaliczne i związki chemiczne, określić nie jesteśmy w możności. W miarę jednak, jak działanie to coraz dalej postępowało, gęstość pozostałej mieszaniny zbliżała się coraz bardziej do gęstości oddzielnych składowych jej części, wydzielanie tych substancji dokonywało się trudniej, a proces krzepnięcia zachodził wolniej.

W ten sposób nabieramy wyobrażenia, że między stałym jądrem a skorupą Ziemi przetrwała stosunkowo cienka warstwa pośrednia, a na podstawie doświadczeń geologicznych możemy nawet o jej naturze wyrobić sobie pojęcie. W warstwie tej bowiem zawierać się muszą zarówno krzemiany i metale ciężkie, czyli ogniwą górnego i dolnego zakrzepu, i to w takiej kombinacji, aby ich ciężar właściwy zajmował miejsce pośrednie. Warunkom zaś tym odpowiada najbliższej grupa minerałów oliwinowych, których ciężar właściwy wynosi od 3,2 do 4,3, a skład chemiczny również wymaganiom powyższym odpowiada. Tym sposobem dochodzimy do wniosku, że skały oliwinowe we wnętrzu Ziemi odgrywają ważną rolę, jak to inną zupełnie drogą wywnioskował Daubrée, opierając się na budowie aerolitów i na zestawieniu ich z głębo-

kiemi pokładami Ziemi. W meteorytach mianowicie oliwin stanowi stateczną część składową, na Ziemi zaś napotyka się w bazaltach i innych skałach wybuchowych, zajmujących dolne obszary skorupy ziemskiej.

Z wywodów powyższych nie wypływa wszakże koniecznie, by ta warstwa pośrednia między skorupą zewnętrzną a stałym również jądrem Ziemi dotąd w stanie ciekłym pozostawać jeszcze miała, i ona bowiem z biegiem czasu zwolna zakrzepnąć również mogła. Zdawałoby się wprawdzie, że objawy wulkaniczne na powierzchni Ziemi występujące, a ujawniające się przedewszystkiem wypływem płynnej lawy, same już stanowią dowód istnienia pod powierzchnią powłoką Ziemi roztopionej dotąd masy. Dawno już jednak przebrzmiały te pierwotne poglądy plutoniczne, według których wulkany stanowić miały jakby klapy bezpieczeństwa, które, dając ujście rozhukanym falam ognistym wnętrza Ziemi, chronić miały okolicę sąsiednią od trzęsień. Obecnie wiadomo, że trzęsienia rozchodzą się z miejsc niezbyt pod powierzchnią Ziemi zagłębionych i niekoniecznie wiążą się z działalnością wulkaniczną; lawa zaś, lubo w stanie ciekłym z wulkanów się wydobywa, niekoniecznie już w głębi Ziemi ciekłą być musi.

Chociażby bowiem Ziemia zupełnie już zakrzepła, to w każdym razie, według wywodów powyższych, pośrednia warstwa oliwinowa najpóźniej w stan stały przeszła i składa się z materiałów najłatwiej topliwych, które przez niewielki przyrost temperatury znowu w stan płynny przejść mogą. Nadto jednak do utrzymania ich w stanie stałym przyczynia się i ciśnienie warstw górnych, co wogóle na utrudnienie topienia wpływa. Skoro więc w jakikolwiek sposób w pewnym miejscu ciśnienie to ulega osłabieniu, masy przemocą niejako tylko dotąd w stanie stałym utrzymywane rozplývają się znów i tworzą ciekłe lawy. Powód zaś do takiego przechodniego zmniejszania się ciśnienia następująca różniczna fałdowania i przesuwania się górnych pokładów Ziemi, co znów jest w związku ze ściąganiem się skorupy, z wytwarzaniem się gór na Ziemi. Geologiczne te sprawy jednak bliżej nas tu zajmować nie mogą; szło nam tylko o wskazanie możliwości, że i hipotezy stwardniałej zupełnie bryły ziemskiej z objawami wulkanizmu nie zostają w sprzeczności.

Powrót zresztą tej lub owej części warstwy pośredniej do stanu ciekłego łatwiej jeszcze pojmować możemy, jeżeli wyobrazimy sobie, że nie zakrzepła ona dokładnie, ale pozostaje w stanie

lepkiem, ciastowatym, półpłynnym niejako, który poprzedza zupełnie skrzepnięcie. Na stan ten przechodni nie zwracano dotąd wogóle dostatecznej uwagi. Przechodzenie ciał ze stanu stałego do ciekłego przywykliśmy oceniać według najłatwiej następujących się uwadze naszej objawów topienia lodu; przejście to dokonywa się tu rzeczywiście dosyć nagle, trudno zauważyć jakiś stan przechodni między lodem a wodą, między ciałem stałym a cieplem. W innych jednak razach zachodzi tu wyraźne stopniowanie, ciało stałe nie zmienia się jakby jednym zamachem w ciecz swobodnie płynną, rozplywa się zwolna, przechodząc przez pewien stan lepkości, ciągliwości, jest jakby półpłynem; stan ten pośredni u różnych ciał trwa krócej lub dłużej, jak to dostrzedz można dobrze na siarce lub selenie. W szczególności, co nas tu głównie obchodzi, okazują to lawy płynące, które są tak spoiste, że opierają się wtłoczeniu w nie obcych ciał, a głązy stosunkowo od nich cięższe unoszą się na ich powierzchni; pomimo to płyną i poruszają się z pewną prędkością. Bardzo łatwo więc zgodzić się możemy na przypuszczenie, że pośrednia warstwa oliwinowa Ziemi utrzymuje się w takim właśnie spoistym, lepkiem stanie.

Na stan ten przejściowy, półpłynny niejako, fizycy w ostatnich dopiero czasach bliższą nieco uwagę zwracać zaczęli. Werner Siemens, badając zachowanie się i powolne krzepnięcie szkła stopionego, rozpatrzył to powolne przechodzenie ze stanu doskonale płynnego w stan ciastowaty, który się utrzymuje pod najsilniejszym ciśnieniem; na podstawie zaś tych poszukiwań zarzuca on Thomsonowi, że w znanych nam już dochodzeniach matematycznych przyjmował nagłą i stanowczą granicę między twardą skorupą a płynnym wnętrzem, gdy w naturze w ogólności przejście to dokonywa się tylko zwolna i stopniowo.

Okoliczność tę należy tedy uwzględnić w hypotezach o wewnętrznym ustroju bryły ziemskiej; rzeczywiście też zarówno rygidyści jak i wiscydyści, jak Hennesy nazywa stronników stałości i płynności jądra Ziemi, pod skorupą zewnętrzną mieszczą taką magmę, czyli warstwę masy plastycznej, która dobrze się nadaje do wyjaśnienia objawów wulkanicznych. Aż do granicy, w której się magma ta rozpoczyna, liczyć należy grubość skorupy ziemskiej, dla obliczenia jej jednak brak nam istotnych wskazówek geologicznych. Na podstawie nader słabo ledwie znanego prawa przyrostu temperatury podziemnej obliczył Heinrich, że w głębi 84000 metrów panować musi temperatura 2500°, w której

wszystkie już nam znane substancje ziemskie stopieniu ulegać muszą. Brano pod uwagę przewodnictwo materiałów, składających skorupę ziemską i niektóre inne dane geologiczne, a stąd różni różnie oceniali jej grubość, ale ocena taka dostatecznego uzasadnienia przedstawiać nie może.

Geolog chorwacki Pilar, który całą naukę o objawach podziemnych objął oddzielną nazwą *Abyssodynamiki*, przemawia za płynnością wnętrza Ziemi i przyjmuje, że grubość skorupy stanowi około $\frac{1}{50}$ do $\frac{1}{40}$ części całego promienia ziemskiego, co najwyżej zaś wynosi 120 kilometrów. Główny jednak nacisk w teorii swej kładzie na to, że grubość skorupy w różnych miejscach zgoła nie jest jednakowa, czyli że powierzchnia lawy roztopionej w różnych punktach niejednakowo blisko do powierzchni Ziemi przystępuje. Powierzchnię tę, która przebiega przez najwyższe wyniesienia się tych mas ciekłych, nazywa on *ryakohypsa*, a położenie jej ma zostawać w związku z rozmaitem natężeniem działalności wulkanicznej w różnych miejscach Ziemi.

X.

Jakkolwiek mówiliśmy już o stałym, płynnym i półpłynnym stanie wnętrza Ziemi, nie wyczerpaliśmy wszakże wszystkich możliwych domysłów. Pozostał bowiem jeszcze lotny, gazowy stan materii.

Może się wprawdzie zupełną wydawać niedorzecznością przypuszczenie, że wnętrza Ziemi wypełnione być może gazem, który przecież pod olbrzymim naciskiem, jakiby tam panował, lotności swojej utrzymywaćby nie mógł i musiałby uleść skropleniu. Doświadczenia przecież *Cailleteta*, *Picteta*, *Wróblewskiego* i *Olszewskiego* przekonały, że najoporniejsze nawet gazy, które niedawno trwałemi nazywano, ulegają wreszcie przemocy i zmieniają się w ciecze, — jakżeby oprzeć się mogły naporowi w łonie Ziemi?

Cokolwiek jednak sądzilibyśmy o takiej hipotezie gazowego jądra Ziemi, tak pośpiesznie odpierać jej nie można, skraplanie bowiem każdego gazu dokonać się może jedynie poniżej pewnej, oznaczonej temperatury. *Andrews* mianowicie wykazał, że dla każdego gazu istnieje pewna temperatura krytyczna, powyżej której żadne wysilenie, żadne, choćby największe ciśnienie, jakkolwiek znacznie mogłoby objętość jego zmniejszyć, nie będzie wszak-

że w stanie gazu tego w ciecz zamienić. Przyczyna tego osobliwego zachowywania się gazu na tem polega, że przez ściskanie go rozwija się ciepło, które się skraplaniu sprzeciwia; aby gaz zatem w ciecz zamienić, nie wystarcza samo poddawanie go znacznym ciśnieniom, ale potrzeba jeszcze koniecznie oziębic go poniżej owej temperatury krytycznej, która zresztą dla każdego gazu jest inna. Dla gazów najwybitniejszych, jak dla wodoru, przypada ona bardzo nizko, około 200° niżej zera; dla gazów innych temperatura krytyczna jest wyższa, ale i pary wodnej nie można skroplic, nie można jej w wodę zamienić, skoro ogrzana jest wyżej 580°. Rozumie się, że dla ciał trudno topliwych i trudno lotnych granica ta sięga wyżej jeszcze, zapewne jednak tak wysoka temperatura, jaka w łonie Ziemi panować może, przewyższa punkty krytyczne wszelkich znanych nam ciał;—z tego więc względu hipoteza gazowego jądra przeszkody nie napotyka.

•Nie jest to nawet pomysł nowy, już bowiem Franklin wyobrażał sobie Ziemię wypełnioną wewnątrz płynem sprężystym czyli gazem; do poglądu tego, który przyjął także i Chladni, skłaniał Franklina ten wzgląd, że na zasadzie prawa Mariotte'a o zależności między gęstością gazu a ciśnieniem, jakie on znosi, obliczyć można, że już w niewielkiej stosunkowo głębokości gazy przyjmować muszą gęstość przechodzącą gęstość platyny lub irydu, ściśnięta przeto taka masa gazu całą skorupę łatwo na sobie unosić może. Leslie znów, w duchu widocznie ówczesnej Fizyki, zastąpił gazy „płynami nieważkiemi“, którym przypisywano większą jeszcze aniżeli gazom sprężystość, czyli siłę repulsyjną, co według świadectwa Humboldta w sferach nienaukowych dało powód do rojeń fantastycznych. Przypomniano sobie może dawny pomysł Halleya, że Ziemia jest wydrążona i we wnętrzu swem mieści planetę, której ruchy powodują zmiany w natężeniu magnetyzmu ziemskiego.

Z pisarzy nowszych w podobnym duchu przemawia znany filozof angielski Herbert Spencer, który wypełnia wnętrze Ziemi parami o wysokiej bardzo prężności; mało wszakże zwracano uwagi na hipotezę tę, aż wreszcie znalazła ona godnego przedstawiciela w osobie Rittera, który na zasadach teorii mechanicznej ciepła przeprowadził dokładne badania nad konstytucją gazowych ciał niebieskich. Wiadomo, że gdy pewna ilość powietrza powiększa swą objętość, temperaturze jej opada, jak to się dzieje np. z prądami wznoszącemi się w górę w atmosferze naszej.

Ritter rozpatruje tedy kulę gazową, której temperatura maleje od środka ku powierzchni według tego samego prawa, jakby to miało miejsce, gdyby pewna masa tego gazu wznosiła się w tymże kierunku, oziębiając się wskutek samego rozprzestrzenia. Kula taka stygnie przez promieniowanie, przez wysyłanie ciepła w przestrzeń, ale wskutek tego ściąga się zarazem, co znów powoduje przyrost temperatury, który ową utratę zewnętrzną ciepła pięciokrotnie wynagradza. W bryle takiej, objętości naszej Ziemi, gęstość gazu około środka przechodzi 143 razy gęstość wody, panuje tam ciśnienie wyrównyujące trzem milionom atmosfer, a temperatura dochodzi 100 000°. Przypominamy sobie, że olbrzymie i przerażające takie ciśnienie stanowiło jeden z powodów, dla których wielu badaczy zarzuciło hipotezę wnętrza ciekłego i skłoniło się do pojęć o zupełnem zakrzepnięciu Ziemi. Zresztą o własnościach gazu, pozostającego w okolicznościach tak odrębnych od warunków, w jakich się obserwacje nasze obracają, nie umielibyśmy wiele powiedzieć; to tylko twierdzić można, że zachowuje on zawsze zasadniczą własność gazów, to jest rozprzestrzenianie się, zdolność zapełniania wszelkiej próżni, która mu się otwiera.

Pomysły Rittera zyskały rozgłos, gdy je rozwinął Zöppritz na zjeździe geografów niemieckich w r. 1882. Ritter zresztą w poszukiwaniach swoich nie wychodzi poza obręb gazowego wnętrza Ziemi, Zöppritz uzupełnia te wywody i prowadzi aż do obecnej powierzchni Ziemi. W miarę, jak wydobywamy się z wnętrza tej ogólnej masy gazowej, jak temperatura jej się obniża, wyosabniają się z niej odrębne pierwiastki, utrzymując się jeszcze w stanie lotnym, dopóki temperatura nie opada poniżej ich punktów krytycznych; wtedy obezwładnione dotąd ciśnienie władzę swą odzyskuje i roztopcza się warstwa ciekła. Im bliżej dochodzimy do powierzchni, tem więcej ciecz ta na czystości traci, staje się mętną, spoistą, ukazują się w niej bryły zakrzepłe, i stopniowo, bez gwałtownego przeskoku, przechodzi wreszcie w skorupę zeszywniałą, której powierzchnię człowiek zamieszkuje. W przebiegu tym odnajdujemy znowu ową półpłynną warstwę pośrednią, która tedy, jak się okazuje, równie dobrze pogodzić się może z wnętrzem gazowym, jak z jądrem ciekłym lub stałym.

Za gazowym wnętrzem Ziemi obstaje wreszcie i Svante Arrhenius (1900), sądzi bowiem, że temperatura, jaka panuje zapewne już w głębokości 300 kilometrów, żadne ciało oprzeć się nie może i wszystkie tam się ulatniają, chociaż pod olbrzymiem

II. ZAGADKA WNEŹRZA ZIEMI.

ciśnieniem we wnętrzu Ziemi gazy ogólnem swem zachowaniem zbliżyć się muszą do ciał stałych, a gazową swą naturę tem tylko jeszcze ujawniać mogą, że przy wszelkich zmianach ciśnienia szybko ulegają przesunięciu. Dla przyczyn nam znanych przyjmuje dalej Arrhenius, że wśród tych gazów wnętrza Ziemi przeważa żelazo w stanie lotnym, a taka gazowa kula żelazna zajmować ma 80 odsetek promienia ziemskiego, gdy stałej skorupie przypisuje rozległość niespełna 1 odsetki, około 40 kilometrów za ledwie; przestrzeń pośrednią zajmować ma magma, która stopniowo przez stan ognisto-płynny do bryły zakrzepłej prowadzi.

Z zestawienia powyższego widzimy, że obecna nasza znajomość wnętrza Ziemi przedstawia się w zarysach bardzo skromnych, a daleka chyba dopiero przyszłość zdoła wygładzić sprzeczności, któremi się jeżą poglądy dzisiejsze. Zbyt długo zatrzymałem tu może uwagę czytelnika nad sprawą, o której naprawdę nic nie wiemy. Niech mnie jednak usprawiedliwi to, że więcej pisze się o rzeczach, których także nie rozumiemy lepiej, choć dzieją się na powierzchni Ziemi i w blasku dnia jasnego.

III.

HISTORIA GAZÓW

I ICH ZNACZENIE W NAUCE DZISIEJSZEJ.

I.

„Stan trzeci był niczem, powinien być wszystkim“. Pamiętne te słowa, któremi Sieyès tak silnie rozbudził pragnienia pokrzywdzonych warstw społeczeństwa ludzkiego, odnieść możemy bez zmiany i do trzeciego stanu skupienia ciał, do stanu lotnego.

Gazy były również niczem dla nauki, obecnie są wszystkim; na wszelkich polach badań fizycznych i chemicznych odgrywają przeważną rolę.

Były niczem: oprócz powietrza atmosferycznego nieznanego, nie istniały dla nauki tak dalece, że sama ich nazwa jest pochodzenia nowoczesnego, powstała bowiem dopiero na początku wieku siedemnastego, gdy Fizyka scholastyczna rozpadła się w gruzy, a rojenia alchemiczne ustępowały ściślejszym badaniom jatrochemicznym. Utworzył je słynny w dziejach chemii Jan Baptysta van Helmont:

„Gas et Blas nova quidem sunt nomina, a me introducta, eo quod illorum cognitio veteribus fuerit ignota: Attamen inter initia physica Gas et Blas necessarium locum obtinent“.

„Blas“ miał to być czynnik, czyli raczej podnieta zewnętrzna, która więcej od gwiazd, sprowadzała zamianę gazu w parę i w wodę. Wraz z pojęciem tem i wyraz rychło zaginął, nazwa wszakże gazu, wyprowadzona z holenderskiego „gahst“, co znaczy duch, utrwaliła się w nauce i przeszła do mowy potocznej. W pochodzeniu więc nazwy gazu zdradza się stare mniemanie o powinowactwie duszy ze stanem powietrznym, lotnym, tak jak chemicy dawni na oznaczenie łatwo ulatniającej się substancji używali

III. HISTORIA GAZÓW.

pozostajej dotąd nazwy spirytus, jak to w języku naszym okazuje pokrewieństwo wyrazów dech i duch. W każdym razie nazwa gazu szczęśliwie utworzona została, gdy nawet i u nas nie targnęli się na nią rzekomi obrońcy czystości języka, którzy z takim wysileniem pracują nad wypłenieniem z naszego słownictwa naukowego terminów greckich i łacińskich.

W czasach, gdy Helmont pisał, ani Fizyka, ani Chemia gazów w istocie rzeczy nie istniała. Fizycy starożytni nie znali gazów odrębnych od powietrza, które było tedy jedynym przedstawicielem swego typu, nie umieli nawet wyróżnić od niego pary. W układzie żywiołów czyli elementów Arystotelesa powietrze było żywiołem, łączącym w sobie sprzeczności gorąca i wilgoci, tak jak ogień był żywiołem gorącym i suchym, woda zimnym i wilgotnym, a ziemia wreszcie zimnym i suchym. Pojęcia te, które się nam tak osobliwe wydają, wpływały stąd, że Arystoteles, jak i inni filozofowie starożytni, do wyjaśnienia objawów przyrody nie dążył drogą obserwacji i doświadczenia, ale usiłował ją ująć przez spekulacye czysto logiczne. Zmysły nasze, a w szczególności dotyk, zdradzają nam w ciałach cztery zasadnicze jego uczucia, czyli własności materji: ciepło i zimno, suchość i wilgoć. Cztery te własności, łącząc się po dwie, dają sześć kombinacyj; ponieważ wszakże sprzeczności bezpośrednie, t. j. ciepło i zimno oraz suchość i wilgoć, wiązać się ze sobą wprost nie mogą, z możliwych zatem sześciu pozostają tylko cztery kombinacye, cechujące cztery wyżej wymienione substancye elementarne czyli żywioły, z których się budują wszystkie ciała ziemskie.

Spekulatywne to wnioskowanie zaszkodziło wszakże nietylko Chemii ale i Fizyce powietrza. Według bowiem Arystotelesa są te żywioły zależnie od swej natury ciężkie lub lekkie. Ziemia jest żywiołem bezwzględnie ciężkim, ogień bezwzględnie lekkim, woda zaś i powietrze są tylko względnie ciężkie lub lekkie, stosownie do tego, jak z innemi elementami występują. Woda nie jest więc ciężka względem ziemi, ani powietrze względem wody, dla tego też woda nie może wywierać ciśnienia na ziemię, a powietrze na ziemię i na wodę. Aby tedy wyjaśnić działanie ssące, czyli podnoszenie się wody w rurze, z której powietrze zostało usunięte, wprowadzić musiał Arystoteles osławioną obawę próżni, horror vacui, chociaż posiadał świadomość o ciężarze powietrza i próbował je nawet ważyć. Arystoteles bowiem góruje nad poprzed-

nikami swymi o tyle, że nie odwraca się od rzeczywistości i zbiera dostrzeżenia; gdy wszakże o tłumaczenie ich idzie, zachowuje metodę filozofowania na podstawie zasad z góry przyjętych. Nieszczęśliwa zaś obawa czczości uczyniła czczą wszelką naukę o powietrzu przez cały ciąg panowania Fizyki arystotelesowej.

Najwspanialszy okres Fizyki powietrza w starożytności przypada na epokę aleksandryjską, gdy w połowie drugiego stulecia przed Chr. Ktezibios, a więcej jeszcze uczeń jego Heron zasłynęli, jako wynalazcy różnych przyrządów, polegających na prężności powietrza, a które Heron opisał w dziele swem „*Spiritualia seu Pneumatica*“. Należą tu: pompa ssąco-tłocząca, wiatrówka, bania Herona, wytrysk Herona, eolipila, wprowadzana w ruch działaniem pary lub powietrza rozgrzanego. Chociaż jednak obaj ci mechanicy greccy, jak i następnie Witruwiusz w Rzymie, tak dobrze prężność powietrza do potrzeb praktycznych stosować umieją, teoretycznej mechaniki gazów zgoła nie wytworzyli. — Następnie, aż do końca wieku szesnastego, napotykamy u różnych pisarzy, jak u Mikołaja de Cusa, u Leonarda da Vinci, zaledwie pewne wzmianki o ciężarze powietrza, a Hieronim Cardanus, sławny matematyk i pogromca scholastyków w wieku szesnastym, ocenia, że jest ono pięćdziesiąt razy lżejsze aniżeli woda, chociaż przyznaje, że liczba ta nie jest dokładna. U samego zatem schyłku Fizyki dawnej najelementarniejsze nawet ustępy nauki o gazach nie były jeszcze zapisane.

II.

Zwyczajna wszakże pompa, znana, jak widzieliśmy, Ktezibiosowi, a może i jego poprzednikom, której działanie tłumaczono zasadą obawy próżni, doprowadzić miała do wielkiego odkrycia ciśnienia atmosferycznego. Celu tego nie osiągnął jeszcze twórca Fizyki nowoczesnej, ale utorował przynajmniej do niego drogę, jakkolwiek o rzecz tę potrąca pośrednio tylko, mówiąc o wytrzymałości belek i ciał w ogólności, której poświęca dzień pierwszy i drugi swoich „*Discorsi*“. Dziwną wydawać się nam może ta uboczna wzmianka przy odrębnej zgoła nauce o wytrzymałości ciał, ale wypływa to stąd, że w tym jednym razie przyjmuje Galileusz pogląd starego swego przeciwnika, którego na wielu punktach tak szczęśliwie pokonał. Arystoteles mianowicie wytrzymałość ciał tłumaczył zasadą swą obawy próżni; gdy bowiem

ciało rozerwać chcemy, pomiędzy rozsuniętymi jego cząsteczkami choć na chwilę powstać musi przestrzeń pusta, ale że natura próżni się tej lęka, stara się przeto rozrywaniu takiemu przeciwdziałać. Dla wyjaśnienia tych objawów odwołujemy się obecnie do działań międzycząsteczkowych, o których nie myślano jeszcze w owych czasach; w braku więc tłumaczenia lepszego mówi tu Galileusz również o obawie próżni, ale używa wyrazu tego jedynie dla oznaczenia pewnej siły, której dokładniej wyrazić nie umiano. Okazuje się to z dalszych rozważań Galileusza. Wytrzymałość ciał jest różna; nie polega to wszakże na tem, by owa obawa próżni miała w nich być różna, ale pochodzi stąd, że ciała posiadają rozmaite pory. Im więcej znajduje się pustych takich przestrzeni wewnątrz ciała, tem silniej dąży przyroda do wtłaczania w nie materji, tem przeto wytrzymalsze jest ciało; pory te zresztą występują w niezmiernej ilości i są tak drobne, że powietrze przenikać tam nie może.

Ale ta obawa próżni nie jest już dla Galileusza nieokreślonym jakimś wstrętem przyrody do pustej przestrzeni; uważa ją owszem za pewną oznaczoną siłę, której wielkość ocenić można przez działanie pompy. Obserwacya zaś uczy Galileusza, że woda w pompie ssącej wznosi się najwyżej do 18 braccia, t. j. łokci; gdy rura pompy jest wyższa, słup wody zatrzymuje się na przytoczonej wysokości, obawa zatem próżni jest to siła takiej wielkości, że równoważyć może ciśnienie słupa wody, sięgającego na 18 braccia.

Nawykli do bieżących pojęć naukowych, gotowi jesteśmy drwić z wyrażenia, że natura lęka się próżni tylko do wysokości 18 łokci czyli 32 stóp paryskich. Nie zapominajmy jednak, że wysłowienie to osłania jedynie fakt, ale fakt już należycie zbadany, wielkość dokładnie zmierzoną. Mierzenie zaś objawów przyrody daje podstawę do matematycznego ich rozważania, jest niezbędnym początkiem wszelkiego ścisłego badania przyrody. Chociaż zatem Galileusz jeszcze się do obawy próżni odwołuje, ale że ją licznie wyrazić umie, daje tem samem możność dalszych dochodzeń, otwiera drogę, na której zjawisko to dokładniej ma być poznane.

Chwała ukończenia tych badań przypadła wielkiego mistrza znakomitemu uczniowi, Torricellemu. Ponieważ doświadczenia z tak wysokim słupem wody, jaki się wznosi w pompie, były zbyt uciążliwe, postanowił powtórzyć je Torricelli z cieczą inną, od

wody cięższą. Najprzydatniejszą być mogła do tego rtęć, która, jako 13 razy od wody cięższa, powinna być już wysokości $\frac{32}{13}$ stopy, czyli 28 cali, zrównoważyć obawę próżni, jeżeli jak twierdził Galileusz, obawa ta jest pewną, oznaczonej wielkości siłą; siła bowiem mierzy się nie długością pewnego słupa cieczy, ale ciśnieniem przezeń wywartem. Zamierzonego tak doświadczenia Torricelli sam nie wykonał, ale zalecił je uczniowi i przyjacielowi swemu Wincentemu Vivianiemu, który też rzeczywiście stwierdził, w r. 1643, w rok zatem po śmierci Galileusza, że w rurze, w górnym końcu zamkniętej, a dolnym pogrążonym w rtęci, ciecz ta utrzymuje się na wysokości 28 cali. Wyprowadzić stąd wniosek o ciśnieniu powietrza nie było, oczywiście, rzeczą tak łatwą, jak dziś dla nauczyciela, który doświadczenie to uczniom swoim powtarza. Przed genialnym umysłem Torricellego odsłoniła się wszakże bezpośrednio wielka zagadka przyrody. Skoro obawa próżni ma tak różną granicę nad wodą i nad rtęcią, jest ona wogóle nedorzecznością; jeżeli więc ciecz podnosi się w pustej przestrzeni, musi to mieć przyczynę inną, a przyczynę tę wskazał Torricelli w ciśnieniu atmosferycznym. Szczególniej zaś do zastąpienia obawy próżni tem ciśnieniem skłoniło Torricellego spostrzeżenie, że wysokość rtęci w rurze ulega pewnej chwiejności. Gdyby bowiem stwierdzono to tylko, że siła, która podtrzymuje słup wody wysoki na 32 stopy, dźwiga też słup rtęci sięgający do 28 cali, nie mielibyśmy jeszcze dostatecznego powodu do zmiany wyobrażeń o naturze tej siły. Skoro wszakże dostrzeżono, pisze Torricelli w liście do Michała Anioła Ricciego w r. 1644, że wielkość tej siły jest chwiejna, to czas już zarzucić pojęcia o obawie próżni; niepodobna bowiem przypuścić, by przyroda, jeżeliby nawet pewne obawy posiadała, miała być kapryśną jak załotna dziewczyna, w upodobaniach swych i wstrętach.

Odkrycie Torricellego należy do najbardziej wytycznych epok w dziejach nauki, on sam jednak dalej już go nie rozwijał, gdyż umarł w roku 1647, w niespełna czterdziestym roku życia. Ale praca jego wymagała uzupełnienia; chociaż bowiem pusta przestrzeń nad rtęcią rury barometrycznej przekonywała dowodnie, że hipoteza obawy próżni jest bezzasadna, nie wypływało stąd jeszcze stanowczo, by koniecznie ciśnienie powietrza miało być źródłem tych objawów. Zasada tak nowa, prowadząca do wniosku tak osobliwego, że sami pozostajemy pod olbrzymiem ci-

śnieniem, choć go nie czujemy, wymagała potwierdzenia, któreby zdołało ogół przekonać i do przyjęcia nowej nauki nakłonić.

Takiego dowodu potwierdzającego dostarczył P a s c a l. Dwudziestoletni zaledwie młodzieniec usłyszał o doświadczeniach Torricellego za pośrednictwem Mersenne'a, który dla swej ruchliwości i licznych stosunków ze współczesnymi fizykami zastępował miejsce pisma naukowego. Nowego tłumaczenia tych zjawisk P a s c a l nie znał, a powtórzywszy doświadczenia T o r r i c e l l e g o z rtęcią, wodą i winem czerwonym, tłumaczył je starą obawą próżni. Gdy dowiedział się dokładniej o nowej nauce, nie skąpił usiłowań, by domysł ciśnienia atmosferycznego należycie potwierdzić. Starał się tedy naprzód powietrze nad zbiornikiem rtęci usunąć i dostrzegł istotnie, że pod zmniejszonym tak ciśnieniem rtęć w rurze barometrycznej opadła. Tem wszakże jeszcze niezadowolony, zapragnął poznać stan barometru na wysokiej górze. Sam zamiaru tego urzeczywistnić nie mógł, uprosił tedy o przeprowadzenie podobnych dostrzeżeń szwagra swego P é r i e r a przebywającego w Clermont, u stóp góry Puy de Dôme. P e r i e r, zaopatrzony w rury i potrzebną ilość rtęci, zdołał po upływie roku dopiero spełnić żądanie P a s c a l a. Wstępując na górę, d. 19 września 1648 r., widział, jak zgodnie z przewidywaniem rtęć wciąż opadała, a u szczytu, w wysokości 4300 stóp paryskich, obniżyła się względem pierwotnego stanu o 3 cale i 15 linij. Tak znaczny spadek uderzył P a s c a l a i zachęcił go do prób na wysokościach mniejszych, i rzeczywiście już na wieży kościoła św. Jakóba w Paryżu okazał się spadek barometru o dwie linie. W tymże samym jeszcze roku opisał doświadczenia te w ulotnem pisemku, które okazało bezzasadność obawy próżni. W ciągu dwu następnych jeszcze lat P a s c a l zajmował się gorliwie obserwacjami barometrycznymi i podał wyjaśnienie wielu zjawisk, od ciśnienia atmosferycznego zależących; w szczególności zaś—co najważniejszą jest jego zasługą—wykazał, że ciśnienie rozchodzi się w powietrzu równomiernie, według tych samych zasad, co w cieczach. Pracom fizycznym poświęcił zresztą P a s c a l kilka zaledwie lat krótkiego swego żywota, gdy następnie głęboki umysł jego zmiętrzył się w pietystycznych rojeniach.

Ale obserwacya barometru na górze, chociaż tak stanowczo przekonująca o ciśnieniu atmosferycznym, nie była jeszcze dla ogółu argumentem dosyć silnym. Jak podróże naokoło Ziemi świadczą o jej kulistości nawet ludziom do rozumowania nauko-

wego nienawykłym, tak i tu trzeba było jeszcze dowodu oczywistego, dotykającego, a ten ostateczny tryumf nauce o ciśnieniu atmosferycznym dały rozgłosne doświadczenia z półkulami magdeburskimi.

Śród strasznej zawieruchy wojny trzydziestoletniej, wplątany w jej klęski jako inżynier, dyplomata, radca i burmistrz na usługach rodzinnego miasta, znajdował Otto Guericke krótkie chwile wywczasu i spokoju na prowadzenie doświadczeń fizycznych, których rezultatem było wynalezienie pompy powietrznej. O pracach Torricellego nie wiedział, zajmowało go tylko żywo dawne pytanie, czy przestrzeń pusta istnieć może, i sądził, że doświadczenie tylko spór ten rozstrzygnąć potrafi. „Filozofowie bowiem, którzy trzymają się jedynie swych sądów i argumentów, doświadczenia zaś nie uwzględniają, nie mogą nigdy osiągnąć pewnych i należytych wniosków co do zjawisk przyrody; widzimy przecież, że rozum ludzki, gdy nie zważa na rezultaty doświadczeniem zdobyte, usuwa się często od prawdy dalej, aniżeli odległość Słońca od Ziemi wynosi“. Pisze tak w dziele swoim „Experimenta nova magdeburgica“ wydanem dopiero w r. 1673, lubo maszyny jego i doświadczenia dawno już miały rozgłos powszechny.

Pierwsze próby nie były pomyślne. Guericke bowiem użył beczki napełnionej wodą, którą chciał usunąć za pomocą pompy ssącej, u spodu beczki osadzonej; woda wydobywała się rzeczywiście z beczki, w miejsce jej wszakże wdzierało się z szumem powietrze przez szczeliny. Aby więc dostęp jego powstrzymać, umieścił beczkę swą w innej, większej, również wodą napełnionej, ale i tym razem usłyszał fatalny szum, zdradzający, że ściany beczki nie zdołały powstrzymać dostępu wody z zewnątrz. Dopiero, gdy beczkę zastąpił balonem miedzianym, opatrzonym w rurę z kurkiem, a do rury tej przyskrubował starannie pompę, otrzymał pierwszą swą maszynę pneumatyczną. Roku, w którym przyrząd ten zbudowany ostatecznie został, oznaczyć dokładnie niepodobna. Jeden z nowszych biografów Guerickego sądzi, że doświadczenia powyższe prowadzone i ukończone zostały w ciągu lat 1632—1638, a w takim razie próżnia Guerickego byłaby wcześniejsza aniżeli Torricellego. Data ta jest zapewne znacznie zawczesna, ale niewątpliwie najpóźniejszy termin wynalezienia pompy powietrznej odnieść należy do roku 1652.

Pamiętne swe doświadczenia z półkulami magdeburskimi okazywał Guericke publicznie po raz pierwszy podczas sejmku

III. HISTORIA GAZÓW.

w Regensburgu, w r. 1654. Wywarły one wrażenie potężne, nie były to bowiem skromne kule, do jakich przywykliśmy w dzisiejszych gabineciech; Guericke przyrządy swe wogóle wyrabiał w wielkich wymiarach, do czego go zagnała zresztą budowa ich jeszcze pierwotna. Półkule okazywane w Regensburgu miały $\frac{3}{4}$ łokcia magdeburgskiego w średnicy, a szesnaście koni ledwo je rozrywało. „Ale że półkule te przy rozrywaniu ulegały pewnemu uszkodzeniu..., poleciłem wyrób większych, o średnicy całego łokcia. Kottlarze wszakże rzadko wykończyć mogą naczynie dokładnie według wskazanej miary, dla tego też w rzeczywistości średnica ta okazała się równą 95 setnym łokcia. Po usunięciu powietrza 24 konie nie mogły półkul tych rozerwać, po napełnieniu zaś ich powietrzem każdy mógł je bez wysiłku rozdzielić“.

Nie należy z opisu tego wnosić, że Guericke miał jedynie na celu wzbudzenie podziwu tłumów; był on biogłym eksperymentorem i rozumiał już znaczenie dokładnych mierzeń przy doświadczeniach. Ważył powietrze i zbudował manometr do oceny jego prężności; wniósł, że w różnych warstwach atmosfera ma rozmaitą gęstość; urządził barometr wodny i poznał, że zmienność pogody wiąże się ze zmianami ciśnienia atmosferycznego.

W końcu zatem pierwszej połowy wieku siedemnastego zdobyta została znajomość ciężaru powietrza i wypływającego stąd jego ciśnienia; ale ciężar gazów nie stanowi jeszcze właściwej ich cechy, wyróżniają ją bowiem od innych ciał swoją prężnością. Zbadanie zaś tej własności przypada na drugą połowę tegoż stulecia.

III.

W miarę, jak oswajano się z zasadą ciśnienia atmosfery, nasuwała się pod uwagę prężność powietrza, którą Guericke starał się uwidocznic jasnymi doświadczeniami, jak gwałtownym przyplływem powietrza do pustej kuli szklanej, lub wydymaniem i pękaniem pęcherza pod dzwonem pompy pneumatycznej. W szczególności zaś, gdy widziano, jak półkule magdeburgskie, których niepodobna było rozerwać, rozchodzą się łatwo za odkręceniem kurka, zrozumiano, że prężność powietrza, czyli dążność jego do rozprzestrzeniania się, równoważy się z ciśnieniem, jakiego ono z zewnątrz doznaje. Guericke wniósł stąd, że w dolnych warstwach atmosfery powietrze posiada gęstość większą, aniżeli w gór-

nych, co okazał niezależnie od swej pompy, gdy kule szklane, zamknięte kranem, przenosił na szczyt góry; za otwarciem bowiem kranu powietrze wyrывało się z nich ze świstem; gdy zaś kran na szczycie został zamknięty, a u spodu góry otwarty, powietrze również gwałtownie do kuli wpadało.

Pomimo dowodów tak oczywistych, umysły, nawykłe do pojęć dawnych, z poglądami nowymi pogodzić się nie mogły. Wydawało się wielu uczonym ówczesnym niemożliwym, by płyn tak subtelny i tak się łatwo na wszystkie strony usuwający, jak powietrze, dźwigać mógł słup rtęci na 28 cali wysoki, a profesor kolegium angielskiego w Leodium, Franciszek Linus, w dziełku „De experimento argenti vivi tubo vitreo inclusi“ zgola inaczej tłómaczył doświadczenie Torricellego. Według niego rtęć uczepia się u górnego końca rury cienkimi, niewidzialnymi wprawdzie nitkami, on sam wszakże czuł wyraźnie, jak silnie nitki te ciągną, gdy do barometru użył rury otwartej, której górny koniec palcem swym zakrył.

Nie dziełem tem jednak i dziwaczną tą teorią upamiętnił autor swe nazwisko, ale odpowiedzią, jaką praca jego wywołała. „Obronę nauki o sprężystości i ciężarze powietrza“ przeciw Linusowi temu napisał mianowicie w r. 1662 Robert Boyle, znakomity eksperymentator, który już przed kilku laty udoskonalił pompę Guerickego i używał jej do nowych doświadczeń, a w dziele, o którym mowa, mieści się odkrycie nowego prawa, co było rzeczą o wiele ważniejszą, aniżeli odparcie uczonego profesora z Leodium. By go o oporności powietrza przekonać, użył Boyle rury zgiętej, której ramię krótsze było zamknięte, gdy przez otwór rury dłuższej dolewano stopniowo rtęci. W miarę, jak słup rtęci stawał się wyższym, powietrze zamknięte w rurze krótszej ścisnęło się coraz bardziej, równoważąc coraz znaczniejsze ciśnienie zewnętrzne; wraz ze zmniejszaniem się zatem objętości powietrza wzrastała jego prężność. Ciśnienia, wywierane przez rtęć i odpowiadające im objętości powietrza, zestawił Boyle w tablicach, ale na wzajemną zależność obu tych wielkości uwagi nie zwrócił; uczeń dopiero jego, Ryszard Townley, dostrzegł, że z tablic tych wypływa zależność bardzo prosta, objętości bowiem zamkniętego powietrza są odwrotnie proporcjonalne do ugniatających je ciśnień. Wtedy i Boyle zajął się bliżej tem spostrzeżeniem i okazał, że prawo powyższe utrzymuje się i dla ciśnień mniejszych od atmosferycznego, a zatem w ogólności objętość powietrza wzrasta

w tymże samym stosunku, w jakim słabnie wywierany na nie ucisk.

Niewątpliwie więc odkrycie tego dla nauki o gazach zasadniczego prawa zawdzięczamy Boylemu, pospolicie wszakże oznacza się ono nazwiskiem Mariotte'a, choć ten ostatni ogłosił je dopiero w roku 1676, zatem w czternaście lat później, w dziele „Essai sur la nature de l'air“.

Przeoczywszy jednak niewątpliwie pierwszeństwo Boyle'go, nauka nie popełniła może tak zupełnej niesprawiedliwości, jak to dziś nieraz o sprawie tej słyszemy, gdyż Mariotte doniosłość tego prawa lepiej ocenić umiał i zastosował je szczęśliwie do obliczania wysokości danego miejsca ze stanu barometru, chociaż, oczywiście, przy ówczesnym stanie Matematyki, wzór jego daleki być musiał od dokładności, jaką metoda ta w czasach znacznie późniejszych dopiero osiągnęła. Anglicy nazywają Boylego wielkim eksperymentatorem, rzeczywiście bowiem doświadczenia swe, należycie obmyślane, prowadził z wielką zręcznością i ścisłością, tak, że pod tym względem dorównywa fizykom nowoczesnym. Szło mu wszakże wyłącznie prawie o stwierdzenie danego faktu, na wysnuwaniu z niego wniosków wcale mu nie zależało. Dlatego też na postęp nauki wpłynął mniej, aniżeli po obfitości prac jego i jego biegłości oczekiwać można było. Widzieliśmy też, że uzupełnieniem najważniejszego swego odkrycia, o którym tu mowa, zajął się dopiero, gdy jeden z jego uczniów z doświadczeń jego pierwszy wniosek wyprowadził. Zasługi zresztą Boyle'go nauka zawsze wdzięcznie uznawała, ale pisarze angielscy często je przeceniali, a znakomity fizyk Tait, odmawiając wszelkiego znaczenia Mariotte'owi i wprowadzając na pole sporów naukowych zawiści międzynarodowe, tak w tej, jak i w innych kwestiach okazał brak niezbędnej historykowi bezstronności. Uznając przeto w każdym razie pierwszeństwo Boylego, dzieła francuskie i niemieckie oznaczają prawo, o którym mówimy, utartą nazwą prawa Mariotte'a.

Doniosłość tego prawa dla nauki o gazach polega na uderzającej jego prostocie, świadczy ono bowiem, że gazy, jakkolwiek są to ciała dla zmysłów naszych najmniej dostępne i napozór najbardziej zagadkowe, w rzeczywistości posiadają budowę najprostsza. Jeżeli przyjmujemy, że materya złożona jest z cząstek, to w stanie lotnym cząstki te muszą być zupełnie swobodne, żadnymi siłami nieskrępowane, gdyż w takim tylko razie mogą tak dokładnie ob-

jętość swoją do ciśnień zewnętrznych stosować. Skoro zaś za powiększeniem ciśnienia objętość gazu w tymże samym stosunku maleje, iloczyn przeto obu tych wielkości, o ile temperatura gazu zmianie nie ulega, zawsze pozostanie stateczny, co w formie matematycznej wyraża się wzorem $vp = C$, który prostotę lepiej jeszcze uwidatnia.

Aby więc wewnętrzną budowę powietrza odsłonić, wyjaśnić trzeba, na czem istota prężności jego polega. Newton, przyjmując, że cząstki gazów nawzajem od siebie odbiegają, wykazuje, że siła, z jaką się od siebie usuwają, winna być odwrotnie proporcjonalna od ich odległości. Zastrzega wszakże wyraźnie, że bynajmniej nie twierdzi, by cząstki gazów koniecznie jedne od drugich odbiegać musiały, zaleca tylko fizykom dochodzenie odpowiedzi na to pytanie, on zaś sam chce dać im jedynie do badań tych podnetę. Jakób Bernoulli domyślił się, że prawo Mariotte'a do pewnej tylko granicy słusznem być może, do wniosku tego dochodzi jednak na podstawie przypuszczenia, że cząstki powietrza posiadają pewną wielkość. Skoro więc przy ciągłym ściskaniu gazów dochodzą one do wzajemnego zetknięcia, objętość nie może się już zmniejszać dalej w stosunku ciśnienia.

Stulecie wszakże z górą upłynęło, zanim się polecenie Newtona spełniło, a fizycy zając się zdołali teorią stanu lotnego. Tymczasem zaś na wiek ośmnasty przypadło „odkrycie gazów“: poznano, czego bynajmniej nie przewidywano, że są substancje lotne, od powietrza atmosferycznego zgoła różne.

IV.

Aż do połowy wieku ośmnastego nie podejrzewano tedy wcale, że istnieć mogą gazy różne, tak jak są różne ciała stałe i ciekłe. Alchemicy wprawdzie przy doświadczeniach swych dostrzegali często wywiązywanie substancyj lotnych, które nieraz powodowały pęknięcie ich przyrządów, zaliczali je wszakże do swych spirytusów, czyli produktów przez dystylację otrzymywanych. Nazwę gazów, jak widzieliśmy, wprowadził Van Helmont; wyróżnił je od waporów czyli par, i rozumiał, że gaz nigdy nie może się w powietrze zamienić. W szczególności znalazł on kwas węglany, który nazywa „gaz silvestre“; wie, że gaz ten znajduje się w powietrzu, w którym ciała płonęły, że powstaje przy fermentacji cieczy alkoholowych, że wywiązuje się przy działaniu

III. HISTORIA GAZÓW.

octu na kamienie racze, t. j. węglan wapna, że w grocie psiej wyrywa się z ziemi; wspomina też i o innych gazach, jak gaz ventosum, gaz pingue, gaz siccum, gaz filiginosum. W owym wszakże czasie zasadnicze własności powietrza atmosferycznego znane jeszcze nie były, istotnej więc analogii gazów do powietrza ująć nie można było, a osłonięte w osobliwe hipotezy spostrzeżenia Helmonta nie oddziaływały zgoła na rozwój tego działu wiedzy. Również bezowocne były spostrzeżenia Boylego, który zresztą Chemii nie mniejsze, aniżeli Fizyce oddał usługi. Wiedział on, że powietrze przy paleniu ciał ulega przeobrażeniu, poznał, że wywiązuje się gaz nie tylko przez polanie wapna octem, ale także działaniem wotryolu rozcieńczonego na żelazo, zatem nasz wodór dzisiejszy; zwyczajem swym wszakże, nie zapuszczając się w ściślejsze zbadanie zjawiska, zadowolił się zaznaczeniem faktu, że powietrze można i sztucznie otrzymywać. Dopiero w wieku osmnastym obmyślił Hales metody odpowiednie do zbierania i badania gazów, zajmował się nawet niemi gorliwiej, niż poprzednicy jego, ale utożsamiał je z powietrzem atmosferycznym, od którego różnić się miały jedynie zawartemi w nich wyziewami i waporami obcego pochodzenia. Podobnie i Boerhave, w tejże samej epoce, oświadcza wyraźnie, że przy wszelkich wywiązywaniach i pochłanianiach gazów, jakie zachodzą przy rozpuszczaniu, przy paleniu lub przy innych operacjach chemicznych, natura powietrza pozostaje niezmieniona. I później jeszcze nawet, gdy wodór stanowczo już był odkryty, przeczy Baumé odrębnemu istnieniu „powietrza palnego“, a własności jego przypisuje substancjom oleistym, rozpuszczonym w powietrzu, które samo przez się jest zawsze „elementem niepalnym“.

„Czy istnieją różne rodzaje powietrza? pyta Lavoisier na wstępie swych prac; jeżeli ciało znajduje się w stanie rozprężliwości trwałej, czyż ma to wystarczać, by stanowiło rodzaj powietrza? Jednym słowem, czy różne powietrza, które nam przyroda przedstawia, lub też które wytwarzać umiemy, są to substancje odrębne, czy też tylko modyfikacje powietrza atmosferycznego?“

Już od dwudziestu wszakże prawie lat posiadała nauka na pytanie to odpowiedź. Józef Black bowiem, któremu w Fizyce zawdzięczamy odkrycie ciepła właściwego i ciepła utajonego, dowiódł w roku 1755 w sposób przekonywający, że jest gaz zgoła różny od powietrza atmosferycznego, który w stanie lotnym może istnieć zupełnie niezależnie: gazem tym był późniejszy kwas wę-

glany, dwutlenek węgla dzisiejszych chemików, dawny gaz leśny Helmona, a któremu Black nadał nazwę „powietrza stałego“ czyli „powietrza ustalonego“. Black wykazał, jak łatwo gaz ten niknie, łącząc się z innymi ciałami, jak znów występuje i przechodzi od jednego związku do innego. W szczególności zaś uzasadnił łączność, jaką on przedstawia z kaustycznością alkaliów, udowodniwszy ścisłymi ważeniami, że, wiążąc się z alkaliami i ziemiemi alkalicznymi, niszczy ich kaustyczność, substancje gryzące zmienia na łagodne. Przez działanie ognia lub kwasów odradza się znów z pierwotnymi swymi własnościami i pozostaje nienaruszony, przechodząc od potażu do magnezyi, gdy strącamy sól epsomską (nasz siarczan magnezu) przez alkali stałe (nasz węglan potasu). Doświadczeniami temi Black podał metodę kolejnego wiązania z ciałami stałymi i oswabdzania się ciał gazowych, która posłużyła następnie Lavoisierowi przy badaniach jego nad utlenianiem metali.

Odtąd znajomość różnych gazów szybko się rozwijała. W r. 1767 dowodami również niewątpliwymi uzasadnił Cavendish istnienie innego gazu nowego, „powietrza palnego“, które nazywamy teraz wodorem. I ten gaz, jak widzieliśmy, był już także znany oddawna, ale uważano go za jakąś kombinację pewnej substancji palnej z powietrzem, w którym była jakby rozpuszczona. Przeważnie jednak chwała odkrycia gazów przypada kaznodzieli presbiteryańskiemu, Priestleyowi, który w ciągu kilku zaledwie lat, od roku 1771 do 1774, odkrył najważniejsze gazy, obecnie nam znane, a przedewszystkiem powietrze zdeflogistonowane (tlen), dalej zaś powietrze flogistonowane (azot), powietrze saletrzane (dwutlenek azotu), powietrze wydobyte ze spirytusu solnego (kwas chlorowodorny), powietrze alkaliczne (amoniak). W tymże samym czasie odkrył Scheele gaz spatoryczny (fluorek krzemu) i gaz muryatyczny zdeflogistonowany (chlor). „Powietrze palne, wydające przez spalenie kwas kredowy“ (tlenek węgla) dostrzegł Lavoisier w roku 1777 przy swych badaniach nad pyroforem, a gaz błotny odkrył Volta w roku następnym.

Odkrycia te zmieniły zupełnie poglądy dawne o naturze powietrza; pojęcie pewnej substancji oznaczonej, jedynej, zawsze jednakiej, zastąpiła znajomość pewnego stanu ogólnego, stanu lotnego czyli gazowego, który przybierać może znaczna ilość ciał, jeżeli nie wszystkie.

Uwadze chemików nastęrczył się materyał obfity i bogaty,

w pierwszej wszakże chwili do mętnych teoryj dawniejszej Chemii wprowadził tylko zawikłanie większe, jak to się okazuje z nazw dziwacznych, jakie Priestley nadał gazom, których odkrycie sam przypisywał przypadkowi. Podstawą wszelkich ówczesnych poglądów na zjawiska chemiczne była jeszcze hipoteza flogistonu, wprowadzonego przed stu laty przez Beckera i Stahla, jako zasady palnej „*principium inflammabile s. ignescibile*“.—Flogiston służył przedewszystkiem do wyjaśnienia objawów palności ciał oraz zamiany metali w wapna metaliczne, czyli w dzisiejsze nasze tlenki. Flogiston ten zawierać się miał w każdym cieple palnem, a przez przybranie tej substancyi hypotecznej miały się wapna metaliczne przeobrażać w metale należyte. W miarę wszakże, jak mnożyła się obfitość faktów i spostrzeżeń, które domagały się wyjaśnienia, pojęcie flogistonu ulegać musiało przeobrażeniu.

Od czasów najdawniejszych rozumiano ogień jedynie jako żywioł niszczący, palenie było zawsze objawem tylko rozkładu, pewnego ubytku substancyi. Zwolna wszakże dostrzeżono, że nieraz po spaleniu wzrasta ciężar ciała, co przecież wręcz było sprzeczne z hipotezą flogistonu, który właśnie przy paleniu miał z ciał uchodzić. Pogodzenie tych sprzeczności sprawiało chemikom ówczesnym kłopoty nieprzewyciężone. Sądziłi jedni, że przy paleniu zachodzi proces podwójny, flogiston bowiem wprawdzie z ciał uchodzi, ale natomiast łączy się ono z materją ognia, co ciężar jego powiększa. Ale i ten pogląd utrzymać się nie mógł, skoro poznano, że metal rozżarzony waży tyleż, co zimny. Trzeba się było chwycić przypuszczenia, że flogiston nietylko jest ciałem bezwzględnie lekkim, ale nawet posiada ciężar ujemny, dopóki zatem w ciele się mieści, czyni je lżejszem. Na hipotezę tak już niedorzeczną umysły bardziej naukowe przystać nie mogły, a Guyton de Morveau starał się trudności te w inny usunąć sposób. Przyjął on, że flogiston jest gatunkowo lżejszy od powietrza, skoro więc z metalu uchodzi, pozostałe wapno metaliczne wydaje się pozornie cięższem, choć w istocie rzeczy metal prawidłowy, t. j. związek wapna z flogistonem cięższy jest, aniżeli samo wapno metaliczne. Już wszakże Boyle dostrzegł, że wapna metaliczne mają ciężar właściwy mniejszy, aniżeli metale; gdyby o spostrzeżeniu tem wiedział chemik francuski, nie podałby podobnej teoryi.

Tak więc flogiston rozwiewał się coraz silniej; teorya, która służyła chemikom przez całe stulecie, stawała się coraz bardziej niedostateczną, coraz się więcej kruszyła. Chemicy dostrzegali, że

przy przeobrażeniach ciał uchodzi lub przybywa jakaś substancja zagadkowa, niepochwytana, ale substancją tą, której im brakło, to nie był ów flogiston tajemniczy: były to gazy, tlen przede wszystkim. Odkrycie więc gazów przeinaaczyć musiało zupełnie dawną Chemię.

Trzeba było tylko do bezładnych dotąd dostrzeżeń i jakby przypadkowych odkryć chemicznych wprowadzić ścisłość dochodzeń i rozumowań, jaką się już dawno badania fizyczne zalecały. Takim reformatorem Chemii, a jak chcą inni, jej twórcą, stał się Lavoisier, cały bowiem system Chemii nowoczesnej wysnuł z prac swoich, wiążących się w jeden ciąg wnioskowań logicznych.

Stwierdziwszy przede wszystkim, że metale powiększają swój ciężar przy przeobrażaniu się w wapno, okazuje Lavoisier zarazem, że przyrost ten ciężaru jest następstwem utrwalań się, czyli wiązania pewnej ilości powietrza, a mianowicie jednej składowej jego części, tlenu, gdy pozostałość stanowi gaz odrębny, azot. Tenże sam tlen łączy się przy paleniu z fosforem, siarką, węglem, tworząc kwasy—fosforowy, siarczany, węglany, których ciężary są sumą łączących się wzajemnie substancyj. Objaw palenia się ciał nie jest zatem bynajmniej wywiązywaniem się flogistonu, zawartego poprzednio w ciałach palnych; nie jestto rozkład, ale zjawisko wręcz przeciwne, łączenie się tlenu z innymi ciałami. Żywe palenie wodoru w szczególności jest także objawem wiązania się jego z tlenem, skąd powstaje woda, która zatem także jest ciałem złożonym; samo oddychanie zwierząt jest również paleniem węgla. Ponieważ zaś palenie ciał organicznych wydaje właśnie kwas węglany i wodę, ciała te zatem składają się z węgla, wodoru i tlenu.

W ten sposób rozwija się cały układ nowej Chemii, w którym flogiston okazuje się bezużytecznym, sprzecznym nawet z istotnym przebiegiem zjawisk; miejsce jego zastępują gazy, substancje rzeczywiste, których ilość waga ocenić może. Przy wszelkich przeobrażeniach chemicznych zmienia się tylko postać materji, ilość jej pozostaje niezmienną. Zasada zachowania materji staje się naczelnym prawem Chemii, podstawą całego jej rozwoju dalszego.

Widzimy, jak ściśle wiąże się odkrycie tej zasady ze znajomością gazów. Potwierdza to sama nazwa „Chemii pneumatycznej“, jaką nowej nauce nadano dla odróżnienia od dawniej Chemii flogistycznej.

III. HISTORIA GAZÓW.

Jakkolwiek wszakże przewrót ten dokonał się z nieubłaganą logiką jasnych faktów, zdobył on uznanie dopiero wśród pokolenia nowego. A mężowie właśnie, którym „odkrycie gazów“ zawdzięczamy, którzy się zatem w tak znacznej mierze do usunięcia flogistonu przyczynili, najgorliwiej w obronie jego walczyli, Scheele i Priestley pozostali mu aż do śmierci niezłomnie wierni, Cavendish tylko, zmarł w r. 1810, rozstał się z nim u schyłku życia.

V.

Odkąd tedy, z końcem XVIII stulecia, uznaną została rozmaitość gazów, rozszerzył się też zakres badań nad stanem lotnym i dla fizyków, których poszukiwania dawniejsze do powietrza jedynie odnosić się mogły. W tym właśnie czasie uwagę ich zaprzętała żywo kwestya rozszerzalności ciał pod wpływem wzrostu temperatury, w tym więc zakresie badań fizycznych gazy występują po raz pierwszy, jako ciała z innemi równouprawnione.

Dostrzeżenie, że zmiana temperatury powoduje zmianę objętości ciał, jest nader dawne, ilościową wszakże oceną tych stosunków zajęto się dopiero w nowszych czasach; pamiętajmy bowiem, że niezbędny do badań tych termometr około roku 1740 zaledwie należytą osiągnął doskonałość. Wcześniej nawet, aniżeli innemi ciałami, zajęto się oznaczaniem rozszerzalności powietrza, która wielkością swą najwięcej uderzała i najłatwiejszą wydawała się do zmierzenia. Doświadczenia te rozpoczął w roku 1703 *A m o n t o n s*, słynny wynalazca i konstruktor przyrządów meteorologicznych; zbudował on mianowicie termometr powietrzny, który miał mu służyć jako instrument normalny do oznaczania podziałki na termometrach florenckich, napełnionych alkoholem. Otrzymana przezeń liczba jest dosyć dokładna, zredukowana bowiem na skalę dzisiejszą podaje, że powietrze ogrzewane od 0° do 100° C rozszerza się o 0,38 części swej objętości przy zerze; fizycy jednak, którzy w ciągu wieku ósmnastego prace te powtarzali, dochodzili do rezultatów różnych, a często bardzo błędnych. *P r i e s t l e y o w i*, jeżeli jego jednego tu dla przykładu przytoczymy, rozszerzalność powietrza w powyższych granicach wypadła aż 0,9375, a nadto twierdził, że wszystkie przezeń odkryte gazy co do rozszerzalności swej odstępują znacznie od powietrza.

Po stu latach dopiero takich niepewności i wątpliwości jasny

i dokładny pogląd na rozszerzalność gazów sprowadziły prace Gay-Lussaca i Daltona. Gay-Lussac wykazał najpierw, że przyczyną dotychczasowych błędów była głównie obecność wody w naczyniach używanych do pomiarów; gdy przy ogrzewaniu woda ta parowała, powiększała objętość zamkniętych gazów w niedającym się uchwycić stosunku. Dlatego baczylł troskliwie, by naczynia jego dokładnie były osuszone, badane zaś gazy wolne od wszelkiej wilgoci; stąd też liczby, jakie z oddzielnych doświadczeń otrzymywał, były między sobą zgodne, a średnia wartość, jaką wyprowadził na rozszerzalność powietrza od 0° do 100° C, 0,3750, od każdego z wypadków oddzielnych różniła się najwyżej o $\frac{1}{1000}$. Podobną liczbę otrzymał i dla innych gazów, a ostateczny rezultat swych badań wypowiedział Gay-Lussac w r. 1801 następującymi słowami: „Doświadczenia, które tu opisałem i które ze wszelką starannością wykonałem, dowodzą widocznie, że powietrze atmosferyczne, tlen, wodór, azot, amoniak, kwas siarkawy i węglany przy jednakim wzroście temperatury jednakowo się rozszerzają; rozszerzalność przeto tych ciał nie zależy od właściwej natury każdego z nich, a jak stąd wnoszę, wszystkie gazy od ciepła rozszerzają się w jednakiej mierze“.

Dalton przedmiotem tym zajmował się nawet jeszcze wcześniej, aniżeli Gay-Lussac, i pierwsze swe rezultaty ogłosił w r. 1801, a z doświadczeń następných otrzymał liczbę 0,376. Rozszerzalność wszakże gazów zrozumiał Dalton nieco inaczej, aniżeli Gay-Lussac i aniżeli zasada ta ostatecznie przyjętą została. Gdy bowiem, według Gay-Lussaca, gazy nie tylko jednakowo ale i jednostajnie objętość swą ze wzrostem temperatury powiększają, Dalton, przypisując wraz z nim jednaką rozszerzalność wszystkim gazom, twierdził wszakże, że rozszerzalność każdego gazu trwałego wzrasta w postępie geometrycznym, gdy temperatura wzrasta w postępie arytmetycznym. Pomimo to, prawo jednostajnej i jednakowej rozszerzalności wszystkich gazów otrzymało nazwę prawa Daltona i Gay-Lussaca.

W pracy swej nadmieniał Gay-Lussac, że jednostajność rozszerzalności ważniejszych gazów dostrzegł już na piętnaście lat przed nim Charles, znany głównie z zastosowania wodoru do napełniania balonów; dlatego niektórzy pisarze prawo powyższe nazwiskiem tego ostatniego fizyka oznaczają, chociaż Charles doświadczeń swych nigdy nie ogłosił. Za przykładem tym jednak nie pójdziemy, przedewszystkiem bowiem mieć trzeba na uwadze,

że oznaczanie jednego i tegoż samego prawa zbytkiem nazwisk spowodza nieunikniony zamęt, czego nie wynagradza pogoń za bezwzględną sprawiedliwością, której często niepodobna osiągnąć.

W trzydzieści lat później wzbudziła się wątpliwość co do zupełnej dokładności liczby Gay-Lussaca i Daltona, a z długiego szeregu sumiennych i nader ścisłych doświadczeń Rudberga, Magnusa, a zwłaszcza Regnaulta okazało się, że rzeczywiście należy ją nieco zmniejszyć, do 0,367. Gaz zatem, ogrzany o 1° przy zachowaniu niezmiennego ciśnienia, powiększa objętość swoją o 0,00367, czyli prawie o $\frac{1}{273}$. Jeżeli, poczynając od temperatury 0° , ogrzejemy go o 273° , podwaja objętość swoją; w temperaturze $546^{\circ} = 2 \cdot 273$ posiada objętość potrójną, w temperaturze $819^{\circ} = 3 \cdot 273$ objętość poczwórną. Jeżeli wszakże gaz ogrzewamy tak, że rozszerzać się swobodnie nie może i pomimo ogrzewania zachowuje objętość niezmienną, to przy 273° rzeczy się mają tak, jakbyśmy go ścisnęli do połowy przypadającej mu w pierwotnych warunkach objętości; na zasadzie zatem prawa Mariotte'a wzrasta w tym razie prężność jego, staje się dwa razy większa. Gdy w temperaturze 0° gaz pozostawał pod ciśnieniem atmosfery, to w temperaturze 273° , 546° , 819° posiada prężność dwu, trzech, czterech atmosfer. Przyrost ten prężności gazu wraz z jego temperaturą wypływa z połączenia praw Mariotte'a i Gay-Lussaca.

Widzimy zatem z tego, że prężność gazu zależy od dostarczanego mu ciepła, jest wyrazem jego temperatury, wraz z nią wzrasta i wraz z nią słabnie. Nie wchodząc zatem nawet w kwestyę natury gazu, nie rozbierając jego wewnętrznej budowy, zgodzić się możemy na to, że w braku zupełnym ciepła, w temperaturze, którą zupełnem już zimnem, bezwzględnem zerem nazwać możemy, prężność także niknie zupełnie i schodzi do zera. Dajmy tedy, że pewna objętość gazu, posiadająca w temperaturze 0° prężność jednej atmosfery, ulega stopniowemu oziębianiu, to przy -1° prężność jej zmniejszy się o $\frac{1}{273}$, przy -2° o $\frac{2}{273}$, a przy -273° o $\frac{273}{273}$, co znaczy, że gaz utraci już prężność swą zupełnie; nie posiada już zgoła dążności do rozprzestrzeniania się, jest bezwzględnie, zupełnie zimny. Poniżej więc temperatury -273° C już ciała dalej oziębiać nie można, jestto bezwzględne zero termometru, a temperatura od tego punktu liczona jest „temperaturą bez-

względna“, niezależną od dowolnego doboru stałego punktu termometru.

Nie wiążąc z wnioskiem tym żadnych uwag ubocznych, któreby nas z toru zbić mogły, nadmienimy tylko, że wprowadzenie pojęcia temperatury bezwzględnej dla wielu rozważań w nauce okazało się bardzo dogodne, nadając im znaczne uproszczenie. Okazuje się to przedewszystkiem w kwestyi, która nas teraz zajmuje. Poczynając bowiem od zera bezwzględnego, czyli posługując się temperaturą bezwzględną, którą oznaczmy przez T , powiedziec możemy na zasadzie prawa Gay-Lussaca, że objętość gazu v jest do temperatury tej proporcjonalna; ponieważ zaś, według prawa Mariotte'a, jest ona zarazem odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia p , pod jakim gaz zostaje, zależność tę przeto wyrazić możemy bardzo prostym związkiem matematycznym:

$$v = R \frac{T}{p}, \text{ czyli } pv = RT,$$

gdzie R oznacza pewną ilość stałą, której wielkość łatwo oznaczyć możemy. Dajmy bowiem, że w temperaturze 0° termometru zwykłego, a zatem w temperaturze bezwzględnej $T = 273$, pewna masa gazu posiada objętość v_0 pod ciśnieniem p_0 , powyższy wzór daje

$$p_0 v_0 = 273 R, \text{ skąd } R = \frac{p_0 v_0}{273}.$$

Wzór zatem $pv = RT$ jest wyrażeniem matematycznym połączonego prawa Mariotte'a i Gay-Lussaca i stanowi charakterystykę stanu lotnego, ujmuje jego własności w prosty związek algebraiczny.

Zakres tego wzoru wszakże natychmiast ograniczyć nam tu przychodzi. Dalton i Gay-Lussac nadawali prawu swemu znaczenie ogólne, rozciągając je do wszystkich gazów, we wszelkich warunkach. Późniejsze wszakże doświadczenia wykazały, że gdy przy obniżaniu temperatury gazy zbliżają się już do stanu ciekłego, do swego punktu skroplenia, odstępują w ogólności od powyższych praw zasadniczych; wzór zatem przytoczony, albo, innymi słowy, prawa Mariotte'a i Gay-Lussaca przysługują gazom jedynie w temperaturach dalekich od punktu skroplenia, a i to nawet tylko z pewnem przybliżeniem, większem lub mniejszem. Gaz, któryby się stosował bezwzględnie do zasadniczego wzoru stanu lotnego, byłby „gazem doskonałym“; gazy nasze uwa-

III. HISTORIA GAZÓW.

zać musimy za „niedoskonałe“, jakkolwiek najważniejsze gazy rzeczywiste, powietrze atmosferyczne, tlen, azot, wodór, w warunkach zwykłych znacznie się zbliżają do warunków doskonałości, wyrażonych zasadniczym wzorem stanu lotnego.

Doniosłość tego wzoru w każdym razie jest widoczna. Skoro bowiem charakter stanu lotnego daje się w sposób tak prosty wyrazić, materya przeto w stanie lotnym przedstawia najprostsze warunki bytu, a jeżeli wewnętrzną jej budowę odsłonić pragniemy, do rozwiązania tej zagadki tylko gazy pierwszy krok stanowią. Stąd obecnie teoria gazów tak zasadnicze znaczenie w Fizyce teoretycznej zajęła.

VI.

Zarówno wszakże Daltona jak i Gay-Lussaca zasługi w nauce o gazach nie ograniczają się na odkryciach powyższych.

Dalton mianowicie poznał, że gazy w jakikolwiek sposób w zetknięciu zostające mieszają się ze sobą i nawzajem przenikają, nawet w tym razie, gdy ciśnienie obu jest jednakie, albo gdy ciężar jednego gazu mógłby przeciwdziałać przenikaniu drugiego. Znaczy to zatem, że gaz w przestrzeni przez inny gaz zajętej, skoro do niej dostęp znajduje, tak się w niej rozpościera, jak gdyby ten drugi gaz tam się wcale nie znajdował. Obecność gazu jednego o tyle tylko przeszkadza dostępowi innego, że napływ jego zwalnia; ciśnienie zaś tak powstałej mieszaniny gazów, sprowadzone do danej objętości, równa się sumie ciśnień oddzielnych gazów, w przypuszczeniu, że gazy te chemicznie na siebie nie działają. Zasadę tę rozciągnął Dalton następnie i do mieszaniny par z gazami, przytaczając na poparcie tego uogólnienia, że w przestrzeni zajętej przez powietrze ciecze również się silnie ulatniają, jak przy jednakich warunkach w próżni Torricellego, gęstość zaś powietrza na prężność rozwijającej się pary wpływu nie ma żadnego. Teoria Daltona, ze względu na panujące wówczas pojęcia o prężności pary wodnej w atmosferze, napotkała u wielu fizyków nieufność, która ustała dopiero, gdy objawy ciepła lepiej rozumieć zaczęto. Wogóle Dalton, który bardzo skromnymi zaledwie rozporządzał środkami, nie znajdował uznania należytego u współczesnych mu fizyków; ze względu, że doświadczenia jego nie były z dostateczną prowadzone ścisłością, wnioski jego wydawały się zbyt pospieszne, zbyt śmiałe; następnie dopiero pomysły jego oce-

niono słuszniej, gdy poznano, że nauce zawsze właściwą torowały drogę, a poparte dokładnymi doświadczeniami wydały plon, którego zaród w sobie mieściły. Prawa mieszanin gazowych uzupełnione zostały późniejszymi badaniami nad dyfuzją gazów, gdy Graham wykazał, że szybkość, z jaką się gazy nawzajem przenikają, od ich gęstości zależy; gaz lżejszy przebiega prędzej, w stosunku mianowicie odwrotnym do pierwiastku kwadratowego ze swej gęstości. Jeżeli więc tlen miesza się z wodorem, to za każdą objętość uchodzącego tlenu napływają cztery objętości wodoru, jest on bowiem 16 razy od tlenu lżejszy. Zasada ta wiąże się wszakże z ogólną kwestyą wpływu gazów i jednakie z nią trudności i odstępstwa napotyka.

Co do odkryć Gay-Lussaca, o których tu mówić mamy, są one porządku chemicznego. W dziedzinie właśnie par i gazów Fizyka i Chemia zawsze się najściślej jednoczyły; Dalton i Gay-Lussac, jak niegdyś Boyle, jak Lavoisier, obu tym naukom zarówno i wiernie służyli. W roku 1805 poznał Gay-Lussac, że gdy tlen łączy się z wodorem, tworząc wodę, wiąże się zawsze jedna objętość pierwszego z tych gazów z dwiema objętościami drugiego, a stosunek ten utrzymuje się przy wszelkiej temperaturze. W dalszym ciągu prac nad tym przedmiotem mógł on już w roku 1808 przedstawić Towarzystwu filomatycznemu ważne prawo, że istnieje zawsze stosunek bardzo prosty między objętościami gazów, które się ze sobą łączą, a nadto zachodzące przy tem zmniejszenie objętości również według pewnego prawa ma miejsce. Tak, dwie objętości wodoru łączą się z jedną objętością tlenu, wydając dwie objętości pary wodnej, jedna zaś objętość chloru z jedną objętością wodoru wytwarzają dwie objętości chłorowodoru. Wolumentryczne to prawo Gay-Lussaca jest dla Chemii teoretycznej doniosłego bardzo znaczenia, jeżeli je zestawimy z atomistyczną hipotezą Daltona; rzecz wszakże szczególna, że Dalton, istotny twórca teorii atomistycznej w Chemii, odkryć Gay-Lussaca ze swą teorią nie związał, a nawet słuszności ich zaprzeczał, dlatego też i ogół chemików później się dopiero z niemi zaprzyjaźnił.

Już wszakże w r. 1811 adwokat włoski, a następnie profesor Fizyki w Turynie, Avogadro w sposób prawdziwie genialny przeczytał w tem prawie Gay-Lussaca, że wszystkie gazy, pod jednakim ciśnieniem i w jednakiej temperaturze, w jednakiej objętości jednaką ilość cząsteczek zawierają. Cząsteczki te są to

III. HISTORIA GAZÓW.

najmniejsze grupy atomów, cząsteczek elementarnych, jak je *Avogadro* nazywa, które istnieć mogą niezależnie.— Rozprawa *Avogadra*, ogłoszona w „*Journal de Physique*“, nie zwróciła na siebie zgoła uwagi fizyków i chemików, a nawet gdy w trzy lata później *Amperè*, niezależnie od fizyka włoskiego, opierając się na ogólnem zachowaniu gazów, podobną teorię w formie listu do *Bertholleta* rozwinął, nie zdołał na pogląd ten uwagi ogółu zwrócić. W czasie, gdy teoria atomistyczna dopiero się rozwijała, gdy zaledwie zaczęto się oswajać z pojęciem, że stosunki, w jakich się ciała łączą, odpowiadają stosunkom ciężarów ich najdrobniejszych cząsteczek, podobne wyróżnienie cząsteczek najdrobniejszych fizycznie i najdrobniejszych chemicznie wydawało się chaotycznym, gmatowało raczej nową naukę, aniżeli ją wyjaśniało. Dokładne wyróżnienie cząsteczek od atomów na późniejsze dopiero czasy przypadło.

W prawie *Avogadra* wybija się wyraźnie, że w stanie lotnym materya do badań naszych jest najdostępniejsza i najłatwiej nam tajniki swe odsłonić jest gotowa. Skoro bowiem w jednakich objętościach gazów jednaka ilość cząsteczek się mieści, ciężary przeto właściwe gazów wiodą bezpośrednio do oznaczenia stosunku ciężarów ich cząsteczek, do ciężarów molekularnych. Ciężar właściwy wodoru względem powietrza jest 0,0695, ciężar właściwy tlenu 1,1056,—tlen zatem od wodoru jest 16 razy cięższy, a że litr tlenu takąż samą mieści w sobie ilość cząsteczek, co i litr wodoru, cząsteczka przeto tlenu jest też od cząsteczki wodoru 16 razy cięższa; dalsze zaś rozumowania, na tejże zasadzie oparte, wniesć pozwalają, z ilu atomów składają się cząsteczki ciała, które w stan gazowy przeprowadzić umiemy.

Odkrycia, o których w ustępie tym mówiliśmy, dzieliły w ogólności los wspólny, że przez współczesnych niedostatecznie rozumiane uznanie późno zaledwie zyskały. Zwolna atoli i stopniowo przygotowywały podstawę do teorii gazów, w której dopiero istotne wyjaśnienie i uzasadnienie znalazły.

VII.

Nie samo wszakże tylko badanie gazów do ich teorii doprowadzić mogło; wymagała ona innego jeszcze przygotowania, a mianowicie przeobrażenia panujących w pierwszych dziesiątkach lat ubiegłego stulecia pojęć o ciepłe. Stan bowiem skupienia

ciał zawisły jest od doprowadzanego im ciepła, wyobrażenia zatem, jakie o czynniku tym mamy, wiążą się bezpośrednio z zagadką budowy materji.

Hypoteza, że ciepło jest pewnego rodzaju substancją, że jest odrębną jakąś materją, rozwinęła się, a przynajmniej utrzymała w końcu XVIII wieku, gdy poznano objawy ciepła właściwego i ciepła utajonego, oraz nauczono się tak szczęśliwie ilościowo je oceniać. W społecznym rozwoju Chemii pogląd ten znalazł silne poparcie, przez analogię bowiem do zjawisk, które powszechną ściągają uwagę, zaczęto przypuszczać, że ciepło, jak każda inna substancja, może się z ciałami łączyć chemicznie, lub przez rozkład od nich się uwalnia. Substancja ta, której wprawdzie ująć nie można było, ale która pomimo to ilościowo ocenić się dawała, otrzymała nazwę cieplika, *caloricum*. Opowiada to Lavoisier w swoim Traktacie elementarnym Chemii (1789): „Gdy de Morveau, Berthollet i de Fourcroy wraz ze mną zajęli się poprawieniem języka chemicznego, oznaczyliśmy przyczynę ciepła, ów płyn tak nadzwyczaj sprężysty, który je wytwarza, nazwą cieplika“. W pogoni za dowodami materialności cieplika starano się nawet oznaczyć jego ciężar, a Marat, który, zanim go wielka rewolucya odwołała z pracowni naukowej i od zajęć lekarskich, gorliwie się badaniami fizycznymi zajmował, wywnioskował ze swych doświadczeń, jak przed nim zresztą Boyle i Buffon, że ciała rozgrzane cięższe są aniżeli zimne. Rumford wprawdzie, pomimo najstaranniejszych ważeń, nie zdołał dostrzedz żadnego przyrostu ani ubytku ciężaru ciał przez ogrzewanie, nie zachwiało to wszakże pojęć o materialności cieplika; zgodzono się tylko, że nie ma on żadnego ciężaru, że jest płynem nieważkim. Ciepłik więc podzielił los innych ówczesnych płynów hypotetycznych, światła, elektryczności, magnetyzmu; wyłączony z zakresu materji zwykłej, przeszedł do imponderabiliów, do płynów nieważkich. Istnienie tych imponderabiliów wydawało się fizykom, z nielicznymi wyjątkami, tak niewątpliwem, jak istnienie zwykłej, ważkiej materji, a u nas Radwański nie wahał się nawet całej Fizyki „Nieważnictwem“ nazwać.

Pojęcie takie o ciepłe wiązało się łatwo z kwestją budowy materji, a w szczególności z trojakim stanem jej skupienia. „Gdy by siły te (t. j. siły przyciągające)—mówi Biot w sławnym swym podręczniku Fizyki—same tylko istniały, cząstki ciał zbliżyłyby się ku sobie aż do zetknięcia. Okazuje się więc stąd ogólna przyczyna

wewnętrznego odpychania, która równoważy bezustannie wszelkie siły przyciągające; przyczyna ta we wszystkich istniejąca ciałach, jak się zdaje, polega na istocie ciepła“. W ten więc sposób pojmowano i prężność ciał gazowych, stanowiącą najistotniejszą ich własność; każda cząstka materyalna, według Laplace'a, utrzymuje pewną ilość ciepła, a wzajemne odpychanie tych zawartości ciepłikowych powoduje odpychanie się cząstek materyalnych, za czem idzie prężność gazów.

Teoretyczne te zresztą kwestye dla fizyków ówczesnych mało przedstawiały powabu. W początku wprawdzie XIX w. stara zagadka materyi i jej sił żywo zaprzętała umysły; gdy Jacobi w roku 1801 podczas ogólnej audyencyi przedstawiony został Napoleonowi, rzucił mu ten pytanie: „Qu'est ce que la matière“ i nie czekając odpowiedzi, odwrócił się od zdumionego i ogłuszonego filozofa. Pod wpływem wszakże szybko mnożących się odkryć doświadczalnych fizycy wypuścili z uwagi zagadnienia filozoficzne; zaczęli je nawet przyjmować z lekceważeniem i pogardą, gdy ówczesna Filozofia natury, rozwiawszy się w rojenia jałowe, w zupełną niemoc popadła.

Stopniowo jednak i panująca hipoteza płynów nieważkich napotkała trudności. Z jednej stony rozwój teoryi undulacyjnej światła, która cały obszar zjawisk tłumaczyła nie na podstawie pewnych zasadniczych własności materyi, ale jako objawy ruchu, z drugiej zaś widoczna łączność elektryczności z objawami chemicznymi, świetlnymi i magnetycznymi, coraz groźniejsze wybijać w niej zaczęły wyłomy. Gromadzący się zasób tych odkryć wytworzył więc nową zasadę „przeobrażeń siły“, a gdy się okazało, że siły przyrody mogą w najrozmaitszych warunkach przechodzić jedno w drugie, płyny nieważkie ustąpić wreszcie musiały.

Fizykom przedstawiło się teraz zadanie nowe. Jeżeli rzeczywiście siły przyrody takiej przemienności ulegać mogą, należało z matematyczną ścisłością uzasadnić, że przy wszelkich tych przeobrażeniach ilość siły pozostaje niezmienną, że nigdy przy tych procesach żadna jej część nie ginie, ani się też nie wytwarza. Idea zatem zmienności siły bezpośrednio doprowadzić musiała do prawa zachowania siły, którą uznano wreszcie jako naczelną zasadę wszelkich teoryj fizycznych. Zarazem wszakże samo pojęcie siły i jej stosunku do materyi stać się musiało jaśniejszem. Jeżeli przez siłę rozumiemy zasadniczą, elementarną własność materyi, to własność ta jest ilościowo nieograniczona i żadnej zmianie co do swej

wielkości ulegać nie może; siła żywa natomiast ciał pozostających w ruchu jest wielkością oznaczoną i skończoną, która się powiększać lub zużywać może. Prawo przeto zachowania siły nie wiąże się bezpośrednio z zasadniczymi własnościami materji, ale tyczy się tylko działań ograniczonych, jakie owe własności powodować mogą, zależnie od rozkładu materji w przestrzeni. Dlatego też w tem ostatniem znaczeniu zaczęto się posługiwać nazwą energii, a zamiast o zachowaniu siły mówimy dziś ściślej o zachowaniu energii. Pod przewodnictwem tej zasady łączą się we wspólną całość odrębne działy dawnej Fizyki, ustala się pojęcie o jednolitości materji i jedności siły. W tym zaś ustępie dziejów nauki znowu gazom wybitna przypadła rola. Prawo bowiem zachowania energii wypłynęło bezpośrednio z równoważności pracy mechanicznej i ciepła, a sposobność do ujęcia i obliczenia tej równoważności nastąpiło najpierw zachowanie się gazów.

W końcu już XVIII wieku wiedziano, że przy nagłem rozrzedzeniu powietrza zgęszczonego doznaje ono oziębienia, ogrzewa się zaś przy silnem ściskaniu, czego najoczywistszy dowód dawało krzesiwko pneumatyczne, wynalezione podobno w r. 1803 przez robotnika fabryki broni w Etienne en Forez. Ścisłe badania nad ogrzewaniem gazów wykazały wyraźniej tę zależność między zmianą ich objętości a zużyciem ciepła. Gdy bowiem gaz ogrzewamy w warunkach takich, że może swobodnie się rozszerzać, wymaga on znaczniejszego nakładu ciepła, aniżeli w przypadku, gdy jest zamknięty w naczyniu tak, że zachować musi objętość niezmienną. Różnicę tę rozumiano w ten sposób, że w drugim razie dostarczane ciepło służy tylko do podwyższenia jego temperatury, gdy w przypadku pierwszym zużywa się i na jego rozszerzalność. Gay-Lussac okazał nadto doświadczalnie, że gdy gaz przepływa z jednego balonu do innego, równej wielkości i zupełnie pustego, to w naczyniu pierwszym o tyleż właśnie stopni się oziębia, o ile się w drugim ogrzewa, a to tem bardziej potwierdzało, że zachodzące tu objawy cieplikowe tylko od zmiany objętości gazu zależą, a nie od jakichkolwiek wewnętrznych w nim przeobrażeń.

Przyczyna wszakże tych zjawisk pozostawała utajoną, gdyż panujące pojęcia o ciepłe przysłańiały okoliczności, na które uwagę zwrócić należało. Przy ściskaniu bowiem gazu wykonywamy pracę, przy rozpościeraniu się gaz pracę zużywać musi na pokonanie oporu zewnętrznego. Wybijała się tu już zatem łączność między pracą mechaniczną a ciepłem, możność wzajemnego ich prze-

obrażania, nastęczały się nawet dane do ujęcia stosunku liczebnego tych przeobrażeń. Dopóki wszakże ciepło uważane było za płyn nieważki, za substancją odrębną, która była źródłem sił sobie tylko właściwych, zrozumienie tej zależności było niemożliwe, wypłynąć mogło jedynie z jaśniejszego pojęcia siły, jako energii, jako zdolności do wykonywania pracy. Pojęcie takie rozwinął dopiero Juliusz Robert Mayer, rozważając „Siły przyrody nieożywionej“ (1842) oraz „Ruchy organiczne“ (1845), a na podstawie tych uwag ogólnych ustalił zasadę równoważności pracy mechanicznej i ciepła.

Nazywając ciężkość siłą, mówi Mayer, rozumiemy przez nią przyczynę, która, nie ulegając bynajmniej zmniejszeniu, wywołuje działania, a stąd żyjemy błędne wyobrażenia o przyczynowym związku rzeczy. Aby ciało spaść mogło, do tego potrzebne jest poprzednie jego podniesienie niemniej, aniżeli jego ciężkość, nie można przeto tej ostatniej wyłącznie spadku ciał przypisywać. W podobnym znaczeniu jest i ciepło siłą, daje się bowiem przeobrażać w działania mechaniczne, a ilość ciepła, jaką wyłożyć należy dla osiągnięcia danego efektu mechanicznego, oznaczyć można doświadczeniem; gotową zaś do tego drogę nastęczają nam objawy przy ogrzewaniu gazów dostrzeżone. Jeżeli bowiem, jak zwykle, za jednostkę ciepła, czyli za ciepłostkę, przyjmujemy ilość ciepła, potrzebną do ogrzania jednego kilograma wody o 1° C, to, według Regnaulta, do takiegoż samego ogrzania kilograma powietrza potrzeba 0,2375 ciepłostki. Aby zatem o 1° ogrzać metr sześcienny powietrza, którego ciężar wynosi 1,293 kilograma, wyłożyć trzeba $1,293 \times 0,2375 = 0,3070$ ciepłostki. Dzieje się tak w razie, gdy powietrze zachowuje prężność stałą, czyli, gdy ze wzrostem temperatury swobodnie się rozszerza; jeżeli zaś zatrzymuje objętość niezmienną, to, jak wiadomo z licznych oznaczeń, wymaga 1,41 raza mniejszego nakładu ciepła; nasz zatem metr sześcienny powietrza ogrzeje się o 1° C kosztem tylko $0,3070 : 1,41 = 0,2177$ ciepłostki. Różnica zaś w obu tych razach, t. j. $0,3070 - 0,2177 = 0,0893$ ciepłostki pochodzi stąd, że w przypadku pierwszym wykonaną ma być praca na przewyciężenie oporu zewnętrznego, którą również łatwo obliczyć możemy; opór ten bowiem stanowi ciśnienie atmosferyczne, wynoszące 10 344 kg. na pole jednego metra sześciennego, a przy ogrzaniu o 1° gaz rozszerza się o $\frac{1}{273}$ swej objętości. W rozważanym tu przeto przypadku praca ta wynosi $10\,344 \times \frac{1}{273}$ czyli 37,85 kilogrammetrów. Na wykona-

nie tej pracy zużyło się 0,0893 ciepłotki, jedna zatem ciepłotka wytworzyć może $37,85 : 0,0893$, czyli 424 kilogrammetry.

Mayer z rachunku swego otrzymał wprawdzie liczbę nieco mniejszą, opierać się bowiem musiał na danych dawniejszych, niedosyć dokładnych, co wszakże nie uwłacza bynajmniej doniosłości jego wywodów, któremi pierwszy uzasadnił równoważność pracy mechanicznej i ciepła. Cały ten rachunek polega oczywiście na przypuszczeniu, że wszystek nadmiar ciepła przy pierwszym sposobie ogrzewania gazów zużyty został tylko na wykonanie pracy zewnętrznej. Wywołało to w kilka lat później, w roku 1848, zarzut ze strony Joule'a, że Mayer zgoła do przypuszczenia tego upoważniony nie był, potwierdziły je bowiem dopiero jego własne, t. j. Joule'a doświadczenia. Spór ten zresztą zakończył się rychło, gdy Mayer wykazał, że dawniejsze już doświadczenia i znane własności gazów usprawiedliwiały dostatecznie jego metodę. Znacznie później dopiero rozogniła się walka w kwestyi pierwszeństwa Mayera i Joule'a, gdy Tait zasługi pierwszego obniżyć chciał aż do nicości, a Dühning w pamflocie „Robert Mayer, Galileusz dziewiętnastego stulecia“ nie wahał się Joule'a nazwać naśladowcą, który tylko z pomysłów Mayera skorzystał. Historia wszakże bezstronna, umiejąca się wzniesić ponad zawisłe stronnice i narodowe, składa hołd wdzięczności obu tym mężom, którzy różnemi drogami cel jednaki osiągnęli, kładąc podstawy nauki o zachowaniu energii. Nam należało tu tylko wyrazić, że gdy szło o uzasadnienie tego naczelnego prawa dzisiejszej Fizyki, gazy przedstawiały już materiał gotowy, po który tylko genialną myślą sięgnąć należało. I Joule zresztą śród wielu swych metod doświadczalnych, któremi równoważnik mechaniczny ciepła oznaczył, odwoływał się także i do gazów, a ogrzewanie się ich przy zgęszczaniu oraz oziębianie przy rozrzedzaniu dały mu (1845 r.) dowód najpewniejszy, że ciepło nie może być substancją, ale należy je uważać za objaw ruchu cząstek, z których się ciało składa.

VIII.

Z takim wszakże pojmowaniem istoty ciepła wiąże się bezpośrednio i wyobrażenie o budowie materji; skoro bowiem ciepło jest objawem ruchu najdrobniejszych cząstek, należy przeto w ogólności ciała wazkie uważać jako układy cząsteczek, w bezustannym pozostające ruchu. Zasada zachowania energii znowu więc

wysuwała na widownię dawną zagadkę budowy materji, ale teraz dopiero dozwalała oprzeć ją na pewnym gruncie ścisłych badań,— mechaniczna teoria ciepła dawała początek mechanice cząsteczek. W nowym zaś tym obszarze wiedzy znowu do gazów przede-wszystkiem zwrócić się należało.

W ciałach bowiem różnego stanu skupienia, w ciałach stałych, ciekłych i lotnych, ruch ten cząsteczkowy w rozmaity dokonywać się musi sposób; ze wzrostem wszakże temperatury podsyca się coraz silniej, staje się coraz żywszym, zachodzić przeto musi kres, gdy cząsteczki pod wpływem tych ruchów wyrrywają się już zupełnie z obrębu wzajemnych na siebie oddziaływań, gdy siły międzycząsteczkowe wpływ swój tracą. Różne zaś właściwości gazów, któreśmy wyżej rozbieżeli, prowadzą do wniosku, że stan taki w gazach już zachodzi; cząsteczki ich nie mogą już pozostawać w ruchu drgającym pod wpływem cząsteczek sąsiednich, ale — swobodne od wszelkich przyciągań i odpychań — posuwają się w przestrzeni po drogach prostoliniowych, dopóki przynajmniej przez uderzenie o cząstki inne z kierunku tego wytracone nie zostaną. W gazach więc ruchy cząsteczkowe wolne są od zawiłości nieuniknionych w innych stanach skupienia, a stąd nauka, posuwając się zawsze od rzeczy prostszych do bardziej zawiłych, od gazów budowę cynetycznej teorii materji rozpocząć musiała.

Istotną cechą gazów jest ich prężność, a zatem ciśnienie, jakie wywierają na otaczające je przegrody. Według więc pojęć dawniejszych była prężność następstwem wzajemnego odpychania się cząstek, była dążnością do rozpościerania się po przestrzeni jak najrozleglejszej; w teorii nowej gazów pojmujemy ciśnienie to jako wynik ruchu cząsteczek, które w prostoliniowym swym biegu bezustannie uderzają o ograniczające je ściany.

Niegdyś już Daniel Bernoulli w swej „Hydrodynamicie“ (1738 roku) starał się w ten sposób wyjaśnić własności gazów ruchami ich cząstek; pojmujemy wszakże, że pogląd taki rozwinąć się mógł dopiero wspólnie z nową teorią ciepła. Rzeczywiście też pierwsze zasady teorii mechanicznej czyli raczej cynetycznej gazów wysnuł ze swych badań doświadczalnych Joule, a w kilka lat później, w r. 1856, opracował je dokładnie Krönig, nauczyciel gimnazjalny w Berlinie, powszechne zaś uznanie zdobyła nowa ta teoria gazów, gdy poglądy Kröniga przyjął i rozwinął Clausius w słynnej swej pracy „O rodzaju ruchu, który ciepłem nazywamy“.

Teorya naukowa nie może poprzestać na ogólnikowym twierdzeniu, że prężność gazów jest następstwem uderzeń cząsteczek; wtedy dopiero za uzasadnioną uznać ją możemy, gdy ze wszystkich szczegółów poznanych ścisłą nam zdać sprawę potrafi. Prężność zaś gazów, jak wiemy, od ich objętości i temperatury zawisła, ulega prawom Mariotte'a i Gay-Lussac'a; te dwie zatem okoliczności teoryi gazów przedewszystkiem wyjaśnić należało,—i rzeczywiście poradziła ona sobie z tem łatwo. Nie potrzebowała bynajmniej odwoływać się do szczególnych wybiegów, wyjaśnienia żądane wypływały bezpośrednio i bez naciągania z zasadniczych jej podstaw.

Wyobraźmy sobie w przestrzeni ograniczonej zamkniętą pewną ilość gazu, którego cząstki, rozbiegając się na wszystkie strony, bombardują bezustannie ściany i wywierają stąd na nie ucisk, ciśnienie pewnej, oznaczonej wielkości. Dajmy teraz, że ściany te zbliżą się ku sobie nawzajem tak, że gaz znajdzie się w obszarze szczuplejszym; w przestrzeni zmniejszonej cząstki częściej uderzać będą o przegrody, a skutkiem uderzeń obfitszych wywierane przez nie ciśnienie ulegnie również wzmożeniu, i to w stosunku takim, w jakim zmniejszenie objętości nastąpiło, a zasada ta właśnie prawo Mariotte'a stanowi.

Jeżeli znów, pozostawiając objętość gazu niezmienną, poddamy go ogrzewaniu, to ze wzrostem temperatury podsyca się ruch jego cząstek, staje się żywszym,—cząstki częściej potracają o ściany, uderzenia są obfitsze. Proporcjonalnie więc do wzrostu temperatury wzmagą się prężność gazu, a tym sposobem teoretyczne wyjaśnienie zyskuje prawo Gay-Lussaca. — Jeżeli dalej dwa gazy, w jednakiej temperaturze i jednaką zajmujące objętość, jednakie wywierają ciśnienie, trzeba, aby i jednaką posiadały ilość cząstek, które uderzeniami swemi ciśnienie to powodują, a to znów stanowi prawo Avogadra, trzecią zasadniczą własność gazów.

Ogólnikowe to rozumowanie staje się ścisłym, gdy jest wyrażone w mowie matematycznej, która dowodzi też, że wszystkie te wnioski zachowują moc swoją, jakiegokolwiek postaci są zbiorniki, mieszczące w sobie gazy, i w jakimkolwiek kierunku cząsteczki przebiegają. Jeżeli więc zgodzimy się na takie pojmowanie istoty gazów, to jeszcze nasuwa się pytanie, czy można ocenić szybkość, jaką ożywione są cząsteczki w tym dla nas niedostrzegalnym ruchu, który ma być źródłem wszelkich własności gazów,—a i na to

III. HISTORIA GAZÓW.

pytanie teorya daje odpowiedź przy pomocy prostych nawet zasad Mechaniki elementarnej. W samej rzeczy, skoro znamy prężność gazu, który przy danej temperaturze i objętości oznaczoną gęstość posiada, to dane te wystarczają do obliczenia, z jaką szybkością biedz muszą cząsteczki, by uderzenia ich sprawiały żądaną działalność, to jest znaną nam prężność. Rachunek taki uczy, że gdy mamy do czynienia z tlenem, to cząstki jego w temperaturze topliwości lodu przebiegają z szybkością 461 metrów na sekundę; jest to chyżość bardzo wielka, przewyższa bowiem prędkość, z jaką się głos rozchodzi, a dorównywa prędkości pocisku wyrzuczonego z działa. Wzrasta ona wszakże jeszcze, gdy gaz jest lżejszy; aby bowiem cząstki mniejszą posiadające masę takż sam efekt sprawiać mogły, obdarzone być muszą ruchem żywszym. Dla wodoru, który ze wszystkich jest najlżejszy gazów, otrzymujemy szybkość czterokrotnie znaczniejszą, dochodzącą zatem 1844 metrów, dwu kilometrów niemal na sekundę. A gdy gaz się rozgrzewa, gdy temperatura jego wzrasta, wzmaga się i szybkość biegu jego cząstek.

Nie możemy wszakże wyobrażać sobie, by w całej masie gazu tak zupełna panowała jednolitość, by wszystkie jego cząstki z zupełnie jeduaką i niezłomną poruszać się miały szybkością. W naturze zachodzi niewątpliwie pod tym względem rozmaitość, chociażby bowiem w pewnej chwili istniała zupełna w ruchach cząstek jednostajność, to chociażby tylko dla wzajemnych potracą się cząsteczek równowaga taka rychło musiałaby się zerwać, przy czem cząstki jedne na szybkości zyskują, inne znów tracą. Stąd to, nawet w tym razie, gdy w masie danego gazu jednaka wszędzie panuje temperatura, różne cząstki biedz mogą z prędkością różną, przytoczona zaś wyżej szybkość jest to tylko szybkość średnia, przeciętna, a Maxwell, genialny fizyk angielski, który z powodzeniem prowadził dalej pracę przez Clausiusa nad teorią gazów podjętą, rozebrał dokładnie rozkład prędkości cząsteczkowej w gazach i wykazał, jaka śród wszystkich tych prędkości jest najprawdopodobniejsza i najczęściej zachodzi.

IX.

Tak uzasadniona teorya gazów sprowadzała niewątpliwie przewrót w dotychczasowych pojęciach fizycznych; gdy bowiem poprzednio wszelkie objawy materji tłumaczyła Fizyka działaniem

przyciągających i odpychających sił międzycząsteczkowych, nowa teoria usuwała konieczność sił takich, wyjaśniając własności gazów ruchami materji, istniejącymi wiecznie i bezustannie. Pomięto to przyjętą została bez oporu istotnego, wspierała się bowiem na uznanej już teorii mechanicznej ciepła, zwycięstwo zaś stanowcze zapewniła sobie licznymi tryumfami, które dozwoliły jej coraz głębiej wdzierać się w tajniki niedostępnego dla zmysłów naszych świata cząsteczek i atomów.

Mówiliśmy dotąd, że cząsteczki gazów ulegają ruchom jedynie postępowym, prostolinijnym; rzeczywiście wszakże gazy w przyrodzie istniejące okazywać mogą większą zawilóść swych ruchów cząsteczkowych, do tego stanu idealnego zbliżają się tylko mniej lub więcej. Dawniej już, jak widzieliśmy, zachodziła potrzeba wyróżniania gazów doskonałych i niedoskonałych; według Clausiusa tedy odstępstwa od doskonałego stanu lotnego pochodzić mogą stąd, że cząstki obok swego ruchu postępowego posiadają i ruchy drgające, lub też, że i wewnątrz cząsteczek zachodzą jeszcze ruchy dalsze, drugorzędne. Domysł ten prowadzi więc bezpośrednio do wniosku, że cząsteczki, które Fizyka jedynie za punkty materialne uważała, przedstawiać mogą budowę zawiłą, obejmować mogą dalsze jeszcze części składowe, jakby atomy drugorzędne i dalsze, które ze swej strony w obrębie cząsteczek właściwe sobie ruchy odbywają. Na tym punkcie schodzi się niejako Fizyka z Chemią, która poprzednio jeszcze dla innych względów atomy nawet tak zwanych pierwiastków za bryłki złożone uważać zaczęła.

Inna znów wątpliwość nastęrczała się teorii gazów ze względu na olbrzymią szybkość, z jaką przebiegać mają cząsteczki w prostolinijnym swym ruchu. Widzieliśmy bowiem, że szybkość ta wynosi całe setki metrów na sekundę, niewielką zatem przestrzeń zwykłej izby, dajmy, cząsteczka powietrza lub innego ciała lotnego przebiedzie może w ciągu sekundy kilkadziesiąt razy, z pewnemi zaś objawami ruch tak gwałtowny niezgodnym się wydaje. Gdy bowiem dwa gazy pozostają ze sobą w zetknięciu, mieszają się ze sobą, przenikają się nawzajem, ulegają, jak mówimy, dyfuzji, a mieszanie się takie gazów pojmujemy oczywiście dobrze, jako następstwo bezpośrednie prostolinijnego ruchu ich cząstek. Dla niesłychanej wszakże prędkości tego biegu dyfuzya taka winnaby następować natychmiast, w czasie niewypowiedzianie krótkim; spostrzeżenia natomiast ucją, że zachodzi ona zwolna tylko, a zu-

pełne przeniknięcie się dwu gazów wymaga czasu stosunkowo długiego. Sprzeczność ta zatem między powolnością dyfuzji a nagłością ruchów cząsteczkowych domagała się wyjaśnienia, na które też niedługo czekać przyszło. Cząstki biegną wprawdzie z szybkością bardzo wielką, ale pomimo to nader słabe jest prawdopodobieństwo, by którakolwiek z nich drogę nieco znacznieszą przebyła; zbyt gęsto bowiem są rozmieszczone, przeszkadzają sobie, potracają się nawzajem, zbijają się z toru, a stąd każdej z nich otwiera się drobniotka zaledwie droga swobodna. Wobec tych przeszkód nieprzeliczonych, przy takim mnóstwie trudności, dziwić się już nie będziemy, że, pomimo takiej chyżości biegu cząsteczek, dyfuzja gazów dokonywa się opieszale, że gazy słabo przeprowadzają ciepło, że w ogólności wszelki ruch cząsteczkowy stosunkowo powolnie się tylko w nich rozchodzi.

Są i inne jeszcze okoliczności, które również na zagmatwanie tych ruchów wpływają. Gdy dwa prądy gazowe przebiegają w sąsiedztwie z prędkością różną, mogą się łatwo cząsteczki prądu jednego przedzierać do drugiego, skąd szybkość jednych i drugich ulega zmianie, jedne się przyspieszają, inne opóźniają, a cały ten proces nazywamy tarcie wewnętrznem gazów. Tarcie więc to zależy od względnej szybkości cząstek, ale zależy też od natury gazu i od długości określonej wyżej drogi swobodnej; stąd więc na podstawie wzorów matematycznych, wyprowadzonych przez Maxwella, skoro wielkość tarcia wewnętrznego w różnych gazach oznaczono doświadczalnie, można było obliczyć przeciętną długość tej drogi swobodnej, a w dalszym ciągu nawet dojść, jak często spotykać się mogą w biegu swym cząstki, na ile uderzeń narażona jest cząstka każda w ciągu sekundy. Z rachunków takich wypada, że te przeciętne drogi swobodne są rzeczywiście niewypowiedzianie drobne, nie przechodzą bowiem tysięcznych nawet części milimetra, a odpowiednio takim drobiazgom wzajemne spotkania są niesłychanie częste, każda cząstka w ciągu sekundy po kilka bilionów razy o swe sąsiadki potraça.

Po przeprowadzeniu rachunków tak śmiałych pozostawało już teorii cynetycznej gazów podać jeszcze tylko ocenę wielkości samych cząsteczek i ich odległości wzajemnych. I do rozwiązania tego zadania, które się niezbyt dawno zgoła niemożebnem wydawało, nastąpiły metody, a na ich podstawie twierdzić można, że w obszarze jednego centymetra sześciennego mieści się cząsteczek $21 \cdot 10^{18}$, to jest liczba 21 z długim ciągiem 18 zer, gdy wza-

jemna odległość dwu oddzielnych cząsteczek wynosi od trzech do czterech milionowych części milimetra. Jakkolwiek więc odległości te niesłychanie są drobne, są one olbrzymie w porównaniu z wymiarami samychże cząsteczek, na zasadzie zaś prawa Avogadro liczby te wszystkim służą gazom.

Przytoczone tu wymiary cząsteczek zbyt są nikłe, byśmy je bezpośrednio ująć mogli; aby więc ocenę ich udostępnić, użyto porównania. Wyobraźmy sobie, że kropla wody, z cząsteczek takich złożona, rozrasta się do obszaru całej bryły ziemskiej,—wtedy same te cząsteczki przybrałyby wielkość, dajmy, jabłek.

Jakkolwiek rezultaty takie obliczeń budzić w nas mogą nieufność, są one następstwem dokładnych i głębokich rozważań, które wszakże trudno odsłonić z ich formy matematycznej i na język potoczny przełożyć. Poprzestać więc musimy na tym pobieżnym szkicu dzisiejszego okresu nauki o gazach, która zresztą przechodzi dopiero początkowe stopnie swojego rozwoju, coraz nowe bowiem odsłaniają się w dziedzinie tej widnokreśli i nowe następują badania. Z pomiędzy fizyków, którzy pracę podjętą przez Kröniga, Clausiusa i Maxwella dalej prowadzą, znani są zwłaszcza W. Thomson, Loschmidt, O. E. Meyer, Boltzmann, van der Waals, — w szeregu zaś tych prac napotykaemy i badania fizyków polskich, Zygmunta Wróblewskiego, którego śmierć przedwczesna dotkliwą była dla nauki stratą, Augusta Witkowskiego, Władysława Natanson, a w dziele ostatniego z wymienionych autorów: „Wstęp do Fizyki teoretycznej“ czytelnik z trudnościami języka matematycznego oswójony znajdzie dokładny wykład teorii gazów.

X.

Na ostatnie też czasy przypada jeden jeszcze wypadek doniosłego znaczenia w historii gazów, a mianowicie ostatecznie ich pokonanie, sprowadzenie ich do stanu ciekłego, czyli ich skroplenie.

Ta jednak walka z lotnością gazów, poskromienie najoporniejszych między niemi, wiąże się bezpośrednio z udoskonaleniem metod wywoływania znacznego zimna; pozostawiamy przeto rzecz tę do jednego ze szkiców dalszych: „Na kresach ciepła i zimna“, i teraz poruszając jej nie będziemy.

Szkic nasz historyczny nie może być zresztą pełnym obrazem

rozwoju nauki o gazach, nie daje się ona bowiem wyodrębnić z ogółu badań fizycznych i chemicznych, pozwala nam wszakże ocenić znaczenie, jakie gazy dla nauki współczesnej przedstawiają.

Stan lotny materji najdostępniejszy jest do badań, zarówno fizycznych jak i matematycznych, a zalety te następczą się w każdej dziedzinie nauki. Widzieliśmy już wyżej, jakie ułatwienia znajduje chemik przy oznaczaniu ciężarów atomowych i cząsteczkowych ciał, gdy je w stan lotny przeprowadzić może. Tak samo też prawa pochłaniania światła w jasny i pewny sposób wykazane zostały głównie dla stanu lotnego materji, a analiza spektralna odsłania nam skład ciał niebieskich w tym razie tylko, gdy są to bryły gazowe lub gazową otoczone atmosferą.

Jeżeli zaś o filozofię materji idzie, doniosłość teoryi gazów nie ogranicza się do tej tylko kategorii ciał, do lotnego stanu wyłącznie. Powodzenie bowiem, jakie teorya ta osiągnęła, budzi nadzieję, że metoda jej rozważań da się odnieść i do innych, bardziej zawiłych stanów materji. Widzieliśmy wyżej, że zasadnicze własności gazów, wyrażone w prawach Mariotte'a i Gay-Lussac'a, dają się wyrazić prostym bardzo związkiem matematycznym; według tego wyprowadził w ostatnich czasach van der Waals wzór nieco ogólniejszy, który służy już nietylko dla gazów, ale wyraża zarazem własności cieczy, jakoteż tego stanu pośredniego między cieciami a gazami, który występuje, gdy gaz poddany jest ciśnieniu powyżej swej temperatury krytycznej.

„Nowa, a dobrze już znana teorya cynetyczna gazów, — wyrzekł William Thomson, otwierając posiedzenia sekcji matematycznej na zjeździe Stowarzyszenia brytańskiego w Montreal 1884 roku, — jest krokiem tak ważnym do wyjaśnienia przez ruch statycznych na pozór własności materji, że niepodobna powstrzymać się od myśli zdobycia kiedyś pełnej teoryi materji, teoryi, w której wszystkie jej własności rozpatrywane będą jako objawy ruchu wyłącznie“.

Gazy więc, choć tak długo przed okiem badaczy się kryły i tak późno w nauce miejsce zajęły, obecnie tajniki swe najłatwiej nam odsłaniają.

IV.

PRZED SKLEPEM MECHANIKA.

UWAGI LUŻNE O ZNACZENIU PRZYRZĄDÓW W NAUCE.

Przed składem rycin, przed „Włochem“, jak dawniej mówiono, błysnęły mi dwa stare obrazki litografowane, z lat dzieciennych dobrze mi pamiętne, przedstawiające śmierć sprawiedliwego i śmierć grzesznika. Naiwne te malowidła w sposób poglądowy dobitnie ujawniają korzyści cnoty i zgubne skutki występku; zatrzymują przechodnia, — chodź i ucz się — mówią do niego. Zawsze też, od rana do wieczora, przygląda się im gromada widzów, a wśród niej znajdzie się zawsze ktoś, co z malowideł tych czerpie temat do żywej perory. Najczęściej będzie to niewiasta, która, jakby wynagradzając sobie zakaz — *mulier taceat in ecclesia*, tu na chodniku głosi nauki moralne, a te jej zdania z katechizmu wyrwane, strzępy z kazań zapamiętane, znajdują zawsze uważnych słuchaczy, których miny skruszone świadczą, że poglądowy ten wykład serca ich do głębi porusza.

Za przykładem tej pobożnej niewiasty pójść sobie pozwalam, czytelników przed sklepem mechanika zatrzymując.

Na wystawie jego rozłożone przyrządy zwracają przecież uwagę naszą, jak obrazki „Włocha“, można przy nich na chwilę przystanąć. Nie dla tego, by przyrząd jeden po drugim kolejno opisywać, ale sklep mechanika jest jakby uzewnętrznieniem widomem nauki współczesnej; przy pomocy przyrządów jego buduje się wiedza przyrodnicza, Fizyka zwłaszcza, która już samym swym olbrzymim w czasach naszych rozrostem daje dowód, że należyte do budowy gmachu swego wzniosła rusztowanie i właściwe do poznania natury wykryła drogi. Przed wystawą mechanika nasuwają się pytania o tem rusztowaniu i o tych drogach; od przyrządów samych myśl mknie łatwo do celów, jakim one służą.

Zapewne, byłoby przyzwoiciej zaprosić czytelnika wprost do gabinetu fizycznego i z katedry prawić; tam jednak wstępu nie mamy, a katedry pozajmowali inni. Pozostajmy więc na chwilę przed owym sklepem mechanika, gdzie rozprawić możemy swobodniej, aniżeli w gabinecie fizycznym, nieskrępowani porządkiem wykładu systematycznego i ścisłości naukowej.

I.

Nie zawsze, jak dziś, był sklep mechanika nauce potrzebny; bez przyrządów obywatela się długo Fizyka.

W czasie, gdy się Fizyka rozpoczęła, posiadał już człowiek niewątpliwie obfity zasób wiadomości fizycznych. Były to pierwsze spostrzeżenia, dokonane wtedy, gdy ledwo co siłą swą duchową ponad przyrodę otaczającą wybijać się zaczął i uporeczywie z nią walki o utrzymanie bytu swego staczać musiał; były to wynalazki proste, które dały początek rzemiosłom i sztukom, narzędzia, broń, wozy, których wyobrażenia przechowały nam napisy i rysunki przedwieczne, asyryjskie, egipskie, których szczątki znajdujemy dziś jeszcze w grobach dawnych, w jaskiniach, w wykopaliskach. Fizyka powstała dopiero, gdy wysoko już w cywilizacji posunięty człowiek uczuł potrzebę uporządkowania faktów poznanych, gdy w następczących mu się zjawiskach łączność spostrzegać zaczął, gdy objawy przyrody objaśnić zapragnął i o przyczyny ich zapytał.

Fizyka starożytna jest prawie wyłącznie Fizyką grecką. Indowie, Chaldejczycy, Egipcjanie posiadali wprawdzie pewną znajomość przyrody; umysły wszakże narodów wschodnich, grozą bóstw ujarzmione, rozplýwały się w spekulacjach teologiczno-mistycznych i nie zdołały wznieść się do pojęcia prawidłowości w naturze. Swobodny dopiero duch grecki w objawach świata otaczającego umiał się dopatrzeć związku przyczynowego, niezależnego od wpływów nadprzyrodzonych, a tem samem w Grecji dopiero zrodzić się mogła nauka przyrody, Fizyka. W Fizyce greckiej tkwią już zarody wszystkich dzisiejszych działów nauki, znane bowiem były grekom nawet najprostsze objawy magnetyczne i elektryczne; zarodki te wszakże u nich się nie rozwinęły, istotnej znajomości przyrody i oni zdobyć się nie zdołali. Nie dla braku dostatecznej potęgi umysłowej, której przecież tak świetne dowody w Geometrii złożyli, ale stąd jedynie, że starożytni nie wykryli

właściwej drogi, która do rozumienia natury prowadzić mogła, nie posiadali istotnej metody badań.

Fizyka grecka była pierwotnie filozofią natury. Jest to młodzieńczy w dziejach okres, i z tą młodzieńczą butą i pewnością, która na przeszkody nie zważa i powolnie, stopniowo kroczyć nie lubi, ale woli wzbijać się w górę i orlim wzrokiem świat obejmować od końca do końca, pragnęła Fizyka grecka z pewnych założeń dowolnych, z ogólnych, z góry przyjętych poglądów, wysnuć prawidłowość przyrody i jednym rzutem myśli zagadkę całą świata rozwiązać. Pierwszym z tych mędrców greckich, o przyrodzie filozofujących, jest Tales, najdawniejszy fizyk grecki. Główną zasadą wszechrzeczy jest dla niego woda, wszystko jest z wody i wszystko w wodę znów się obraca. Pogląd taki Talesa potwierdza może prawdopodobne przypuszczenie, że źródła jego nauki pochodzą z Egiptu, który żywność swą jedynie wodom Nilu zawdzięczał.

Szczęśliwszym w spekulacjach swych był Pytagoras, opierał się bowiem nie tyle na substancji zasadniczej, ile raczej na porządku wszech rzeczy, na ich liczbie i mierze, jakkolwiek bowiem liczba miała dla niego znaczenie mistyczne, mogła go choćby przypadkowo tylko do uchwycenia prawidłowości zjawisk doprowadzić, jak o tem świadczą wykryte przezeń stosunki liczebne tonów muzycznych.

Anaksagoras rozmaitość ciał opiera na nieskończonej rozmaitości cząstek nadzwyczaj drobnych, a spółczesny mu Empedokles sprowadza substancje zasadnicze do czterech żywiołów: ziemi, wody, powietrza i ognia. Leucyp i uczeń jego Demokryt słyną jako twórcy nauki o atomach, które różnić się mają między sobą, nie jakościowo, jak u Anaksagoras, lecz tylko postacią, położeniem i porządkiem, w ustawicznym nadto pozostając ruchu.

Duch grecki miał osobliwą zdolność tworzenia hipotez, a rozwijał je tak obficie, że wszystkie teorie nauki nowoczesnej powiązać się dają ze złudnymi rojeniami starożytnych. Z wybujałością tych hipotez szła razem i pogarda dostrzeżeń, a Plato, wielbiciel Matematyki czystej, lekceważy nawet Astronomię praktyczną. Astronomów zalicza wprawdzie do mędrców, ale odtrąca astronomów rzekomych, którzy zajmują się obserwacją wschodu i zachodu gwiazd, lub innych podobnych zjawisk; istotnymi astronomami są dla niego ci raczej, którzy zastanawiają się nad ośmiu

sferami niebios i nad wielką harmonią wszechświata, co jedynie tylko godnym jest przez bogów rozjaśnionego umysłu ludzkiego.

Najwyższego kresu rozwoju swego osiąga grecka filozofia natury u *Arystotelesa*. Góruje on niewątpliwie ponad wszystkimi poprzednikami swymi olbrzymią wiedzą i więcej niż oni liczy się z faktami dostrzeżonemi, ale do rozpatrywania przyrody stosuje też samą metodę filozofowania, a spekulacja prowadzi go zawsze do błędnych rezultatów. W przestrzeni pustej, która jest jedynie negacją materji, naucza *Arystoteles*, niema różnorożności miejsca, a tem samem jest w niej niemożliwy ruch, z ruchem bowiem łączy się pojęcie różnorożności w przestrzeni. Poszukując zasad rzeczy zmysłowych, napotykamy tylko cztery antytezy pierwotne, dające się wyróżnić czuciem, to jest ciepło i zimno, suchość i wilgotność; są to elementarne własności materji. Ponieważ zaś sprzeczności łączyć się z sobą nie mogą, kombinacje tych własności przeto wytwarzać mogą tylko cztery substancje elementarne, a zatem: gorący i suchy ogień, gorące i wilgotne powietrze, zimną i wilgotną wodę, oraz zimną i suchą ziemię. Substancje te są to żywioły, z których się ogół ciał tworzy. Ziemia jest to żywioł bezwzględnie ciężki, ogień bezwzględnie lekki, powietrze i woda są ciężkie lub lekkie, stosownie do tego, z jakim elementem są połączone. Stąd to i wszystkim ciałom właściwa jest ciężkość lub lekkość, dążą więc na dół ku ziemi, lub w górę ku niebu. Są to ruchy naturalne, które trwają, dopóki gwałtownie nie będą powstrzymane; nie są wszakże jednostajne, a tem samem nie są doskonałe. Doskonałym jest tylko ruch kołowy i wieczysty, a dla urzeczywistnienia go istnieje żywioł piąty, eter, z którego składa się niebo, „*quinta essentia*“, sfera gwiazd stałych; planety są już zmieszane z substancjami ziemskimi, bo ruchom im brak zupełnej jednostajności. Ziemia, jako żywioł najcięższy, poruszać się nie może i spoczywa w środku Świata. O biegu ciał spadających mniema *Arystoteles*, że prędkość spadku jest proporcjonalna do ich ciężaru, że zatem ciało dwa razy cięższe spada dwa razy prędzej. Więcej trudności nastęrczają mu ruchy gwałtowne; dziwi się, że ruch ciała rzuconego trwa jeszcze, choć rękę opuściło, sądzi więc, że pozostawia ono za sobą przestrzeń pustą, a wpadające tam powietrze napiera je coraz dalszym naciskiem. Cała Mechanika *Arystotelesa* utyka na nieszczęśliwym przypuszczeniu o ciałach bezwzględnie i względnie ciężkich lub lekkich; z zasady tej wynika, że woda nie jest ciężka względem ziemi, ani powietrze względem

wody, a stąd woda nie może cisnąć na ziemię ani powietrze na wodę. Aby więc wytłómaczyć podnoszenie się wody w pompie, odwołać się musi do dalszego przypuszczenia, że natura lęka się próżni, do słynnego „horror vacui“, jakkolwiek wie, że powietrze jest ciężkie i nawet próbuje je ważyć.

Urywki te Fizyki Arystotelesa dostatecznie błędność jej wykazują. Największy z filozofów starożytnych pozostawił potomności same tylko fałsze fizyczne. Źródłem tak uderzającego niepowodzenia nie jest brak dostatecznej podstawy faktycznej, ale błędność obranej metody. Arystoteles nie odwracał się wprawdzie od rzeczywistości, gromadził zasób dostrzeżeń, ale dążył zawsze do poszukiwania pojęć ogólnych, prowadzących do wyjaśnienia całości. Cel ten, wytłómaczenie natury przez logiczne wywody z pewnych zasad naczelnych, przeprowadził w sposób tak konsekwentny, że dzieło jego słuszny budzić musi podziw; pomimo to Fizyka jego runęła tak doszczętnie, że z niej kamień nie ostał na kamieniu.

Praca mędrców greckich jałową nie jest i straconą nie została zupełnie, złożyła bowiem świadectwo stanowcze, że znajomości przyrody człowiek z umysłu swego wysnuć nie zdoła. I w najnowszych wszakże jeszcze czasach łudzili się filozofowie, że drogą rozumowania filozoficznego istotę przyrody odsłonić potrafią; tem mniej więc Arystoteles na zarzut zasługuje, gdy w jego czasach brakło jeszcze uzasadnionych powodów do powątpiewania, że obrana przezeń droga do celu prowadzić nie może.

Wraz z przeniesieniem się nauki greckiej z Aten do Aleksandryi zmienia się charakter Fizyki, rozpoczyna się nowy dziejów jej okres, z filozoficznej staje się matematyczną. Jak prąd jej poprzedni streszcza się w osobie Arystotelesa, tak najwybitniejszym przedstawicielem kierunku nowego jest Archimedes, największy matematyk starożytności, o którym Ciceró wyrażał się z zachwytem, że posiadał geniusz większy, aniżeli to być może z naturą ludzką zgodnem. Dwa wprawdzie tylko zdobył on odkrycia, dwa tylko poznane prawa przekazał czasom dalszym: prawo równowagi drażka i prawo ciał zanurzonych w cieczach, ale zasady te przetrwały niewzruszone i na całą przyszłość bez zmiany pozostaną.

W obu swych dziełach fizycznych, o równowadze płaszczyzn i o ciałach pływających, zachowuje Archimedes metodę matematyczną od początku aż do końca; opiera się na pewnych twier-

dzeniach z góry przyjętych, na pewnych założeniach, jakby na pewnikach, które są same przez się widoczne, a stąd drogą wnioskowania matematycznego coraz dalsze wyprowadza twierdzenia. W teorii drążka założenia te przyjmują, że wielkości jednakowo ciężkie, w jednakich odległościach od punktu podpory, pozostają w równowadze, gdy zaś w różnych przypadają oddaleniach, w równowadze się nie utrzymują, ale wielkość dalej się od punktu podpory mieszcząca opada ku dołowi. Nauka znów o ciałach pływających polega na zasadach, że ciecz we wszystkich swych częściach jest jednostajna i ciągła, że w każdej cieczy część mniej uciskana usuwana jest przez część bardziej uciskaną, i że każda część jest uciskana przez ciecz nad nią będącą

Pisarze nowsi często Archimedes a pierwszym fizykiem nazywają. Jeżeli mamy na uwadze zdobyte przezeń rezultaty, trzeba się na to zgodzić; zdanie to wszakże jest niesłuszne, gdy mamy na uwadze i metodę fizyczną, to jest wyprowadzanie praw na podstawie obserwacji i doświadczeń. Badania fizyczne i mechaniczne budzą w nim zajęcie jedynie ze względów matematycznych i sam uważa je tylko jako zastosowanie Matematyki. Obrane przezeń zasady są już rezultatami dostrzeżeń, jakkolwiek tak prostych i powszednich, że przybierają pozór pewników koniecznych, oczywistych. Mędrcy starożytni doświadczeń nie prowadzili, dlatego też obok Mechaniki, a raczej Statyki tylko, mogła się w starożytności rozwinąć jedynie Optyka jeszcze, a przynajmniej pewne jej działy, które również z prostych i bezpośrednich wynikają dostrzeżeń. Ale podobnież jak Filozofia, tak też i Matematyka nie może sama przez się Fizyki wytworzyć, dla swych wywodów bowiem musi najpierw materyał posiadać. Z punktu zatem widzenia Fizyki nowożytnej zarówno Archimedes, jak i Arystoteles, nie są fizykami; Matematyka wszakże drogą pewną i ścisłą wnioskowania swe jedne z drugich wysnuwa, gdy Filozofia na każdym kroku narażona jest na zboczenia i pomyłki, a tem się tłómaczy uderzająca sprzeczność między rezultatami prac Arystotelesa i Archimedes a.

Początek Fizyce nowożytnej daje dopiero wprowadzenie metody doświadczalnej, uznanie, że jedynem źródłem naszej znajomości natury, otaczającego nas świata, jest doświadczenie. Początkiem tym doświadczalnym różni się wiedza nowożytna od nauk znanych w starożytności i wiekach średnich, które się na podstawie Organonu Arystotelesa rozwijały. Dawna metoda sylogi-

styczna uczyła łączyć między sobą pojęcia już gotowe, ale nie wskazywała, jak się nowe pojęcia tworzą i odkrywają. Rozwój wszakże nauki polega nie na przedstawianiu w postaci wniosków coraz odmiennych tego, co już wiemy, ale na zdobywaniu wiadomości coraz nowych; potrzebna była droga nie dowodzenia rzeczy znanych, ale odkrywania i wynajdowania rzeczy nieznanych, a tą właśnie jest metoda doświadczalna. Odrodzenie nauki w czasach nowożytnych rozpoczyna się szczęśliwym stosowaniem obserwacji i indukcji w badaniach astronomicznych Kopernika, Tycho Brahe i Keplera; ale pierwszym eksperymentatorem, pierwszym i istotnym przedstawicielem metody doświadczalnej był Galileusz, którego badania nad spadkiem ciał dają początek Fizyce obecnej. W poszukiwaniach tych wybija się duch nauki nowożytnej, który usuwa na plan dalszy pytanie, dlaczego ciała spadają, a przedewszystkiem wykryć usiłuje, jak ciała spadają, jak ruch ten się dokonywa, wedle jakiego odbywa się prawa. Odpowiedź na pytanie to dać może doświadczenie tylko, które też odąd staje się początkiem każdego badania natury. Zwrot ku doświadczeniu sprowadził Fizykę na grunt realny, rzetelny; dał jej treść istotną.

Doświadczenie wszakże naukowe na innym mieści się stopniu, aniżeli doświadczenie pospolite, czyli dostrzeganie zwykłe, które jest sprawą naszą powszednią i stanowi niejako dziedzictwo całej ludzkości. Dostrzeżenia niejasne, pobieżne, prowadzić mogą jedynie do wyobrażeń mylnych, rzekomych; dlatego doświadczenia, na których możnaby opierać wnioski naukowe, muszą być pewne i dokładne. W dawniejszej Filozofii — mówi Bacon, który dla nowej metody nowy Organon ułożył — postępowano z doświadczeniem, jak w państwie, gdzieby działania polityczne przedsiębrano nie według listów i rad wiarogodnych posłów, ale według pogłosek miejskich. Doświadczenie pospolite jest jedynie macaniem w noc ciemną; stosowniejsza wszakże czekać dnia, lub latarnię zapalić. Przez doświadczenie zagnaliśmy przyrodę do odpowiedzi na pytanie, jakie jej zadajemy, ale odpowiedź umóżebnić i ułatwić jej musimy przez wywołanie zjawiska w warunkach odpowiednich, przez staranne usunięcie wszelkich możliwych źródeł błędu. Takie zaś wykonywanie doświadczeń wymaga przyrządów, narzędzi pomocniczych; odtąd więc też pracownia fizyka zawiązać musiała stosunki z warsztatem mechanika.

II.

Tego, co się dziś przyrządem naukowym nazywa, potrzebowali w starożytności właściwie astronomowie tylko. Już warunki pierwotnego bytu koczowniczego zmusiły człowieka do obserwacji gwiazd, a gdy dokładniej położenie ich oznaczyć zapragnął, zbudować musiał przyrządy miernicze. Sfery armilarne i astrolabia dawnych astronomów są to też właściwie kątomiry tylko, do pomiarów na sferze niebieskiej zastosowane, a prostym tym przyrządom Astronomia wczesny swój rozkwit zawdzięcza. Łudzi nas Matejko, przedstawiając na obrazie swym Kopernika z rękoma ku niebu wzniesionymi, jakby świadomość porządku układu słonecznego objawieniem mu spłynęła w zachwycie nagłym; Thorwaldsen słuszniej dzieło wielkiego astronoma ocenił, dając posagowi jego mierniczą sferę obrączkową w rękę. Widzieliśmy, że pracę tę astronomów filozofowie w pogardzie mieli; podobnież gromi Plato i współczesnego Pytagorasowi Archytasa z Koryntu, że do rozwiązywania zadań geometrycznych przyrządy mechaniczne stosował. Pomimo biegłości mechaników ówczesnych, nauka z usług ich korzystać nie chciała. Własne nawet swe wynalazki mechaniczne, jak twierdzi Plutarch, lekceważył Archimedes tak dalece, że o nich zgoła w dziełach swoich nie wspomina, chociaż miały to być maszyny osobliwe i zdumiewające, — prócz bloków złożonych, szrub bez końca, szrub wodnych, zwierciadeł palących, jeszcze sfery odtwarzające bieg ciał niebieskich, potężne katapulty i balisty wojenne, przeobrażone legendą późniejszą w olbrzymią rękę żelazną, która z murów Syrakuzy chwytiała okręty rzymskie i o skały nadmorskie rozbijała. W czasie późniejszym nieco zasłynęły w Aleksandryi pierwsze przyrządy, w których znalazła zastosowanie prężność powietrza i pary, jak wytrysk Herona i eolipila, a już na samym schyłku nauki greckiej, gdy wielkie jej niegdyś ognisko dogasało, tłumione naciskiem prądów nieprzyjaznych, na ostatniej karcie Fizyki starożytnej zapisał się wynalazek areometru. Jest to wprawdzie skromny tylko probierz do cieczy, ale dotąd dobrze nam służy. Chciano wynalazek ten przypisać Hypatyi, pięknej protoplastce przyrodniczek dzisiejszych, ale historia, tak niegrzecznie szperająca po starych szpargałach i dydaktycznych poematach greckich, stanowczo temu zaprzeczyła, chociaż istotnego wynalazcy nie wyszukała.

Wiemy tylko, że areometr służył pierwotnie do celów lekarskich; ówczesni już zatem medycy, prócz typowego instrumentu, którego wynalazcą miał być ibis święty, czy też inny ptak długoszyjny, a który rozślawił Molière, posiadali i inne przyrządy fizyczne, ale gabinet fizyka z kresem wieków starożytnych nie był jeszcze zaopatrzony.

Nie z bogacili go i arabowie, którzy, wspaniałością nauki greckiej olśnieni, metod jej zmieniać nie myśleli. Przewyższyli wszakże mistrzów swoich starannością i ścisłością pomiarów, o czym świadczy zwłaszcza waga, zbudowana przez Alkhaszaniego, i dla szczególnych swych zalet nazwana przez niego wagą mądrości. Zresztą na cały ciąg wieków średnich przypada zaledwie zaznajomienie się z własnościami igły magnesowej i wprowadzenie okularów; co dało początek szlifierniom szkła, które się następnie stać miały ogniskami ożywionej działalności technicznej. Nieskrępowana więzami nauki ścisłej fantazyja pisarzy ówczesnych wylewa się w pomysłach niedorzecznych, dziecinnych. Robią oni wynalazki, ale na papierze tylko; opisują maszyny, przyrządy, które działać mają w sposób najdziwaczniejszy, ale nie troszczą się bynajmniej, czy to wszystko da się wykonać, urzeczywistnić, pozostawiają mózół ten praktykom, rzemieślnikom. Czytelnikom przypadają do smaku utwory takie, jak romanse za czasów naszych. W ten sposób Fizyka wyradza się w Magię, nauka zlewa się z baśnią, a średniowieczny okres nauki,

„Gdy mnich przez szyby patrząc barwione,
„Światu nadawał tych szyb kolory“,

o całe stulecie jeszcze przetrwał epokę, od której historia dzieje nowożytne liczyć zaczyna.

Z brzaskiem dopiero wieku szesnastego świta jutrzienka nowożytnej wiedzy przyrodniczej. Nauka oswobadza się od ucisku scholastyki, zdziera zasłonę zakrywającą jej świat rzeczywisty, nieci światło dokoła, rozgląda się, obserwuje. Drobną dotąd zasób wiadomości rozrasta się, innoży; poglądy rozjaśniają się, utworowana droga badań rozpościera się szeroko. Uderzony widokiem robujanej lampy kościelnej, zawieszonej na długiej linie, biciem własnego tętna równoczesność wachnięć wyczytuje Galileusz i kładzie tem podstawy Dynamiki, Mechaniki nowej; społecznie ukazuje się w Anglii pierwsza praca naukowa o magnetyzmie i elektryczności, a z Holandyi przybywa luneta, która zaraz daje moc nauce Kopernika i tajemnice światów dalekich odsłania.

Optyka rozszerza swe granice przez odkrycie praw załamania światła, a ujawnienie ciśnienia atmosferycznego prowadzi do budowy barometru i pompy powietrznej, umożliwia badania dalszych własności gazów i skłania do dostrzeżeń meteorologicznych. W pokrewnych działach wiedzy toż samo tryska ożywienie; Fizjologia osiąga pierwsze swe wielkie odkrycie podwójnego obiegu krwi, Alchemia przeradza się w Chemię.

Tak doniosłe odkrycia i wynalazki, tak niesłychany dotąd w nauce postęp, tak nagły jej przewrót i rozwój wznieca wszędzie zapał do doświadczeń; uczeni wiążą się w stowarzyszenia, by współdziałaniem wzajemnem trudności badań eksperymentalnych pokonywać. Przyrząd staje się pomocą niezbędną każdego fizyka, każdego badacza natury. Pierwotne te przyrządy pierwszych przodowników nauki doświadczałnej są skromne jeszcze bardzo, doskonałą się stopniowo, ale historia ich zespala się z dziejami nauki i nie da się od niej wyodrębnić samodzielnie. Jak murzyn, gdy zadanie swe spełnił, odejść już może, tak też i przyrząd naukowy ustępuje, skoro dzieła swego dokonał, gdy powiódł do wielkiego może odkrycia, gdy doniosłe prawo natury wykazał. Odtąd wartość już historyczną tylko posiada. W starych ogniskach naukowych szczątki tych instrumentów dawnych przechowują się, jakby relikwie szacowne. W wielkich muzeach, które zgromadziły zabytki wieków ubiegłych, gdzie uderza nasze oczy pełny obraz życia, zwyczajów, zabiegów pokoleń minionych, znajduje się też często i kryjówka niewielka, mieszcząca nieliczne takie pamiątki naukowe, przyrządy tak różne od dzisiejszych, prostsze, roboty rzemieślniczej, bez zawiłości żadnej i bez ścisłości dziś tak niezbędnej, niekiedy zdobne ornamentami, przypominającemi ówczesne wyroby ślusarskie lub tytuły druków starych. Gdy jednak przed zbiorem tym drobnym stoisz, a wzrokiem rzucasz dokoła na otaczające cię mnóstwo spłowiałych szat pańskich i zardzewiałych zbroi rycerskich, spokojnych sprzętów domowych i narzędzi tortur okrutnych, przypominasz sobie owo proroctwo Wiktora Hugo: „ceci tuera cela“, to zabije tamto, stąd bowiem dochodzi cię powiew przyszłości, masz przed sobą początek życia nowego, zaród, do wielkiego rozwoju przeznaczony. Gdy i ponad nami przejdą stulecia dalsze, gdy miejsce nasze na Ziemi zajmą pokolenia odległe, muzea, które czasy nasze odtworzyć zechcą, na miejscu najokazalszem, najwybitniejszym, dzisiejsze przyrządy naukowe rozłożą.

W drugiej połowie wieku siedmnastego nauka doświadczała na męźniej, postępuje dalej, a dawno upragniony wynalazek zegarów i rozszczepienie światła na barwy są to najwybitniejsze zapewne okresu tego trofea. Wiek ośmnasty bardziej do Matematyki należy, ale udoskonalenie maszyny elektrycznej nową kategorią przyrządów gabinet fizyka zapełnia i nową podniętą zapał powszechny do doświadczeń elektrycznych budzi. Maszyna elektryczna wydobywa się poza ściany pracowni fizycznej; elektryzują się wszyscy, w salonie i w budzie jarmarcznej, podziwiają blask i trzask iskry elektrycznej, w której właśnie zdrobniały obraz pioruna dostrzeżono. Poza tą wrzawą elektryczną spokojniej rozwijają się inne działy Fizyki. W szczególności zaś wykończenie termometru dało wtedy dopiero możność dokładnego badania objawów ciepła, za czem poszło rychło i udoskonalenie maszyny parowej, która zyskuje już dzisiejszą swą postać i rozpoczyna tryumfalny, zwycięski swój pochód. Spółcześnie na schyłek wieku ośmnastego przypada i nagły rozwój Chemii, która przez wprowadzenie ściślejszych badań fizycznych zdobywa trwałą i mocną podstawę naukową.

Jakkolwiek tedy doniosłą i podziwu godną była już praca minionych lat dwustu, stanowi ona wszakże prolog tylko, przygrywkę, przygotowanie do tego olbrzymiego i wspaniałego rozwoju, jaki oczekiwał wiedzę przyrodniczą w naszym stuleciu. Jakby jego zapowiedź, u otwierających się wrót wieku dziewiętnastego zawitał stos galwaniczny. Nie oceniony w pierwszej chwili dostatecznie, nabiera on w ciągu stulecia znaczenia coraz wybitniejszego, coraz bardziej górującego, i zapełnia gabinet fizyka coraz liczniejszym orszakiem zawisłych od niego przyrządów, z których każdy coraz bardziej zdumiewający stanowi wynalazek. Jedne po drugich następują tak szybko, tak nieprzerwanie, że jeszcze nie zdążyliśmy się z jednym oswoić, gdy nas już nowy olśniewa. Te elektromagnesy i induktory, elektrometry i galwanometry, telegrafy i telefony, maszyny magneto-elektryczne i dynamo-elektryczne, lampy żarowe i lampy łukowe, te rury puste i dziwacznie pokręcone, gdzie wytwarzają się osobliwe objawy świetlne i skąd wybiegają te promienie zagadkowe, same niewidzialne, a które nam wewnątrz ciała naszego rozpatrzeć pozwalają, same już dostateczne składają świadectwo, jak doniosłe, podstawowe stanowisko zdobyły sobie przyrządy w nauce. A gdy obok tych aparatów elektrycznych rozłożymy wszelkie inne przyrządy fizyczne, astro-

nomiczne, meteorologiczne, chemiczne, fizyologiczne, przekonamy się, jak bogato uposażone są dzisiejsze pracownie naukowe, jak zasobny być winien sklep mechanika, by żądania te zaspakajać.

Jeżeli trudną byłoby rzeczą napisanie historii przyrządów, to miałyby kłopot nie mniejszy, ktoby wszystek ten ogrom rozłożyć chciał na kategorie oddzielne, w pewną ująć je klasyfikację. Przedewszystkiem mają one to na celu, by wzmódc działalność zmysłów naszych, by braki ich, niedostatki, słabości zastąpić, wynagrodzić. Gdy rozglądamy gwiazdy, na niebie nocnem rozsiane, dostrzegamy wprawdzie, że jedne mniej, inne więcej są nad poziom wzniesione, ale gdy dokładnie oznaczyć chcemy położenie każdej z nich na sklepieniu, oko w kątomiar uzbroić musimy. Tak samo nie wystarczają zmysłowe wrażenia nasze do oceny ciężarów lub temperatury ciał różnych, — odwoływać się musimy do wagi, do termometru. Zmian ciśnienia atmosferycznego nie odczuwamy nawet zgoła, chociaż są one źródłem wszelkich objawów meteorologicznych, — pytać o nie musimy barometru. Są to wszystko przykłady przyrządów mierniczych, bez których żadne badanie naukowe nie mogłoby się rozpocząć. Ale i inaczej jeszcze są zmysły nasze ograniczone. Gdy dokoła nas brzmią dźwięki orkiestry, jakżeż wprawno go trzeba ucha, by w zawilosci tej, w tym splocie tonów każdy oddzielnie wyróżnić; ale analizę taką dźwięków ułatwiają nam rezonatory, działające tak wiernie, że samogłoskę każdą rozbieierają na tony pojedyncze, które się na właściwe jej brzmienie składają. Bardziej jeszcze pod tym względem upośledzone jest oko, rozmaitość bowiem barw wzajem mieszanych w jednolite łączy wrażenie; rozdziela je wszakże spektroskop, rozszczepia każdy promień świetlny i ze składających go smug barwnych odsłania nam naturę ciała, które go wysłało. Działalność oka i tem nadto jest ograniczona, że nie na wszystkie otwarte jest promienie, siatkówka nasza wrażliwa jest na pewną ich tylko, nierozległą kategorię; poza fioletem tęczy rozpościerają się jeszcze promienie słoneczne, już dla nas niewidzialne. Widzi je jednak płyta fotograficzna, chwytą je i nam odsłania. Odkryła nawet w ten sposób na niebie mgławice, któreby bez jej pomocy zawsze dla nas utajone pozostały. Ale i w szczupłym zakresie dostępnych mu promieni jest oko nasze ograniczone, jakby zastosowane tylko do wymiarów wielkości ciała naszego odpowiadających, nie dostrzega przedmiotów zbyt drobnych i zbyt dalekich; granice te rozsunęły nam dopiero mikroskopy i teleskopy. Pierwsze odsłoniły nam misterną

budowę ciała naszego i wydobyły z kryjówek twory najdrobniejsze, w których ród ludzki poznał najgroźniejszych swych wrogów; drugie zapełniły przestrzeń milionami światów, wykryły mgławice, z których się słońca rodzą. Bez pomocy maszyny elektrycznej i stosu galwanicznego nie znalazłbyśmy nawet zgoła zjawisk elektrycznych, gdyż nie posiadamy zmysłu, któryby nam o nich bezpośrednio świadomość dawał. Podobnież i pompa powietrzna sprowadza zjawiska, któreby bez niej nigdy się nie ujawniły, dobrowolnie bowiem przyroda nie następuje nam próżni, a fizycy dawni samej nawet możebności istnienia próżni przeczyli.

Doskonalenie przyrządów wiąże się ściśle z postępem nauki; są to czynniki wzajem sprzężone, tak, że każde istotne ulepszenie przyrządu do nowych odkryć prowadzi, a każdy postęp nauki pomysły nowych przyrządów nasuwa. Podziwiamy słuszną genialność badaczy, którzy tajemnice przyrody prostymi środkami przenikali, odsłaniając nam nowe dziedziny badań; ale proste takie środki u wstępu tylko do nauki, do pewnej gałęzi wiedzy wystarczać mogą. Do wykrycia praw zasadniczych ruchu wahadłowego dostateczny był ciężarek na sznurku zawieszony, ale by wahadło nieść mogło pomoc przy badaniach postaci Ziemi, by przydatnem się stało do ujmowania wszelkich odstępstw od prawidłowego działania siły ciężkości w różnych miejscach, przeobrazić się musiało w przyrząd zawiły i ściśły. Pryzmat szklany w ciemnej izbie rozszczepił już promień światła na składowe jego części barwne, ale, by z barw tych odczytywać skład chemiczny brył niebieskich, trzeba było spektroskop zbudować.

Pierwotne pompy powietrzne złożyły wprawdzie zdumionym widzom świadectwo o istnieniu próżni, ale gdy rozrzedzenie gazów tysiąckrotnie dalej posunięto, wtedy dopiero poznano osobliwe objawy elektryczne, w przestrzeni pustej występujące, światło uwarstwowane, promienie katodalne, promienie Röntgena, a każdy z objawów tych przybywał w miarę, jak wzrastał się stopień próżni w rurce, doświadczeniom poddanej. Gdy gazy skraplać zaczęto, różne z nich łatwo uległy i przez słabe już stłoczenie dały się w stan ciekły przeprowadzić; rychło jednak okazały się między niemi odporne, które przemocą ujarzmić się nie dały i pod naciskiem setek atmosfer lotność swą utrzymywały, tak dalece, że je za trwałe uznano i bezcelową z niemi walkę zawieszono. Ale gdy odpowiednie urządzenia obmyślono, trwałość ich złudną się okazała, najoporniejsze uległy i w postaci cieczy ujrzeliśmy powietrze.

Co się nam niepodobnem, do urzeczywistnienia niemożebnem wydaje, przyrząd to nieraz wykonać potrafi. Trzysta tysięcy kilometrów przebiega światło na sekundę, co znaczy, że przez krótką tę chwilkę mogłoby siedmiokrotnie równik ziemski okrążyć, a najrozleglejsze na ziemi przestrzenie w ciągu nikłego ułamka sekundy przebywa; dla tak zawrotnej szybkości wymiary planety naszej są już drobne, i niemożliwą chyba wydawało się rzeczą bieg ten uchwycić i doświadczeniem prędkość światła oznaczyć. A jednak przyrząd trudności wszelkie pokonywa i daje rezultat, zgodny z tem, czego nas pomiary astronomiczne nauczyły. Ktoby dziś jeszcze o obrocie Ziemi powątpiewał, temu przyrząd naocznie go okaże. Tam nawet, gdzie, zdawałoby się, dostępu zgoła mieć już nie powinien, tam jeszcze daje odpowiedź stanowczą. Spór wielki o istocie światła, czy jest ono substancją, czy też ruchem tylko, rozstrzyga przyrząd, — dwa zwierciadła stosownie umieszczone, rzucające na przegrodę smugi jasne naprzemian i ciemne. A gdy dla poczucia fal elektrycznych zmysłu zgoła nie posiadamy, chwytamy nam je i ujawnia znów przyrząd szczęśliwie obmyślony.

Aż dotąd był przyrząd pomocnikiem tylko badacza, teraz wyręczyć go nawet pragnie, zastąpić zupełnie. Mówimy tu o automatycznych, samopiszących przyrządach obserwacyjnych. Wszystkie te termografy i barografy, aktynografy, anemografy, seismografy, i jak się wreszcie nazywają, są to pracownicy niestrudzeni, działają bez wytchnienia dniem i nocą, zapisują spostrzeżenia swe nieprzerwanie, w sposób ciągły, gdy najgorliwszy nawet obserwator termometry swe lub barometry zaledwie trzy, cztery razy na dobę odczytywać może. Z balonem samopas puszczone wzbijają się do wyżyn, dokąd aeronauta pod karą śmierci nieuchronnej nie mógłby już sięgnąć, i z niedostępnych tych kresów znoszą nam wiadomości o panujących tam warunkach atmosferycznych. Na szczytach gór wyniosłych pozostają bezpiecznie przez długie miesiące zimowe, a latem znajdujemy na nich nakreślony przebieg wszelkich zjawisk meteorologicznych. Są wszakże i do innych celów przydatne, a w przyszłości niewątpliwie nauka do usług ich częściej odwoływać się będzie.

Mówimy niekiedy o naukach obserwacyjnych i doświadczalnych; rozróżnianie takie nie jest już wszakże teraz istotnie uzasadnione, przyrząd bowiem utorował sobie dostęp i do takich gałęzi wiedzy, gdzie dawniej wydawał się zgoła niepotrzebnym, niemożebnym nawet. Astronom, odkąd nie zadowolnił się rozpatrywa-

niem ruchów tylko dalekich brył niebieskich, ale zapragnął też badać budowę ich i naturę, musiał do dostrzegalni swej przyłączyć pracownię fizyczną i chemiczną. Istnieje już Mineralogia doświadczalna i Geologia doświadczalna; Fizyologia posługuje się przyrządami w równej mierze, jak Fizyka i Chemia, a za jej pośrednictwem przedostały się i do badań psychologicznych, chociaż tam pierwsze dopiero, próbne kroki stawiają. Spirytyzm nawet, parodyując naukę ścisłą, pragnie sprawy swych duchów czy sobowtórów na gorącym uczynku uchwycić przy pomocy przyrządów, aby ich powagą oczy tumanionego ogółu olśnić.

Obok przyrządów, które służą do badań, do dalszego rozwoju nauki, oddzielną ich kategorię stanowią przyrządy demonstracyjne, przeznaczone do pomocy przy wykładach, mające zatem znaczenie pedagogiczne. Zostały tak ulepszone i uproszczone, że korzystać z nich mogą nie tylko szkoły średnie, ale łatwo dostępne są też dla szkół początkowych i ludowych; drobne nawet zbiory przyrządów prostych i dogodnych wyrabiane są tak tanio, że oddawane być mogą do rąk dzieciom, by samodzielnie w użycie ich wprawiać się mogły, rozwijając naukową tą zabawką zdolność spostrzegania i biegłość ręki. Wspaniałością natomiast i okazałością wyróżniają się przyrządy, do wykładów publicznych przeznaczone. Szczególniej zaś do przedstawiania doświadczeń znacznej liczbie słuchaczy pożyteczne są przyrządy projekcyjne, będące w istocie rzeczy jedynie udoskonaleniem dawnej latarni czarnoksięskiej, które pozwalają na ekran rzucać obrazy nie tylko gotowych już malowideł, ale uwidoczniają na nim cały przebieg wykonywanego doświadczenia, którego by bezpośrednio ze wszystkich punktów rozległej sali widzieć nie można było. Uderzające te doświadczenia, w których zarówno wytworność narzędzi, jak i biegłość eksperymentatorów dzisiejszych podziwiać trzeba, nadają urok tak ponętny odczytom przyrodniczym i w rzędzie środków rozpowszechniania wiedzy potężnym są ogniwem.

III.

Przed sklepem mechanika nie zatrzymują się panie i panowie. Nie jest to przecież wystawa artystyczna, zbiór utworów sztuki, a upodobania i nawyknięcia prowadzą nas tam tylko, gdzie zadowolenie znajdujemy estetyczne; naukowe zaś, mechaniczne przyrządy nie sprawiają bynajmniej wrażenia piękna. Rozprawiano

już wszakże nieraz, czy posiadają pewną, właściwą sobie estetykę. Zapewne, nie jest to ten rodzaj piękna, jaki podziwiamy w obrazach lub rzeźbach, ale posiadają może wspólność pewną z pięknem architektonicznym. Zbudowane wedle miary i liczby, jakby gmachy w wymiarach zmniejszonych, w ścisłym zastosowaniu środków do celu, w należytem zużytkowaniu i obrobieniu materiału, urzeczywistniają ideę harmonii, ładu, porządku, a idea ta tak wybitnie wyraża piękno wszechświata, że oba te pojęcia grecy wspólnym terminem „kosmos“ obejmowali. Ale sztuka i nauka z odrębnych stanowisk na świat się zapatrują, a utwory artystyczne i przyrządy naukowe są różnicy tej najistotniejszym wyrazem.

Przed sklepem mechanika nie zatrzymują się więc panie i panowie, staje tam tylko uczeń w mundurku szkolnym i ślusarczyk początkujący. Jeden marzy o chwili, gdy przyrządy te zjawią się w sali szkolnej, gdy doświadczenia zabawią go śród ciągłej, nużącej jednostajności; a może budzi się w nim też pragnienie wiedzy przyrodniczej, której szkoła dzisiejsza tak skąpo mu udziela; drugi zachwyca się pięknem wykończeniem wyrobów i radby dorównać biegłością mistrzom, co to wykonać potrafią. Przedstawiciele dwu różnych warstw społecznych, wiedzy i rzemiosła, myśli i pracy, spoglądają na siebie wzajem z niechęcią, jeden z lekceważeniem, drugi z zawiścią, nie przeczuwając zgoła, jak blizkie węzły łączą naukę z techniką, jak ściśle zawarły one między sobą przymierze. Rozwój jednej i drugiej równomiernie idzie. Nauka ożywia technikę, każda jej zdobycz, odkrycie każde staje się źródłem ulepszeń w technice, wskazuje jej nowe środki, nowe materiały nastęcza, nowe działy przemysłu otwiera, uczy oporną przyrodę do potrzeb człowieka naginać. Ledwie w gabinecie fizyka poznano prądy galwaniczne, działaniem magnesów wzbudzone, już budują się potężne maszyny magneto-elektryczne i dynamo-elektryczne, które dają podstawę całej elektrotechnice, z jej światłem elektrycznym i jej kolejami elektrycznymi, z przenoszeniem energii i galwanoplastyką, nie mówiąc już o telegrafach i telefonach, co wszystko razem prowadzi aż do przeinaczenia form zwykłego naszego, powszedniego życia. Gdy z czarnej smoły, tworzącej się przy suchej dystalacji węgla kamiennego, wydobył chemik nieprzebrane substancje, zalecające się wspaniałem i wielorakiem ubarwieniem, słynne barwniki smołowe różnych nazw, anilinowe, antracenowe, naftalinowe, fenolowe i inne jeszcze, natychmiast rozwinęła się rozległa

produkcya fabryczna tych materyałów, która do cna przeinaczyła przemysł farbiarski i zamiast dawnych kilkudziesięciu barwników roślinnych obdarzyła go tysiącami wspaniałych i olśniewających wzrok nasz barwników wszelakich odmian i odcieni, dawniej zgoła nieznanych, a których źródłem są nędzne, czarne odpadki, pozostające przy wyrobie gazu oświetlającego lub przy koksowaniu węgla kamiennego. Cały przemysł chemiczny zresztą, tak dziś rozrosły i olbrzymi, jest tylko spotęgowaniem pracowni naukowej, odtworzeniem na wielką skalę robót, które chemik w drobnych swych epruwetkach i retortach przygotowuje. Rozwój teorii mechanicznej ciepła sprowadził bezpośrednio udoskonalenie motorów parowych, a gdy nauka poznała, jakimi drogami zmuszać można gazy do przyjęcia stanu ciekłego, już nabywać można kwas węglany skroplony w butelkach, jak każdą ciecz pospolitą.

Wzajem też technika nauce usługi świadczy i postęp jej w różny sposób popiera, już coraz nowe nastęrczając jej zadania, już to budując dla niej na udoskonalonych swych warsztatach coraz lepsze, coraz dzielniejsze przyrządy, które do odkryć dalszych moc jej dają. Trudności, które przy budowie pomp napotkano, powiodły do wielkiego odkrycia ciśnienia atmosferycznego. Przez połączenie ciemni optycznej z płytą na światło wrażliwą powstała fotografia; ale dopiero, gdy udoskonalony przyrząd fotograficzny zwróciła technika nauce, zyskała Astronomia nową metodę badania ciał niebieskich, a Fiziologia mogła go użyć do analizy zawiłych ruchów zwierzęcych. Niemniej uderzający przykład przedstawia najnowsza historia fabrykacyi szkła. Przedziwny ten materyał, dla przezroczystości swej i podatności tak niezbędnym w przyrządach naukowych, okazał się wszakże wadliwym; poznano, że liczne błędy termometrów, które tamowały użycie ich do ścisłych pomiarów, wypływają z pewnych nieprawidłowości w rozszerzaniu się szkła przy zmianach temperatury, a gdy wzrastająca ciekawość dalekich światów zażądała lunet coraz potężniejszych, stanęły temu na zawadzie zakłócenia barwne, wywiązujące się przy przejściu światła przez soczewki szklane. Usunięciem tych wad zajęła się wszakże gorliwie technika i wytworzyła nowe rodzaje szkła, różnego składu chemicznego i różnych właściwości fizycznych, z których każdy danej potrzebie odpowiada. Termometry odzyskały swą powagę, jako przyrządy miernicze; a refraktory astronomiczne przekroczyły potęgą swą granicę, która niedawno jeszcze wydawała się nigdy nieprzebytą. Z podziwem przygląda-

my się pracy hutnika, gdy kroplę szkła stopionego wydyma w po-
nętne, artystyczne nieledwie formy, ale najwytworniejsze, najbar-
dziej mistrzowskie swe dzieła składa on w ofierze nauce, przygo-
towując dla niej te rury osobliwe, w tak zawiły sposób skręcone,
że nie wiesz, czy bardziej podziwiać samą ich formę, czy też wspa-
niałe objawy świetlne, które się w nich działaniem prądów elek-
trycznych wzbudzają. Gdyby nie ta uderzająca biegłość technika,
nie znalazłbyśmy jeszcze tych zdumiewających promieni Röntge-
na, dopiero co odkrytych, a które z rur takich właśnie się rodzą.

Jak w maszynie dynamoelektrycznej drobny, zarodkowy za-
ledwie magnetyzm wzbudza słaby najpierw prąd elektryczny, któ-
ry podsyca z kolei magnetyzm pierwotny, a przyrost ten magne-
tyzmu staje się znowu źródłem następnego wzmożenia prądu, by
proces ten dalej się powtarzał, aż do granicy, do jakiej zdolną jest
zbroja magnetyczna maszyny; tak też nauka i technika wspólnie
na siebie oddziaływają, a kresu wzajemnego tego potęgowania
dziś jeszcze zgoła przewidzieć nie możemy. Ścisłą tę zależność dwu
wielkich kierunków działalności ludzkiej najlepiej może zrozumia-
no w Niemczech, gdzie od lat dwudziestu istnieje wielki „Państwo-
wy zakład fizyczno-techniczny“, w którym najwyższe badania
naukowe znajdują w każdej chwili wszelkie pomoce techniczne,
a technika otrzymuje odpowiedź naukową na pytania, jakie
w praktyce swej wciąż napotyka. Dzięki też należytemu pojmo-
waniu tej wspólnej łączności nauki z techniką wybujał w krótkim
czasie przemysł niemiecki tak wysoko, że stary przemysł angielski
z zawiesiłą i niepokojem nań spogląda, a przemysł francuski już na
wielu polach musiał mu ustąpić. Jeżeli zaś uprzytomnimy sobie
ten olbrzymi rozwój przemysłu dzisiejszego, jeżeli zważymy, ile
tysięcy i setek tysięcy rodzin utrzymanie bytu swego zawdzięcza
fabrykom, kolejom, fotografii choćby, zgodzimy się bez wahania,
że przymierze nauki z techniką nie ogranicza się w ścianach pra-
cowni, ale posiada też i niesłychaną doniosłość społeczną, potęż-
niejsze jest nad wszelkie przymierza polityczne, potrójne i po-
dwójne.

Wystawa mechanika rzuca nam przed oczy drobny obraz te-
go przymierza nauki z techniką, ale sprawiałaby nam więcej zado-
wolenia, gdyby to, co tu widzimy, u nas wyrobione było. Wszystko
to wszakże, od precyzyjnych przyrządów mierniczych do apar-
atów szkolnych i aż do drobnych zabawek dziecinnych, wszystko
to z Niemiec przybywa. Nauka nasza wyrosła już wprawdzie

w pewnej mierze, zyskała moc niejaka; dopóki sobie jednak sama w domu radzić nie potrafi, pozostać musi importem zagranicznym.

Sławiąc tak znaczenie przyrządów w nauce, nie chciałem twierdzić bynajmniej, że są one wyłącznym jej czynnikiem, że cała jej budowa z nich się jedynie wznosi. Widzieliśmy, że w dziejach trojaki brała początek Fizyka. Umysł ludzki domagał się wyjaśnienia przyrody kolejno od Filozofii, Matematyki i doświadczenia, a przedstawicielami tych trzech kierunków byli: Arystoteles, Archimedes i Galileusz. Trzy te czynniki i na dzisiejszą składają się Fizykę, ale w porządku odwrotnym. Badanie bowiem każde rozpoczyna się od doświadczenia, a zebrany przez nie materiał ujmuje Matematyka w prawa ogólne i z nich drogą dedukcyi wnioski swe wyprowadza, gdy Filozofia nauki ujawnia się w teoriach ogólnych, w hipotezach, rozległy obszar zjawisk obejmujących. O tych metodach wszakże, o tych drogach nauki, nie miejsce już przed sklepem mechanika prawić.

V.

STULECIE METRA.

Na wystawach rycin napotkać można obrazek, przedstawiający astronoma z długą lunetą, który nagle wpada do studni, u stóp jego otwartej. Przypomina on nieco fraszkę Kochanowskiego o astronomie, który „wie, jak wstają i zachodzą zorze“, ale nie widzi, co się w domu dzieje, tak samo bowiem ma być satyrą na człowieka, co w dalekie horyzonty zapatrzonej, najbliższe swe otoczenie z oka traci. Satyra jest więc słuszną, ale podrygującą ten jegomość z lunetą w ręce nie jest z pewnością astronomem, choć się tak ciekawie niebu przygląda, — astronom bowiem opatrzyłby lunetę swą kątomiarzem.

Jest to mylne bardzo mniemanie, że astronoma luneta cechuje: symbolem jego jest kątomiarz przede wszystkim. Istniała przecież Astronomia, gdy o lunecie nie marzono zgoła. Nie posiadał jej Hipparch ani Ptolemeusz, nie miał jej Kopernik, choć istotną budowę układu słonecznego wykrył, podobnie jak i przeciwnik jego, Tycho de Brahe, który przeprowadził dostrzeżenia tak ściśle, że pomogły Keplerowi do wyprowadzenia praw biegu planet, skąd znów Newton zasadę ciężenia powszechnego wyczytał. Bez udziału lunety żywym już blaskiem jaśniała Astronomia, a naczelnie wśród nauk stanowisko dało jej to, że od początku umiała dokładnie mierzyć położenie brył niebieskich. Jak dawnych czasów sięgają dokładne pomiary astronomów, wniesć można stąd, że na podstawie prac swych poprzedników, których pamięć nawet do nas nie doszła, wyszedł Hipparch przesuwanie się punktów równonocnych tak drobne, że rocznie jednej minuty miary kątowej nie dochodzi. Z pewnego ustępu w dialogu Tacyta „De oratoribus“ wnosi nawet profesor krakowski, Birkenmajer, że poprzedzanie punktów równonocnych znane było

astronomom dawniejszym jeszcze, egipskim może lub chaldejskim; w jak odległej tedy starożytności musiały się już pomiary astronomiczne rozpocząć, gdy pozwoliły ruch tak nieznaczny uchwycić i ilościowo ocenić.

Inne wszakże nauki w starożytności nie szły za przykładem Astronomii, naśladować metody jej nie umiały. Jak szlachcic dawny, łokciem i miarką gardziła nauka grecka. W wybujałej tonąc filozofii, snuli fizycy greccy genialne zarówno, jak i jałowe, pomysły o istocie świata, o zasadzie wszechrzeczy, o materii, o jej atomach i żywiołach, tusząc w naiwności nauki młodzieńczej, że drogą wywodów logicznych zdołają prawidłowość przyrody odtworzyć i wszelką rozwikłać zagadkę. *A r y s t o t e l e s* góruje wprawdzie nad poprzednikami swymi olbrzymią wiedzą, nie odwraca się od rzeczywistości i zbiera obfity zasób dostrzeżeń, nie poddaje ich wszakże pomiarom ścisłym, by na ugruntowanej podstawie faktów trwały gmach rzetelnych wniosków fundować, ale, założeniu swemu wierny, poszukuje zawsze zasad ogólnych i do wyjaśnienia je szczegółowych stosuje. Błędy *A r y s t o t e l e s a* dają dowód najwidoczniejszy, jak niezbędne są w Fizyce pomiary ścisłe, jak dziwaczne pomyłki brak ich rodzi. „Woda wrząca, twierdzi *A r y s t o t e l e s*, ogrzewa silniej, aniżeli płomień, ale płomień pali, co jest palne, i topi, co jest topliwe, woda zaś tego nie czyni; woda wrząca jest cieplejsza, aniżeli ogień drobny, gdyż ogień nie stygnie, woda zaś zawsze zimną się staje; względem poczucia naszego jest woda cieplejsza, niż olej, prędzej wszakże, aniżeli olej, oziębia się i krzepnie“. Nie troszcząc się zaś o sprawdzenie, czy w samej rzeczy temperatura wody wrzącej wyższą jest niż płomienia, ma tłumaczenie gotowe rzekomych tych objawów, — bo płomień grzeje własnem swem ciepłem, woda zaś obce tylko posiada ciepło, i stąd, choć gorętsza, rychlej je traci; ciepło ognia i ciepło wody ogrzanej są to więc dla *A r y s t o t e l e s a* objawy zgoła niejednorodne i porównywać ich nie można. O drażku wie *A r y s t o t e l e s* dobrze, że dłuższem jego ramieniem można większy dźwignąć ciężar, „dlatego że ramię dłuższe silniej się porusza“, nie troszczy się wszakże zgoła o stosunek ilościowy.

Nauce na ścisłych pomiarach opartej mniej jeszcze sprzyjać mogły wieki średnie, a brzask nauki nowoczesnej rozpoczyna się dopiero z chwilą, gdy zrozumiano, że spostrzeżeniom i doświadczeniom staranne jedynie pomiary pewność nadają. Mierzenie objawów przyrody daje podstawę do matematycznego ich rozwa-

żania, jest niezbędnym początkiem wszelkiego ścisłego badania natury. Fundament taki dał nauce Galileusza, gdy mierząc drogi przebyte przez ciała spadające, lub też, w braku czasomierza innego, liczbą uderzeń własnego tętna oznaczając ilość drgań rozkołysanego wahadła, wskazał Fizyce metodę do nowych odkryć i do znajomości praw przyrody wiodącą. Przez długie wieki alchemicy gorliwie warzyli i prażyli, topili i rozpuszczali, z doświadczeń swych wszakże snuli błędne jedynie wnioski i pomysły dziwaczne; w naukę rzetelną przerodziła się alchemia wtedy dopiero, gdy chemik szczerze zbratał się z wagą i jej kontrolę robót swych powierzył.

Wcześniej, niżeli w nauce, potrzebę ustalonego układu miar zrozumiano w powszednich stosunkach ludzkich. Z życiem praktycznym zadzierzgnęła nowoczesna wiedza przyrodnicza blizkie węzły, które się coraz silniej zaciskają i coraz pomysłniejsze dla obu wydają owoce. Wzajemne te stosunki byłyby wszakże utrudnione, gdyby nauka posiadać chciała własny swój układ miar, odrębny od miar pospolitych; służących w handlu, technice i przemyśle. Ze spostrzeżeń i doświadczeń w życiu praktycznym osiągniętych nauka często korzysta, prawa zaś przez naukę zdobywane łatwiej stają się własnością powszechną, gdy wyrażone są bezpośrednio w miarach ogółowi znanych i dostępnych. Układami miar, które w użyciu praktycznym napotkała, nie zadowolniła się wprawdzie nauka, ale natomiast układ, jaki obmyśliła i przyjęła, narzucić zdołała ogółowi do potrzeb jego powszednich.

Historya miar jest ustępem ogólnych dziejów kultury; jak wszelkich spraw ludzkich, rozwój ich szedł stopniowo. Same nazwy miar, które się dotąd przechowały, a w różnych językach pokrewne, jak stopa, łokieć, sążeń, krok, pręt, kamień, beczka — świadczą, że jednostki te pierwotnie nie były ściśle określone, czerpane z otoczenia najbliższego, z wymiarów części ciała ludzkiego pospolicie. Jaką drogą z miar takich, dowolnych i niepewnych, wraz z rozwojem i utrwalaniem się stosunków ekonomicznych, wytworzyły się miary dokładnie oznaczone, wskazuje może postanowienie Henryka I w Anglii, który w r. 1101 długością ramienia swego, aż do końca trzeciego palca, określił długość łokcia (gyrd, skąd dzisiejszy yard), jako jednostki w kraju całym obowiązującej. Dawna stopa francuska miała być, według podania, długością stopy Karola Wielkiego. Taką tedy mniej więcej drogą powstać mogły wszędzie miary „konwencyjne“, to

jest od ugody, od postanowień rządowych zawisłe, których pierwowzory czyli etalony starannie w schronieniach bezpiecznych musiały być przechowywane, by w każdej chwili służyć mogły do sprawdzania miar w powszechnem będących użyciu. W każdym jednak razie i normalnie te miary, czyli pierwowzory urzędowe, łatwo uleść mogły uszkodzeniom lub zatracie, co snadną znów otwierało drogę nadużyciom i sprowadzało zamęt; w braku bowiem pierwowzoru odtworzenie go stawało się trudnem lub niemożliwym zgoła. Stąd też dawno już ujawniła się konieczność oparcia całego układu miar na wielkościach przez naturę samą wskazanych, istniejących w przyrodzie i niezmiennych, by zawsze miara zatracona odszukać się dała.

W tym celu starali się arabowie w epoce rozkwitu swego intelektualnego wielkość swych miar utrwalić przez odniesienie do szerokości ziarn jęczmiennych, a nawet do grubości włosa. Łokieć ich haszemejski obejmował miał 24 szerokości palca, licząc na palec szerokość 7 obok siebie ułożonych ziarn jęczmiennych, a na szerokość ziarna takiego znów szerokość 7 włosów z sierści muła. Podobnie zapewne nieraz i układ gwichtów czyli jednostek ciężarów opierać się musiał na drobnym ciężarze nasion zbożowych, jak o tem wnieść można z rozpowszechnionej nazwy grana, t. j. ziarna.

Rzecz uderzająca i podziwu niewątpliwie godna, że narody starożytne posiadać miały daleko lepiej urządzony i bardziej jednolity układ miar swoich. Tak sądzą przynajmniej skrzętni badacze starożytności, którzy wszakże często porywom wyobraźni ulegają i zbyt rozległe z poszukiwań swych wydobywają wnioski. Z badań ich wypływa, że między miarami babilońskimi, egipskimi, hebrajskimi, fenickimi, greckimi i rzymskimi ściśła istniała łączność, że wszystkie z jednego rozwinęły się początku i że polegały na podstawie naturalnej, na dokładnych mianowicie pomiarach astronomicznych. Szukano źródła ich w Egipcie, a opierając się na wysoko rozwiniętem miernictwie w starym tym kraju, dowieść chciano, że święty łokieć egipski, wraz z wymiarami piramid olbrzymich, pozostawał w pewnym oznaczonym stosunku do długości stopnia południka. Nie posiadamy wszakże zgoła zasady do przypuszczeń, by przed Eratostenesem kusili się kiedykolwiek o pomiar południka kapłani egipscy, a tem samem mniemany ten, odwieczny system metryczny zaliczyć można śmiało do urojeń tego rodzaju, co, dajmy, bajkę, że rzemieślnicy egip-

scey do złocenia i srebrzenia metalowych swych wyrobów posługiwali się działaniem prądów galwanicznych.

W bardziej już przekonywający sposób systemy miar starożytnych wyprowadził autor niemiecki Böckh, nie z Egiptu, ale ze starego państwa babilońskiego, od biegłych niewątpliwie astronomów chaldejskich, których jednolity układ miar wypływał, według dowodzeń autora tego, z jednostki ciężarów.

Przy obserwacjach swych, mianowicie, mierzyć musieli astronomowie chaldejscy bieg czasu, a według odwiecznego zwyczaju służył im do tego przepływ oznaczonej ilości wody. Oni to zapewne na pasie zwierzyńcowym nieba wyróżnili 12 znaków, a dzień podobnie jak i noc na 12 godzin dzielili. Dla pomiaru więc czasu i dla oznaczenia godzin przez wypływ wody podzielili naczynie główne na dwanaście części; naczynie sześciennie podobnym podziałom odpowiadające stanowiło jednostkę miar objętości, a zarazem krawędź jego jednostkę miar długości. Przepływające zaś ilości wody porównywali dawni ci obserwatorowie nieba przez ważenie, skąd otrzymywali jednostki ciężarów, w ścisłym zostające związku z jednostką długości. Najdawniejsza więc znana jednostka ciężarów, talent babiloński, według wywodu powyższego, przedstawia wagę wody, wypełniającej sześcienną oznaczonej objętości, którego krawędź przyjęta została za stopę, czyli za jednostkę długości. Babiloński ten układ miar nie tylko wszakże był jednolitym, ale i powszechnym nadto, przedostał się bowiem i do innych państw starożytnych, bądź to bez zmiany, bądź też przetworzony według pewnych, prostych stosunków, które wykryć się dają między miarami azjatyckimi a greckimi, podobnie jak między temi ostatnimi a rzymskimi.

Wspaniała ta wszakże metrologia, którą Böckh z mozołem takim odtworzył, nie przetrwała zagłady kultury starożytnej. Sądzić wprawdzie można, że narody nowe, które się na gruzach państwa rzymskiego rozsiadły, przejęły miary od rzymian, ale miary te rychło przeinaczeniu uległy i wszelka łączność wygasła, wyodrębnienie zaś szło tak daleko, że zamiast miar państwowych i narodowych wszędzie niemal istniały miary prowincjonalne lub miejskie. Drobne księstwa niemieckie tyle różnych posiadały łokci, ile miast liczyły. W Polsce wielorakie miary ujednostajnić chciała konstytucya 1565 r., ale i we dwieście jeszcze lat później tę samą pracę podjąć musiały sejmy 1764 i 1766 roku.

II.

Wcześniej już wszakże pojmować zaczęto pożytek pewnego międzynarodowego ujednostajnienia miar, rozwój zaś Fizyki i ulepszenie metod mierniczych nasunęły pomysł wyprowadzenia zasadniczej i niezmiennej jednostki z przyrody samej. Obdarzywszy świat od tak dawna upragnionym i oczekiwanym czasomierzem, chciał Huygens w pamiętnym swem dziele „Horologium oscillatorium“, ogłoszonym w roku 1673-im, powiązać z nim także i jednostkę zasadniczą miar długości, proponując w tym celu długość wahadła sekundowego, którą według wprowadzonych przez siebie metod doświadczalnych oznaczył na $440\frac{1}{2}$ linii paryskich; trzecia część tej długości stanowić miała stopę normalną, wedle miary czasu ustanowioną, *pes horarius*. Nie wiedział jeszcze Huygens wprawdzie, co wkrótce zegary jego właśnie dostrzedz dozwoliły, że siła ciężkości na powierzchni ziemi nie działa wszędzie jednakowo, a tem samem długość wahadła w różnych jej miejscach nie jest zupełnie jednaka, ale to nie mogło uwłaczać samejże zasadzie projektu Huygensa, należało jedynie uzupełnić go warunkiem, że wahadło sekundowe obrać należy pod pewną oznaczoną szerokością geograficzną, na równiku np., w Paryżu lub na 45-ym równoleżniku.

Na tę samą epokę przypada i pierwszy, przez Picarda dokonany, dokładny pomiar Ziemi, albo raczej, co na jedno wychodzi, stopnia południka, a prace te nastęrczyły inną jednostkę naturalną długości. Zanim, mianowicie, jeszcze Picard roboty swe ukończył, podał astronom luguński, Gabriel Mouton w r. 1670 projekt wyprowadzenia miar długości z wymiarów Ziemi. Jednostką zasadniczą miała być długość minuty, czyli sześćdziesiątej części stopnia południka, dla której obmyślił nazwę miliara, a która dalej dzielić się miała według systemu dwunastkowego na części drobniejsze, mające nazwy: *centuria*, *decuria*, *virgula*, *decima*, *centesima*, *millesima*.

Projekt Moutona ożył w zmienionej nieco formie i urzeeczywistniony wreszcie został w czasie wielkiej zawieruchy rewolucyjnej we Francyi, w warunkach zatem, które pracom naukowym najmniej sprzyjać mogły; przemiana jednak całego układu miar, do którego ludność nawykła i z którym się zżyła, jest w istocie rzeczy czynem rewolucyjnym i w warunkach normalnych nastąpi-

łaby zapewne znacznie później. Śród żądań, które wyborcy zalecali swym deputowanym w roku 1788 i 1789, wyrażało się też żądanie zaprowadzenia w kraju całym miar wspólnych, któreby położyły kres nadużyciom i oszustwom, przez rozmaitość miar powodowanym. Z tego względu na posiedzeniu Akademii nauk 14 kwietnia 1790 r. przedstawił *Brisson* korzyści, wypływające z oparcia całego układu miar na pewnej długości naturalnej, a dnia 30 kwietnia tegoż roku sprawę ujednostajnienia miar i wag poruszył w Zgromadzeniu narodowym *Talleyrand*, wówczas biskup w *Autun*. Nigdy może żadna uchwała parlamentu nie była korzystniejszą dla postępu nauki i przemysłu nad postanowienie Zgromadzenia narodowego, przekazujące Akademii nauk przeprowadzenie tego projektu, i nigdy może żadna komisya naukowa nie wywiązała się godniej z poruczonego jej zadania, niż ustanowiona przez Akademię do obmyślenia nowego układu miar, komisya, którą składali mężowie w dziejach nauki pamiętni: *Borda*, *Lagrange*, *Laplace*, *Monge* i *Condorcet*. Uchwałą z d. 8 maja 1790 r. zaleciło Zgromadzenie narodowe, jako podstawę miar, długość wahadła sekundowego pod 45° szerokości geograficznej; wbrew jednak rozporządzeniu temu posłała komisya za radą inżyniera-geografa *Bonne'a*, który na jednostkę miar długości proponował pewną część równika lub południka ziemskiego, dlatego że długość wahadła zależy od dwu czynników różnorodnych od niejednostajnego natężenia siły ciężkości i od przyjętej jednostki czasu. Zaważył też wzgląd, że długość wahadła sekundowego jest niewielką stosunkowo jednostką miar, a drobny już błąd w jej oznaczeniu przez uwielokrotnienie może się stać doniosłym; pomiar natomiast południka, jakkolwiek jest pracą uciążliwą i kosztowną, choćby był przeprowadzony z błędem dosyć znacznym, na drobną cząstkę południka słabo zaledwie wpłynie. Ostatecznie tedy za podstawę nowego układu miar przyjęto długość ćwiartki południka ziemskiego, a mianowicie odległość między równikiem a biegunem północnym, i jej część dziesięciomilionową, jako główną jednostkę długości, nazwano metrem, co Zgromadzenie narodowe potwierdziło 30 marca 1791 r.

Jakkolwiek długość południka wyprowadzić można było z pomiarów dawniejszych, postanowiono wszakże zmierzyć łuk południka między *Dunkierką* a *Barceloną*, aby przez pomiar łuku tak znacznej długości, a dokonany na zasadach dokładniejszych, pełniejsze dla nowego układu miar wzbudzić zaufanie, któreby

przyczynić się mogło do szybszego jego rozpowszechnienia. Pracę tę rozpoczęli bezzwłocznie Delambre i Mechain, a jakkolwiek dawna Akademia gromom rewolucyi uległa i w roku następnym rozwiązana została, co pewną przerwę robót spowodowało, to wszakże nowoustanowiona komisya, tym razem liczniejsza, — w skład jej bowiem wchodzili: Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Haüy, Lagrange, Laplace, Mechain, Monge, Prony i Vandenmonde,—rzecz w ciągu lat kilku do pomyslnego końca doprowadziła. Zanim zresztą jeszcze pomiary nowe ukończone zostały, prawo 18 germinala III r. (7 kwietnia 1795 r.) ustanowiło na podstawie dawniejszych pomiarów ziemi metr tymczasowy, wyrównywający 3 stopom i 11,4421 dawnym liniom paryskim. Gdy zaś pomiar przytoczonego wyżej łuku południka, od Dunkierki do Barcelony, ukończony został, obliczenia wykazały, że dziesięciomilionowa część ćwiartki południka wynosi 3 stopy 11,2961 linii paryskich, a tę długość ustanowiło prawo z 19 frimaire'a VIII r. (10 grudnia 1799 r.) jako „metr prawdziwy i ostateczny“. W wymiarach tych wyrobiony z platyny pierwowzór metra wniesiony został już d. 4 messidora VII r. (22 czerwca 1799 r.) do Archiwum rzeczypospolitej, a wreszcie prawo z d. 6 messidora VIII r. (25 czerwca 1800 r.) nowy układ miar ostatecznie zatwierdziło.

Mogło więc zgromadzenie narodowe francuskie dumnie ogłosić, że obdarza świat jednostką miar niezmienną, z przyrody samej wziętą, któraby, stokrotnie zatracona, dała się znowu po tysiącach i setkach tysięcy lat odnaleść; zarazem jednak, w zbyt niemiłym zaufaniu, uznając metr swój za prawdziwy i ostateczny, wyłączało z góry możliwość przyszłych poprawek, a względ ten zawadzał długo rozpowszechnieniu się metra francuskiego po za granicami Francyi. Więcej wszakże ważyła trudność wynikająca stąd, że miary metryczne znacznie się wielkością różnią od jednostek poprzednio w różnych krajach używanych—łokci, stóp, funtów, a tem samem w zbyt niemiłej pozostawały z nawyknięciami mieszkańców sprzeczności. Dlatego też, jakkolwiek Francya wszędzie wywierała podówczas wpływ przemożny i znaczną częścią Europy władała, a wszędzie urządzenia swe państwowe narzucała, jednostki metryczne nigdzie rządów jej nie przetrwały. W niewielu tylko krajach, gdzie zależało na uproszczeniu i zaprowadzeniu ładu w miarach, zmieniono je w ten sposób, by one, odstępując jak najmniej od jednostek dawnych, pozostawały w stosunkach prostych do

miar systemu metrycznego. Według takiej zasady zmodyfikowany układ metryczny ustanowiony został najpierw w Królestwie Polskiem. Układ ten miar, zwanych nowopolskiemi lub warszawskimi, opracowany z inicjatywy Staszica przez wyznaczoną w r. 1816 deputacyę Towarzystwa przyjaciół nauk, zatwierdzony został postanowieniem Rady administracyjnej z d. 13 czerwca 1818 r. i stał się obowiązującym od 1 stycznia 1819 roku. Związek z miarami metrycznemi określa się w układzie tym w sposób rzeczywiście bardzo prosty, przynajmniej co do miar długości i objętości, jedna bowiem linia miary nowopolskiej wyrównywa dwu milimetrom (stopa zatem warszawska obejmuje 288 milimetrów), kwarta zaś równa jest zupełnie litrowi; stosunek tylko jednostki ciężaru jest nieco zawilszy, funt bowiem waży 405504 miligramów¹⁾. W 1839 przyjął związek celny niemiecki funt, wyrównywający połowie kilograma; funt ten celny używa się i dotąd pod nazwą funta metrycznego.

W systematach wszakże, w ten sposób zmodyfikowanych, niknie główna wartość miar metrycznych, zaleta ich bowiem polega nietyle na tem, że zasadnicza ich jednostka wzięta jest z natury, ile raczej na jednostajnym ich podziale dziesiętnym, a więcej jeszcze na tem, że wszystkie miary przez określenia bardzo proste wyprowadzają się z zasadniczej ich jednostki, czyli z metra. Jednostka bowiem miar objętości, czyli litr, jest to decymetr sześcienny, a jednostka wag czyli gram jest ciężarem centymetra sześciennego wody dystylowanej przy 4° C., związki zaś te nietylko w niesłychanej mierze upraszczają rachunki, ale nadto dają możność łatwej oceny następujących się wielkości. Tak, na podstawie samego określenia już wiemy, że decymetr sześcienny wody waży kilogram, a jeżeli pamiętamy nadto, że ciężar właściwy żelaza wynosi $7\frac{1}{2}$, wiemy tem samem, że bryła żelaza, obejmująca metr sześcienny, przedstawia ciężar 7500 kilogramów. Korzyści te spowodowały stopniowo wprowadzenie miar metrycznych do różnych państw europejskich i wwołały życzenie, by układ metryczny powszechnie został przyjęty, a usiłowania, do celu tego dążące, stanowią współczesne już dzieje metra.

¹⁾ Mylnie zatem podaje Karsten w starannej zresztą rzeczy „O miarach i o mierzeniu“ (Allg. Encykl. der Physik, t. I: Einleitung in die Physik), że zmodyfikowany system metryczny zastosowany został najpierw w Hesji, tam bowiem wprowadzono go dopiero w r. 1821.

III.

Pod wpływem żądań ogólnych zebrała się w Paryżu w sierpniu 1870 r. komisya międzynarodowa dla rozebrania tej sprawy, a chociaż wojna francusko-niemiecka, która w tym właśnie czasie wybuchła, prace jej w samym zarodku przerwała, zgromadziła się ona już znowu w r. 1872 i porozumiała co do zawiązania w r. 1875 układu między szesnastu państwami Europy i Ameryki, nazwanego konwencyą metryczną, do której przystąpiły następnie cztery inne jeszcze państwa, a ostatnio Wielka Brytania w r. 1884 i Japonia w r. 1885.

Przedewszystkiem nastęrczyło się komisyi międzynarodowej zasadnicze pytanie, czy za metr międzynarodowy ma być przyjęty dawny urzędowy metr francuski, czy też oprzec się należy na nowszych i dokładniejszych pomiarach. Obliczenie bowiem długości południka, jak widzieliśmy, oparte było wprawdzie na nowym pomiarze łuku od Dunkierki do Barcelony, uwzględnić wszakże musiało i spłaszczenie Ziemi, które na podstawie pomiarów dawniejszych, dokonanych w latach 1736—1739, przyjmowano wówczas, jako wynoszące $\frac{1}{334}$. Ułamek ten jest wszakże za mały, dlatego też i oparta na tej ocenie długość metra niezupełnie odpowiada dziesięciomilionowej części ćwiartki południka ziemskiego. Gdy w bieżącym stuleciu zebrało się kilkanaście pomiarów, dokonanych w różnych krajach Europy, a nawet Azji, mógł Bessel w r. 1841 długość południka obliczyć dokładniej, a, według tych rachunków metr francuski okazał się nieco zakrótki. Tych metrów urzędowych bowiem, czyli legalnych, zawiera ćwiartka południka 10000855,76, gdy według określenia tej zasadniczej jednostki długości, powinno ich być w ćwiartce południka okrągło 10000000. Różnica wynosi zatem 856 metrów na 10000000, czyli 0,856 metra na dziesięć tysięcy, błąd zatem metra urzędowego czyni niepełną dziesiątą część milimetra. Dyskusya toczyła się tedy o usunięcie tej drobnej niedokładności, ale po długich rozprawach postanowiono zachować dawny metr francuski, co zresztą okazało się zupełnie uzasadnionem z tego względu, że kwestya postaci i wymiarów Ziemi stanowczo jeszcze rozwiązana nie została, a różne południki nie są zapewne zupełnie między sobą równe. Skoro zaś w ten sposób rozstrzygnięto pytanie co do metra, należało też przyjąć i dawną masę kilograma, która wiąże się bezpośrednio

z długością metra według określenia wyżej przytoczonego. Uznano tedy, że i ważenia zeszlówieczne dokonane zostały z dostateczną ścisłością i jako kilogram międzynarodowy utrzymano również dawny kilogram francuski, którego prototyp wraz z prototypem metra złożony został w Archiwum państwa francuskiego dnia 4 messidora roku VII. Ścisłe zatem mówiąc, metr nie jest jednostką naturalną, czyli z przyrody wziętą; jest to w istocie rzeczy jednostka również dowolna, jak i każda inna jednostka miar, co wszakże nie uwłacza zgoła innym zaletom układu metrycznego.

Aby wszakże układ miar uczynić niezależnym od wzorów, złożonych w Archiwum państwowem w Paryżu, postanowiła komisya międzynarodowa zbudować jak najdokładniejsze ich kopie i kopie te przyjąć za etalony, czyli wzorce międzynarodowe. Długość zatem nowego metra i masa nowego kilograma miała jak najściślej odtworzyć długość i masę etalonów archiwalnych, pierwowzory zaś jednostek długości i masy, które postanowiono rozdzielić między różne kraje, miały być porównywane z nowemi temi etalonami międzynarodowemi, a nie z archiwalnemi.

Na podstawie konweneyi międzynarodowej, zawiazanej 29 maja 1875 r, państwa, zawierające ten układ, postanowiły wspólnym kosztem utrzymywać „Biuro międzynarodowe miar i wag“, podlegającego z kolei władzy „Konferencyi ogólnej miar i wag“, złożonej z przedstawicieli wszystkich państw, do układu należących. Biuro miar i wag, którego zadaniem jest przechowywanie prototypów międzynarodowych i peryodyczne porównywanie z niemi wzorców narodowych, jako też prowadzenie wszelkich prac, z zadaniem tem związanych, mieści się w gmachu, wzniesionym w parku Saint-Cloud i obejmującym dziesięć sal obserwacyjnych. Sześć z nich posiada podwójne ściany cynkowe, a oświetlenie otrzymują z góry przez potrójną osłonę szklaną. Podwójne ściany zbudowane zostały w tym celu, by przez obieg między niemi wody gorącej lub zimnej dała się w salach przez ciąg kilku dni utrzymać temperatura stała. Różne niedogodności wszakże skłoniły do porzucenia tego systematu regulowania temperatury, zwłaszcza, że sale przylegają do ściany skalistej, zwróconej ku północy i są na dzienną chwiejność temperatury zgoła nieczułe. Budowa gmachu ukończona została w r. 1878 i od tego czasu Biuro rozpoczęło swe prace, rozpadające się z natury rzeczy na dwie sekcyje, z których jedna zajmuje się mierzeniem długości, druga ważeniem. Nadto, ze względu, że przy wszelkich pracach metrologicznych

oznaczenie temperatury pierwszorzędnej jest ważności, utworzoną została odrębna sekcya termometryczna, mająca na celu udoskonalenie termometrów.

Przyjąwszy uchwałę, że etalony narodowe mają być kopiami pierwowzorów archiwalnych, zajęła się dalej komisya międzynarodowa wyborem metalu, z którego je wykonać należało. Wybór ten wymagał również głębokiego namysłu, materiał bowiem na metry i kilogramy odpowiadać musi kilku niezbędnym warunkom; powinien być mianowicie bardzo twardy, pozostawać niezmiennym z upływem czasu, nie ulegać wpływom atmosferycznym i zwykłym czynnikom chemicznym, a wreszcie winien być trudno topliwym, by oparł się nawet wysokiej temperaturze, jaka nastąpićby mogła, np. skutkiem pożaru. Na podstawie badań, jakie nad własnościami fizycznymi i chemicznymi metali z grupy platyny przeprowadzili Saint-Claire-Deville, Fizeau i Tresca, uchwalono, że wszystkie pierwowzory metra i kilograma międzynarodowe i narodowe, mają być wykonane ze stopu platyny i irydu, zawierającego 10 na 100 tego ostatniego metalu. Stop ten nadzwyczaj jest twardy, wytrzymałością dorównywa stali, a topi się dopiero w temperaturze, osłepiającej białości. Według badań Violle'a, punkt topliwości platyny przypada przy 1775°, irydu zaś przy 1950° C.

Co się wreszcie tyczy samej postaci prętów metrycznych, przyjęto formę głośki X, co znaczy, że w przecięciu przedstawiają kształt $>-<$. Postać ta, napozór osobliwa, daje tę korzyść, że kreski, oznaczone na listwie poprzecznej, są niezależne od sposobu, w jaki pręt jest podparty; listwa ta bowiem tworzy warstwę włókien pośrednich, która przy zginaniu pręta, gdy powierzchnia jego górna wydłuża się lub skraca, pozostaje niezmienną. Przy postaci takiej nadto zmniejsza się ciężar prętów i zyskuje na oszczędności kosztownego bardzo materiału. W porównaniu z dawniejszemi etalonami precyzyjnemi, prototypy nowe odznaczają się znaczną trwałością i znoszą bez szkody wstrząśnienia przy przewozie. Doświadczenia przy przewozie wykazały, że w pośrodku metra postaci X zawieszać można ciężar 40 kilogramów, nie wywołując tem żadnej trwałej zmiany.

Nowe metry tem jeszcze różnią się od dawnego, że są „kreskowe“ (à traits), gdy dawny jest „końcowy“ (à bouts), to jest, posiada dwa zaokrąglone końce, których odległość stanowi metr legalny; nowe są nieco dłuższe, a długość metra stanowi tu od-

ległość między dwiema naznaczonymi na nich kreskami. Przy urządzeniu takim porównywanie dokonywać się może łatwiej i ściślej. Obok każdej kreski oznaczone są nadto z obu jej stron dwie jeszcze kreski dodatkowe, w odległości połowy milimetra; w ten sposób dają pręty nie tylko pierwowzór metra, ale i etalon milimetra. Kreski zaś, wyryte pod mikroskopem rylcem dyamentowym, są niesłychanie cienkie, szerokość ich bowiem wynosi za ledwie od 0,006 do 0,008 milimetra.

IV.

Największą trudność nastęcało samo przygotowanie stopu platyny i irydu. Ponieważ wyrażono życzenie, by wszystkie pierwowzory, zarówno metry jak i kilogramy, pochodziły z jednej bryły metalicznej, potrzeba tedy było razem przetopić 250 kilogramów stopu platyno-irydowego; stopnienie zaś tak potężnej masy platyny nastęcało się po raz pierwszy i wymagało wielu przygotowań. Stop, otrzymany w paryskim Konserwatorium sztuk i rzemiosł, nie okazał się dosyć czystym, zawierał bowiem ślady rutenu, żelaza, rodu, palladu i miedzi; zwrócono się więc do zakładów Johnsona i Mattheya w Londynie, gdzie po długich dopiero zachodach ostatnie ślady obcych metali zdołano ze stopu usunąć.

Przedewszystkiem, w początku r. 1880 dostarczyły wspomniane zakłady trzy pręty ze stopu platyny i irydu, z których jeden obrano do porównania z metrem archiwalnym. Porównywania, przy pomocy nader ściśłego „komparatora“, prowadzono przy różnych temperaturach, a z pomiarów tych okazało się, że nowy ten metr dłuższy jest od archiwalnego za ledwie o 0,006 milimetra, czyli o 6 mikronów, tysięczną bowiem część milimetra nazwano krótko mikronem. Na podstawie więc tych prac za tymczasową jednostkę długości przyjęto odległość między dwiema końcowymi kreskami nowego tego pręta, zmniejszoną o 6 mikronów. Odtąd metr archiwalny ma już znaczenie historyczne tylko, a do konstrukcyi metra międzynarodowego, zarówno jak i metrów narodowych, posługiwano się tym metrem „tymczasowym“.

Przygotowanie prętów ze stopu platyny i irydu wymagało tyle pracy, że do robót ostatecznych przystąpić mogło Biuro międzynarodowe za ledwie po upływie lat czterech. W zakładach Mattheya trzeba było zbudować oddzielny gmach i piece,

a trzykrotnie przesyłane w r. 1883 próby do Paryża zawierały ilości rodu i żelaza, przekraczające granicę dozwoloną; dopiero w r. 1884 zdołano otrzymać ilość czystego irydu, potrzebną na wyrób kilogramów. Przystąpiono wtedy do fabrykacji stopu. Platynę i czysty iryd w stanie sproszkowanym zmieszano w stosunku oznaczonym i topiono po 10 kilogramów w tyglach z czystego wapna. Tak otrzymane sztaby, po oczyszczeniu rozcieńczonym kwasem chlorowodornym i wodą wrzącą, rozgrzano aż do topliwości złota i poddano kuciu potężnym młotem. Następnie przeciągnięto je między walcami stalowymi i zamieniono na płyty o grubości dwu milimetrów. Po odtłuszczeniu i oczyszczeniu od tlenika żelaza, którym pokryły się w przejściu przez walce, płyty przetopione zostały po raz drugi. Po raz trzeci wreszcie, dnia 26 maja 1884 r., całą masę, przeznaczoną na kilogramy, stopiono razem, a stop po rozgrzaniu wykuty został w jeden pręt stalowy, mający 200 centymetrów długości przy średnicy 44 milimetrów. Po rozcięciu pręta na 40 walców poddano każdy z nich dwunastu uderzeniom potężnej prasy, z której każde wywierało ciśnienie 350 tonn.

Wyrób stopu, przeznaczonego na konstrukcję metrów, odbył się w tenże sam sposób, trudności wszakże oddzielenia ostatnich śladów żelaza i rodu były jeszcze większe dla znacznej ilości przerabianego metalu; po jedenastu dopiero rozbiorach osiągnięto rezultat pożądaný w październiku 1885 roku. Nadto, trzeci i ostatni odlew nie mógł być dokonany przez stopienie wszystkiej naraz masy, jak to było zaleconem; przy tak wielkiej bowiem ilości metalu łatwo nastąpić mogło pęknięcie tygla a w takim razie należałoby od początku znów całą operację przeprowadzić. Pomimo jednak topienia częściowego, jednorodność stopu okazała się zupełnie dokładną. Pomiędzy stopem kilogramów a stopem metrów zachodzą co do składu chemicznego różnice bardzo nieznaczne; ilość żelaza i rodu w żadnym z nich nie przechodzi 0,01 na sto. Gęstość, oceniona z kilku odłamek, wynosi średnio 21,51. Pręty po wyrobieniu zostały wypolerowane, wygładzenia zaś końców dokonano w Konserwatorium sztuk i rzemiosł.

Posiadając trzydzieści metrów, w wyżej opowiedziany sposób przygotowanych i oznaczonych kreskami końcowymi, poddało je Biuro dokładnemu badaniu według planu, przepisanego przez Komitet międzynarodowy miar i wag. Przedewszystkiem należało oznaczyć rozszerzalność wszystkich wzorców pod wpływem wzrostu temperatury, a następnie wybrać jeden z nich za prototyp mię-

dzynarodowy i wyprowadzić dokładne równania innych w stosunku do obranego metra międzynarodowego.

Trudno opowiedzieć, z jak nieporównaną starannością i ścisłością zbadano rozszerzalność każdego pręta oddzielnie, do czego posługiwano się dwiema odrębnymi metodami. Pierwsza, bezpośrednia niejako, polega wprost na pomiarach wydłużeń, jakich doznaje pręt, poddawany temperaturze zmiennej, przyczem za pomocą „komparatora rozszerzalności“ porównywa go się z prętem, utrzymywanym w temperaturze statecznej. Metoda druga, optyczna, wymagałaby objaśnień bliższych; nadmienimy tylko, że polega ona na rozpatrywaniu pierścieni barwnych tego rodzaju, jakie dostrzegamy w bańkach mydlanych. Wraz ze zmianą grubości błonki ciekłej ulegają zmianie i barwy, z rozkładu ich tedy grubość błonki ocenić można. Płytkę więc, odciętą od końca pręta badanego, pokrywano taflą szklaną, tak, że pomiędzy niemi pozostawała warstwa powietrza, której grubość zmniejszała się, gdy płytka rozszerzała się ze wzrostem temperatury; obserwacya zatem pierścieni barwnych, dając grubość warstwy powietrza, pozwalała też oceniać i rozszerzalność ciała badanego. Skoro znano już rozszerzalność każdego pręta, należało oznaczyć długości ich względnie do metra tymczasowego, który, jak wiemy, od metra archiwalnego dłuższy jest o sześć mikronów; a gdy pomiary te okazały, że długość pręta, oznaczonego liczbą 6, najwięcej się zbliża do długości metra archiwalnego, przyjęto go za metr międzynarodowy, aby zaś wszystkie wzorce narodowe znane były z jednakową ścisłością, należało każdy z nich porównać z tym metrem międzynarodowym, jako też różne wzorce między sobą. Wszystkie te porównania przeprowadzone zostały za pomocą osobnego komparatora; rezultaty wreszcie tych pomiarów obliczono według metody najmniejszych kwadratów i otrzymano w ten sposób równanie każdego pręta, względnie do wzorca tymczasowego i metra międzynarodowego.

Aby wskazać, z jaką dokładnością pręty metryczne zostały zbudowane, podajemy tu, dla przykładu, wzory metra międzynarodowego (M), tymczasowego (T), oraz dwu metrów, oznaczonych liczbami 1 i 30:

$$\begin{aligned} M &= 1\text{m} + 8\mu, 651t + 0\mu, 00100t^2 \\ T &= 1\text{m} + 6,0\mu + 8, 644t + 0, 00100t^2 \\ (1) &= 1\text{m} - 1,1 + 8, 567t + 0, 00100t^2 \\ (30) &= 1\text{m} + 2,8 + 8, 638t + 0, 00100t^2 \end{aligned}$$

Według zatem łatwo zrozumiałych tych wyrażań, w których m znaczy metr, a μ mikron czyli milionową część metra, obliczyć można długość pręta w każdej temperaturze t . Przy wszelkich pracach doświadczalnych zachodzić może pewna niedokładność, rachunek wszakże wskazał, że błędy prawdopodobne powyższych pomiarów nie przechodzą dziesiątej części mikrona; twierdzić więc można, że długość wzorców międzynarodowych, przynajmniej w granicach temperatury 0° i 25° , znana jest ze ścisłością do dziesięciotysięcznej części milimetra. O dokładność większą trudno już chyba; aby ją ocenić, należy tylko pamiętać, że długość fali żółtego światła sodowego wynosi 0,0005888 milimetra, — długość nowych wzorców narodowych metra znana jest przeto z błędem mniejszym od piątej części długości fali światła sodowego.

Aby wszakże podobną ścisłość przy ocenach długości osiągnąć, trzeba też, aby i temperatura mierzyc się dała z przybliżeniem odpowiedniego rzędu, byłoby bowiem rzeczą bezużyteczną znać długość pręta z przybliżeniem do dziesięciotysięcznej części milimetra, gdyby nie można było zarazem wskazać temperatury z przybliżeniem do jednej setnej stopnia. Dlatego też sekcyja termometryczna Biura międzynarodowego zajęła się przygotowaniem termometrów bardzo czułych i dokładnych, a gdy się okazało, że wskazania ich nie odstępują między sobą więcej nad trzy lub cztery tysięczne stopnia, Komitet postanowił, by do każdego metra narodowego dodane były dwa takie termometry, starannie zbadane. Przygotowanie termometrów wymagało pracy niemniej olbrzymiej, aniżeli sam wyrób metrów; trzeba było ulepszyć szkło, wprowadzić szereg różnych poprawek i ujednostajnić samą skalę temperatur, co przy wielu badaniach naukowych ma doniosłość również znaczną, jak i ujednostajnienie miar długości.

Konstrukcyja kilogramów przechodziła podobnie koleje, co i budowa metrów. Przedewszystkiem wykonać należało kopię kilograma archiwalnego. Zamówione w tym celu trzy kilogramy dostarczone zostały w r. 1879, a gdy przez kucie doprowadzono je do najwyższej gęstości, porównano je najpierw z kilogramem Obserwatoriumy astronomicznego, który został wyrobiony współcześnie z archiwalnym, a następnie dopiero z archiwalnym. Waga, która do tego służyła, opatrzona jest w mechanizm, pozwalający przenosić kilogramy z jednego talerza na drugi, bez potrzeby otwierania otaczającej klatki szklanej. Kołysanie się wagi odczytywano za pomocą lunety z odległości trzech metrów. Ważenia wykazały,

V. STUŁECIE METRA.

że jeden z powyższych trzech kilogramów posiada w próżni ciężar identyczny z archiwalnym, dlatego też postanowieniem Komitetu międzynarodowego przyjęty został na stanowczy „kilogram międzynarodowy“, ominięto więc potrzebę kilograma tymczasowego, jak to miało miejsce co do metra, co znacznie przyspieszyło roboty dalsze.

Zbadanie walców, dostarczonych na kilogramy narodowe, wymagało nietylko porównania ich między sobą i z kilogramem międzynarodowym, ale nadto należało oznaczyć objętość i gęstość każdego z nich, aby można było wprowadzić poprawki co do ciężaru w próżni; trzeba je zatem było ważyć nietylko w powietrzu, ale i w wodzie. Do przenoszenia prototypów służyły osobne ciężki okryte białym aksamitem; w odstępach czasu między jednym ważeniem a następnem spoczywały one na płytach z kryształu górnego, przy ważeniu zaś umieszczano je również, nie bezpośrednio na talerzach wagi, lecz na dodatkowych talerzach z kryształu górnego. Porównanie każdych dwu kilogramów polegało na czterech oddzielnych ważeniach, z których każde trwało około godziny; dwa pierwsze dokonywały się w godzinach rannych, dwa drugie w godzinach popołudniowych tegoż samego dnia. Pomiedzy ważeniem drugim a trzecim przemieszczano kilogramy na talerzach dodatkowych, przez co z rezultatu średniego czterech ważeń usuwała się możliwa różnica ciężarów tych talerzy.

Z jak niezrównaną zresztą dokładnością prace te zostały dokonane, ocenić można stąd, że dał się dostrzedz wpływ niewielkiej różnicy wysokości, w jakiej kilogramy były umieszczane. Przy ważeniu mianowicie w wodzie kilogram przypadał zaledwie o dziesięć centymetrów niżej, aniżeli przy ważeniu w powietrzu, a drobne to posunięcie ku dołowi wywołało powiększenie ciężaru kilograma prawie o 0,1 miligramu, czyli o część dziesięciomilionową; różnicę tę zatem przy poprawkach uwzględnić należało.

Rezultaty mozolnych tych ważeń, ujęte metodą najmniejszych kwadratów, wydały masę i gęstość każdego z czterdziestu przygotowanych kilogramów, a podobnie, jak co do metrów, przytaczamy tu dla przykładu liczby odnoszące się do kilograma międzynarodowego (K), oraz dwu kilogramów, oznaczonych liczbami 1 i 30.

	masa	gęstość
(K)	1 kilogram	21,5515
(1)	1 kg + 0,002 mg	21,5398
(30)	1 kg + 0,123 mg	21,5466

Odstępstwo zresztą żadnego z kilogramów narodowych od wzorca międzynarodowego nie dochodzi jednego miligrama, a dyskusya co do źródeł błędów przekonała, że błąd prawdopodobny wynosi zaledwie $\pm 0,002$ miligrama.

Dodamy wreszcie, że prototypy międzynarodowe metra i kilograma złożone zostały w skrzyni, umieszczonej w głębokiej piwnicy, zamkniętej trzema kluczami, które zostają w rękach dyrektora Biura, prezydenta Komitetu międzynarodowego i naczelnika generalnego Archiwum państwa francuskiego. Każde zatem wydobywanie jednego tych etalonów przez urzędnika Biura zostaje pod nadzorem Komitetu międzynarodowego i rządu francuskiego, a może nastąpić jedynie w obecności posiadaczy trzech kluczy. Ostrożności te dają wszystkim państwom rękojmię, że pierwowzory zasadnicze układu metrycznego nie są narażone na niebezpieczeństwo uszkodzenia przez złą wolę lub niezręczność. Miary zaś i kilogramy narodowe rozdzielone zostały między różne państwa przez losowanie na posiedzeniu konferencji we wrześniu 1889 r.

Opis powyższy jest zapewne bardzo niedostateczny, pozwala jednak ocenić trudności, jakie przewyciężyć należało, i ogrom robót, jakich wymagało urzeczywistnienie postanowień Komisji międzynarodowej miar i wag. W sprawozdaniu swym pochlubić się mogło Biuro, „że powodzenie nietylko odpowiedziało wszelkim warunkom z góry założonym, ale w niektórych punktach przewyższyło nawet żądania najbardziej optymistyczne“.

Zdań tych za przesadne nikt zapewne uważać nie będzie, kto zastanowi się nad osiągniętą przy pomiarach metra i kilograma ścisłością. Ponieważ na długości metra błąd nie przechodzi dziesięciotysięcznej części milimetra, ścisłość zatem wynosi jedną dziesięciomilionową; jest to niepewność tego rzędu, jakby w pomiarach ćwiartki południka ziemskiego błąd wynosił jeden metr zaledwie. Co się tyczy kilogramów, ścisłość dalej jeszcze jest posuniętą; niepewność bowiem dwu tysięcznych miligrama na kilogram odpowiada ułamkowi $\frac{2}{1\ 000\ 000\ 000}$, czyli jednej pięćsetmilionowej. Potwierdza to fakt znany, że ze wszystkich przyrządów precyzyjnych waga daje rezultaty najdokładniejsze, a liczby powyższe przekonywują, jaką doskonałość w czasach naszych osiągnęła sztuka mierzenia i ważenia.

Tryumf metra nie jest jeszcze zupełny. Na 453 miliony ludzi, stanowiących grupę europejską, jest układ metryczny obowiązują-

cym dla 246 milionów, 207 milionów zachowało dawne swe miary wadliwe. Korzyści wszakże i ułatwienia, jakie układ miar metrycznych następuje w stosunkach międzynarodowych, przy wszelkich obliczeniach handlowych i technicznych, w badaniach naukowych wreszcie, są tak doniosłe i tak widoczne, że wprowadzenie go do Anglii, Ameryki i Rosji może być sprawą niedługiego już tylko czasu. Jeden więc cel, jaki twórcy jego na widoku mieli, osiągnięty w istocie został, metr bowiem stał się miarą powszechną; nie odpowiedział natomiast zadaniu drugiemu, jakie miał spełniać, gdyż w znaczeniu ścisłym nie jest jednostką naturalną, z przyrody wydobytą. Nie zaradziłoby też temu uwzględnienie poprawki, któraby usunęła błąd dawnych pomiarów południka ziemskiego; metr nie może odpowiadać żądaniu, by był dziesięciomilionową częścią ćwiartki południka ziemskiego, nowe bowiem pomiary nauczyły, że Ziemia nie tworzy dokładnej sferoidy obrotowej, równik i równoleżniki nie są ściśle okręgami kół, a stąd południki, niejednakowo się od środka Ziemi odchylają i nie są między sobą dokładnie równe.

Choćby zresztą obrano pewien oznaczony południk, nie dałoby to miary na całą przyszłość niezmiennej, proces bowiem kształtowania się Ziemi stanowczo się jeszcze nie skończył. Zastyga jeszcze i ściąga się rozpalone jej wnętrze, a zakrzepła jej skorupa zwolna się marszczy. Są to zmiany drobne i niedostrzegalne, ale po upływie tysiącleci działanie swe ujawnić mogą. Stara Ziemia żyje jeszcze, i wielkości stałej i niezmiennej dostarczyć nam nie może.

VI.

O ROZWOJU SZTUKI MIERZENIA.

Wedle miary i wagi wszystko urządziłeś—in mensura et pondere omnia disposuisti—wysławia pisarz biblijny Pana, jakby przeczuwając znaczenie, jakie dla nauki w dalekiej dopiero przyszłości miara i waga osiągnąć miały.

W życiu zwykłym, w pospolitem wyrazu tego znaczeniu, umiejętność mierzenia nie imponuje wprawdzie, a przed oczyma staje nam układny subjekt handlu bławatnego, typowym swym łokciem uzbrojony. Pomijając już wszakże, że wątpliwą jest rzeczą, czybyśmy łokciem tym, bez wprawy, równie zręcznie i szybko wywijać potrafili, to przecież w tymże samym ciągu spraw powszednich, na stopniu o krok dalszym, uznać musimy biegłość krawca, który z niewielu pomiarów odpowiednich, z kilku liczb zanotowanych, wykrajać umie z tkaniny formy pożądane. Jeżeli zaś uprzytomnimy sobie cały obszar wszelkich robót rzemieślniczych, prac technicznych, badań naukowych, stopniowanie to rozwija się przed nami w szeregu pomiarów coraz mozolniejszych, coraz zawilszych i coraz bardziej pomysłowych, aż wreszcie uderza nas genialnością metod, które umożliwiają ścisłą ocenę w dziedzinach, wymykających się już z pod władzy zmysłów naszych.

Stopień rozwoju nauki danej oceniać zwykliśmy często wedle udziału, jaki w całokształcie jej Matematyka przybiera. Sąd taki jest w znacznej przynajmniej mierze słuszny niewątpliwie, ścisły bowiem język Matematyki nie tylko dokładność wywodów dedukcyjnych poręcza, ale już i w dochodzeniu indukcyjnym umożliwia wyprowadzanie praw ogólnych z dostrzeżeń i doświadczeń. Przedmiotem wszakże rozważań matematycznych to tylko być może, co się ilościowo ocenić daje, co zmierzyć zdołamy; stąd też zapewne na słusznej będziemy drodze, gdy chcąc mieć skaźnik rozwoju da-

nej gałęzi wiedzy, rozpatrzemy, jak dalece postąpiła ona w sztuce mierzenia. W miarę postępu nauki jakościowe jedynie rozpatrywanie objawów przyrody coraz bardziej ustępuje miejsca badaniu ilościowemu; nauka nie poprzestaje już na odkrywaniu zjawisk nieznanych lub na dochodzeniu nowych działań sił znanych, ale dąży do liczebnego ujęcia związków między różnymi zjawiskami, by tą drogą coraz głębiej treść ich i istotę przenikać.

Dać obraz obecnego stanu sztuki mierzenia, albo też dzieje jej opowiedzieć, byłoby to zadanie do spełnienia zgoła niemożliwe; ile bowiem różnych jest działów i rozdziałów wiedzy, ile się zadań przed nią otwiera, ile nas zjawisk uderza, tyle jest różnych metod mierzenia, tyle odrębnych przyrządów mierniczych, które się w ład usystematyzowany uporządkować nie dadzą. Historia rozwoju sztuki mierzenia splata się nierozzerwalnie z ogólnymi dziejami wiedzy. Pragnę tu podać jedynie kilka luźnych urywków, któreby potwierdziły, że wszelkie badanie umiejętne na podstawie pomiarów wspierać się musi, a postęp nauki wspólnie z ulepszeniem metod mierzenia kroczy. Pozwoli nam to też ocenić doskonałość, jaką metody te obecnie już osiągnęły.

I.

Pomiary zasadnicze. Mierzenie długości i początki Geometrii.

Co się właściwie Miernictwem nazywa, jest to w istocie rzeczy Ziemiomierstwo, Geometriya. Z potrzeb praktycznych zrodzona, odbiegła wprawdzie daleko od skromnego swego początku i rozwinęła się w naukę olbrzymią, która dobitniej może, aniżeli jakakolwiek inna gałąź wiedzy, świadczy, do jak głębokich pojęć i do jak dalekich abstrakcyj umysł ludzki jest zdolny; ale, jako nauka o przestrzeni, mierzenie jej zawsze za najważniejsze swe zadanie, za cel swój najbliższy uważać musi. Łatwą jest rzeczą mierzenie wtedy tylko, gdy o linię prostą, o odległość dwu punktów idzie; skoro wszakże linia się skrzywia, usuwa się tem samem z pod miary, a długość jej bezpośrednio ująć się nie daje. Ze wszystkich linii krzywych uwadze naszej następuje się przede wszystkim okrąg koła, a zmierzenie jego długości jest już ze względów czysto praktycznych rzeczą potrzeby najpilniejszej. Przez długie wszakże stulecia z zadaniem tem człowiek uporać się nie potrafił. Przy opisie budowy i urządzenia świątyni Salomono-

wej, w księdze królów, okrąg koła podany jest jako trzy razy od średnicy dłuższy, zrównany zatem z obwodem wpisanego weń sześciokąta. Potężny dopiero umysł Archimedes a genialnym wybiegiem pokonać zdołał trudności, które poprzednikom jego nieprzewyciężonemi wydawać się musiały. Wpisując w koło i opisując na niem wielokąty o podwajanej wciąż liczbie boków, zbliża je ku sobie, a tem samem i do zawartego między niemi okręgu; różnica między długościami obwodów wielokątów opisanych i wpisanych zmniejsza się ustawicznie, czyli coraz się bardziej wyczerpuje, a obwody wielokątów schodzą się wreszcie w granicy z samymże okręgiem koła. Starożytna ta zatem metoda „wyczerpywania“ sprowadza, w istocie rzeczy, wieńczące obecnie wykład Geometrii elementarnej mierzenie okręgu koła do sumowania nieskończenie wielu, nieskończenie drobnych, jakby prostolinijnych już części, i stanowi zaród wielkich i ogólnych metod Matematyki nowoczesnej, które pozwalają obliczać długość wszelkiej linii krzywej, jakkolwiek bądź zawilej, skoro tylko znamy prawo, wedle którego skrzywienie jej następuje. Dochodzenie takie długości linii krzywych, których skręty w dziwaczny często sposób od kierunku prostego odbiegają, jako niewątpliwy i uderzający tryumf sztuki mierzenia zaznaczyć tu możemy.

W początkach już też kultury ludzkiej nastęrczyła się potrzeba mierzenia powierzchni, a w najprostszych przynajmniej przypadkach umiano zapewne dawno już sobie radzić, jak o tem świadczy najstarszy rękopis matematyczny, jaki nas doszedł, pochodzący z dwudziestego lub ósmnastego wieku przed Chrystusem. Jest to jakby podręcznik Matematyki, ułożony „według wzoru dzieł dawnych“ przez A m e s a, pisarza króla A p e p a, zwanego Ra-a-us, „który życie daje“. Pole prostokąta oblicza dawny ten autor już należycie, jako iloczyn z podstawy przez wysokość, trójkąty wszakże stanowią jeszcze ciężki dlań szkopuł; rozważa on tylko trójkąty równoramienne, a na obliczenie ich podaje przepis mylny, mnoży bowiem połowę podstawy, nie przez wysokość, ale przez bok trójkąta, co oczywiście tylko przy figurach bardzo wydłużonych do błędu zbyt znacznego nie prowadzi. Potrąca też A m e s i o obliczenia stereometryczne, oznacza bowiem objętość spichrzów, nie podaje wszakże ich postaci, a stąd dokładności jego wywodów osądzić niepodobna.

Półtora tysiąca lat przeszło trzeba byłó, by z początkowych tych zarodków wyrosła umiejętność, która na tejsze samej ziemi

egipskiej, ale pracą ducha greckiego, przez Euklidesa w Aleksandryi, ujętą została w pełny i logiczny system, budzący dotąd nasz podziw, jako najwspanialszy pomnik umysłowości greckiej; z obecnego wszakże naszego stanowiska, gdy o mierzeniu tylko mówimy, hołd należy się autorom „dzieł dawnych“, zamierzchłym i nieznanym poprzednikom *A m e s a*, którzy zrozumieli, że mierzenie przestrzeni do mierzenia długości jedynie sprowadzić się daje. By poznać wielkość danej powierzchni, nie pokrywamy jej kwadratami, ani też nie wypełniamy bryłami sześciennymi obszaru, którego zawartość ocenić pragniemy,—wystarczy pomiar niewielu linii prostych, należyte dobranych. Jest to zasada powszednia i odwieczna, niemniej wszakże uderzającą zdobycz sztuki mierzenia stanowi. Łokieć tylko, metr, albo jakikolwiek inny pręt, obrany jest jednostką zasadniczą, podstawową; łokieć kwadratowy lub łokieć sześcienny są to już miary pochodne, złożone, a drobny zasób wyobraźni wystarczy, by je z jednostki zasadniczej wysnuć. Wedle tejże myśli składają się i dalsze, bardziej zawile jednostki pochodne, o których mówić wypadnie nam niżej.

II.

Ważenie. Waga mądrości.

Również dawno, jak mierzyć, rozpoczął człowiek i ważyć. Przy ważeniu pytamy, jaki ciężar posiada dany przedmiot; w istocie rzeczy, wszakże, nie o ciężar bynajmniej nam idzie. Ciężar bowiem ciała nie jest jego własnością istotną, jest jedynie objawem wpływów zewnętrznych, jest następstwem przyciągania, jakiemu ciało ulega. Taż sama bryła żelazna, która na Ziemi wywiera ciśnienie jednego kilograma, ważyłaby na Słońcu trzydzieści kilogramów bez mała, na Księżycu szóstą część kilograma zaledwie, w znacznej zaś odległości od jakiegokolwiek ciała niebieskiego nie posiadałaby żadnego ciężaru, nie wywierałaby żadnego zgoła ciśnienia. W całej tej przypuszczalnej wszakże wędrówce nic bryle nie przybywa, ani nic nie ubywa, ilość jej materji, masa jej pozostaje zawsze jednaką. Ciężar jest więc własnością ciała uboczną, od jego położenia zależną, masa zaś stałą i niezmienną. Przy ważeniu ciał porównujemy wprawdzie ich ciężary, ale to dlatego tylko, że w jednym i tem samym na Ziemi miejscu ciężary ciał są do ich mas proporcjonalne, a tem samym stosunek ciężarów daje bez-

pośrednio i stosunek mas. Chemikowi, kupcowi, lekarzowi nie zależy zgoła na ciężarze, czyli na ciśnieniu, jakie ciało wywiera na podstawę, na której jest wsparte, idzie im jedynie o masę, od niej bowiem zależy działalność chemiczna, wartość pieniężna, albo skuteczność lekarska. W samej rzeczy zatem ważenie jest to porównywanie ciężarów w celu porównania mas; funt, kilogram, uważać możemy również dobrze za jednostki do oceny ciężaru, jak i masy. Oba te różne sposoby pojmowania prowadzą wszakże do różnic, które jeszcze uwagę naszą zajmą.

Co się samej wagi tyczy, jest ona zapewne tak stara jak i drążek, którego jest zastosowaniem bezpośredniem, ale jako przyrząd naukowy napotykamy ją dopiero u arabów. Jakkolwiek arabowie stali ściśle na gruncie nauki greckiej i poza jej obszary nie posunęli się istotnie, starając się tylko ją poznać i zgłębić, a nie myśląc o wyprzedzeniu mistrzów, którzy ich potęgą swą umysłową olśniewali, w bystrości jednak obserwacyi i ścisłości pomiarów zajęli stanowisko wyższe, aniżeli ich poprzednicy. Używali oni wagi do oznaczania ciężarów właściwych ciał, a ulepszoną do celu tego wagę zbudował Alk hazini i dla jej zalet nazwał ją „wagą mądrości“. Podobnie jak nasze wagi, składała się ona z drążka równoramiennego, ale zamiast dwu talerzyków posiadała ich aż pięć. Dwa z nich, jak w każdej wadze, zawieszono były na końcach drążka, trzeci uczepiany być mógł pod jednym z poprzednich, aby ciała ważyć można było w wodzie, a wtedy talerzyk czwarty, ruchomy, zawieszano się na ramieniu drugim dla zrównoważenia. Piąty wreszcie talerzyk był także ruchomy, waga ta bowiem używaną też być mogła jak nasza waga rzymska, a w tym celu ramiona jej podzielone były na równe części, przesuwając zatem talerzyk z danem ciałem, można było je ważyć, nie zmieniając ciężarków na talerzyku drugim.

W księdze, w której swoją wagę mądrości opisał, a która jest zarazem jedynym traktatem arabskim Mechaniki, nie szczędzi jej Alk hazini pochwał, by szumną jej nazwę usprawiedliwić. Jest ona tak dokładna, że przy obciążeniu tysiąca mitkałów wskazuje jeszcze przewagę jednego mitkała, byleby mechanik, co ją wyrabia, biegłą miał rękę; daleko to, oczywiście, od czułości wag dzisiejszych, na swoje wszakże czasy mógł się nią autor słusznie chlubić. Tablica oznaczonych przez Alk hazinięgo ciężarów właściwych pięćdziesięciu różnych substancyj potwierdza rzeczywiście czułość wagi i o biegłości jego dobrze mówi. Dalsze udo-

skonalenie wagi wiąże się dopiero z nowszym rozwojem techniki i mechaniki praktycznej, a jak misternym i dokładnym przyrządem jest waga dzisiejsza, mieliśmy już sposobność poznać, rozpatrując historię metra.

III.

Mierzenie czasu.

Trzecią odrębną wielkością, która się nam do mierzenia narzuca, jest czas. W objawach dwojakiego obrotu Ziemi, w następstwie dnia i nocy, oraz w kolejnym przebiegu pór roku, następuje nam przyroda sama okresy te, jako naturalne jednostki czasu, a jak konieczność pomiarów przestrzeni zrodziła Geometrię, tak też potrzeba mierzenia czasu była podniecią do rozpatrywania ruchów ciał niebieskich i dała początek Astronomii. Plemiona pierwotne chronologii nie znają; historia rozpoczyna się od chwili, gdy człowiek nauczył się bieg zdarzeń miarą czasu oznaczać.

Konieczność pogodzenia dwu odrębnych jednostek, doby i roku, i związania ich w sposób do rachuby czasu dogodny, wytworzyła kalendarz, do podziału wszakże doby na równe odstępy czasu niezbędne są przyrządy, które nauczono się budować wtedy dopiero, gdy zrozumienie własności wahadła dało możność należącego ujednostajnienia ruchu. Dokładny pomiar czasu jest tak ważną sprawą życia nowoczesnego, że zrażony drobną nieregularnością w pozornym biegu Słońca, umieścił człowiek na niebie obok niego pewne Słońce idealne i ruch mu jednostajny nakazał, by wedle niego zegary swe regulował. Zegary więc nasze nie wskazują czasu słonecznego prawdziwego, jak dawne kompasy, ale czas średni, a sekunda tego czasu średniego jest jednostką również zasadniczą, jak metr i kilogram.

Nie dla przykładu tylko wymieniliśmy tu pomiary długości, masy i czasu, są to bowiem wielkości zasadnicze, do których sprowadzają się wszelkie inne pomiary. Pręt, stanowiący jednostkę długości, lub bryłę, którą za jednostkę mas obieramy, ująć możemy bezpośrednio i przechować; obrany odstęp czasu niemniej bezpośrednio daje nam zegar lub obserwacya astronomiczna. Jednostki, które dla oceny wszelkich innych wielkości przyjmujemy, nie następują się nam już w sposób tak bezpośredni, polegają tylko na określeniach i z kombinacyi tych trzech jednostek wypływają.

Pomiary długości, masy i czasu są tedy najprostsze i najdostępniejsze, bez wyjaśnień zrozumiałe. Ale pospolity i powszedni swój charakter traci pojęcie mierzenia, gdy idzie o ocenę rzeczy, przekraczających miarę zwykłą, odpowiadającą doniosłości zmysłów naszych. Gdy poddajemy pomiarom rzeczy niesłychanie wielkie lub niesłychanie drobne, ujawnia nauka genialność swych pomysłów i dzielność swych środków, zdumiewa rezultatami, jakie z badań tych osiąga. Usprawiedliwimy to kilku przykładami.

IV.

Pomiary wielkości olbrzymich.

Do dawnych czasów cofnąć się musimy, chcąc, jako pierwszy przykład tych zdumiewających pomiarów, przytoczyć zmierzenie Ziemi. Gdy świeża dopiero myśl o jej kulistości, a człowiek drobną zaledwie znalazł jej cząstkę, w trzecim wieku przed Chrystusem, Eratostenes w Aleksandryi wielkość jej już oznaczył. Całe to olbrzymie zadanie sprowadził do zmierzenia jednego tylko stopnia południka, zmiana zaś położenia gwiazdy z różnych punktów południka obserwowanej wskazała mu odstęp jednego stopnia. Wraz z zaturbieniem o kulistości Ziemi zaginęła wprawdzie i pamięć o pracy Eratostenesa, gdy jednak we dwa tysiące blisko lat później zajęto się znowu dochodzeniem wielkości zamieszkałej przez nas bryły, wrócono do metody matematyka aleksandryjskiego, którą tylko udoskonalenie przyrządów astronomicznych i mierniczych ściślej stosować dozwoliło.

Zadanie zawikłało się wszakże, gdy domyślono się podbiegunowego spłaszczenia Ziemi, a zwłaszcza, gdy ujawniły się odstępstwa jej od prawidłowej elipsoidy obrotowej czyli sferoidy; w ogólnych rysach postać Ziemi dobrze jest nam już wprawdzie znana, ale dokładne jej oznaczenie wymaga pomiarów szczegółowych i drobiazgowych we wszystkich jej okolicach. Obecnie Europa dopiero pokrywa się gęstą siecią trójkątów geodezyjnych, a roboty według wspólnego planu prowadzą się pod kierunkiem Komisji międzynarodowej, pozostającej w pewnym związku ze znanem nam już Biurem międzynarodowym miar i wag. Europa wszakże jest drobną tylko cząstką Ziemi, a ukończenie pomiarów całej jej powierzchni dalekim dopiero przyspaść może pokoleniom.

Po bardziej uderzające przykłady olbrzymich pomiarów sięg-

nać nam wypada poza granice drobnej naszej planety. Pomiarzy Ziemi dają wstęp dopiero do właściwych pomiarów astronomicznych. Już genialni astronomowie greccy pokusili się o oznaczenie odległości Słońca i do rozwiązania tego, tak napozór niedostępno-go zadania obmyślili również metody słuszne, zawiodły ich tylko błahe narzędzia, jakimi rozporządzali. Wyobraźmy sobie dwu obserwatorów, umieszczonych na końcu jednej średnicy ziemskiej i zwracających wzrok swój ku tarczy słonecznej; gdy w kierunku, w jakim wzrok ich biegnie, poprowadzimy linie proste, złoży się trójkąt, mający za podstawę średnicę Ziemi, a wierzchołek w Słońcu. Ponieważ długość podstawy tej już znamy, gdy zdołamy przeto oznaczyć jeszcze kąty tego trójkąta ogromnego, proste zasady Geometrii pozwolą nam obliczyć długość boków pozostałych, szukaną zatem właśnie odległość Słońca. W zestawieniu wszakże z oddaleniem od nas Słońca Ziemia jest drobiazgiem nieznanym, a jakkolwiek obrana podstawa naszego trójkąta obejmuje 1700 mil geograficznych przeszło, jest on tak wydłużony, że boki jego, do Słońca zmierzające, biegną równoległe prawie, obejmują w wierzchołku kąt ledwie 17 sekund, czyli dwudziestotysięczną część kąta prostego. O szkopał oznaczenia kąta tak drobnego rozbiły się usiłowania astronomów dawnych, a i dziś jeszcze, pomimo całej potęgi lunet i dokładności połączonych z nimi narzędzi mierniczych, zadanie jest tak trudne, że wymaga drogi pośredniej. Korzystają więc astronomowie z rzadkiego zjawiska przejścia Wenusy przed Słońcem, gdy planeta ta jako punkt czarny przesuwa się przez tarczę słoneczną, i punkt ten za wierzchołek wspomnianego trójkąta obierają. W ten sposób oznaczają wprawdzie odległość Wenusy tylko, ale związki wzajemnej zależności, jakie między bryłami układu słonecznego istnieją, pozwalają już stąd obliczyć odległość Słońca i wszystkich innych planet.

I teraz jeszcze, po tak długiej i wytrwałej pracy licznych pokoleń, stanowczo powiedzieć nie możemy, jak do Słońca daleko, ale niepewność tyczy się zaledwie jakich pięćdziesięciu tysięcy mil, co w stosunku do odległości dwudziestu milionów mil jest wielkością tego ledwie rzędu, co pomyłka, jakąbyśmy popełnili, oceniając odległość Warszawy od Krakowa o kilometr błędnie. I nad usunięciem drobnej tej niepewności pracują teraz gorliwie astronomowie, nie czekając na następne przejście Wenusy, które powtórzy się dopiero w początkach XXI stulecia.

Arcydziełem jednak miernictwa astronomicznego jest dopie-

ro oznaczanie odległości gwiazd stałych, z których najbliższe nawet mieszczą się od nas setki tysięcy i miliony razy dalej, aniżeli Słońce. Metoda pomiarów tych nie różni się w zasadzie od powyższej, podstawą ich wszakże nie jest nikła średnica Ziemi, ale średnica całej drogi ziemskiej. Skoro Ziemia położenie swe w ciągu roku zmienia, olbrzymie przebiegając przestworza, to bieg jej winien odzwierciedlać się w ruchu gwiazd, podobnie jak przed oczyma podróżnika przesuwały się drzewa dalekie; gdy na gwiazdę którąkolwiek dziś spoglądamy, to po upływie półroczu patrząc na nią będziemy ze stanowiska o całą długość średnicy drogi ziemskiej, o 40 milionów mil zatem oddalonego. Znowuż więc w wyobraźni naszej staje trójkąt, wierzchołkiem gwiazdy tej sięgający, ale tym razem wsparty na podstawie 40 milionów mil obejmującej, i potrzeba znów tylko kąty jego zmierzyć, by odległość gwiazdy otrzymać. Trudności wszakże są tu większe jeszcze, niż poprzednio, pomimo bowiem podstawy tak niesłychanej, boki trójkąta będą równoległe zupełnie, co znaczy, że droga cała, po której Ziemia dokoła Słońca się toczy, punktem jest ledwie względem odległości, w jakich się gwiazdy stałe mieszczą. Napróżno też stronnicy Kopernika, by widoczny dowód biegu Ziemi otrzymać, starali się to pozorne przesuwanie się gwiazd czyli paralaksę ich roczną uchwycić; w bieżącym dopiero stuleciu, gdy doskonałość narzędzi astronomicznych wzrosła tak dalece, że z dostatecznym przybliżeniem oceniać pozwalają dziesiąte części sekundy miary kątowej, zdołano, około r. 1840, wykazać pierwszą paralaksę roczną gwiazdy stałej, wynoszącą kilka zaledwie dziesiątych części sekundy, a od tego czasu zmierzono dotąd ogółem paralaksy 45 gwiazd stałych. Dla tej więc tylko niewielkiej ilości gwiazd nakreślić można i rozwiązać trójkąty odległości ich wskazujące, trójkąty tak wydłużone, że wierzchołkowe ich kąty drobne tylko ułamki sekundy wynoszą, kąta prostego milionowe jakies części. Najbliższa nam nawet, wspaniała gwiazda półkuli południowej Nieba, α Centaura, jest tak jeszcze oddalona, że światło, które przecież 42000 mil na sekundę ubiega, potrzebuje lat czterech, aby drogę tę przebyło. Od jasnego Arktura wszakże przybywa światło do nas dopiero po upływie lat 163, czyli, innymi słowy, patrząc na tę gwiazdę, dostrzegamy ją nie w dzisiejszym jej stanie, ale widzimy ją, jaką była przed 163 laty. Najdalszą zaś z owych 45 gwiazd, których odległość dotąd zmierzono, jest γ Kasyopei, oddalona na 500 trylionów, t. j. milionów milionów mil geograficznych; na

przebycie tej przestrzeni światło łożyć musi lat 326, a pomiar, który nam ją tak dokładnie oceniać pozwala, jest zaiste podziwu godny.

Do powyższych kilkudziesięciu gwiazd, których paralaksę zmierzyć zdołano, dalsze badania dodadzą jeszcze zapewne jakąś ich liczbę, w porównaniu wszakże z całym zastępem gwiazd, po niebie rozrzuconych, ilość ich pozostanie zawsze bardzo nieznaczna. Wszystkie inne nie przedstawiają już żadnej paralaksy, mieszczą się już zbyt daleko, by dała się do nich zastosować opowiedziana tu metoda pomiarów bezpośrednich. Ducha ludzkiego nie zrażają wszakże trudności, a gdy na jednej drodze badań napotyka już tamy nieprzebyte, umie torować sobie drogi nowe, nieprzewidywane poprzednio. Zdobędzie więc z czasem i inne jeszcze sposoby dochodzenia wymiarów świata, a i dziś już nastęrczają mu dogodną sposobność gwiazdy podwójne, czyli układy słońc, wzajemnem przyciąganiem w systemat łączny związanych i dokoła wspólnego środka ciężkości krążących. Drogi ich i szybkość ich biegu dozwala luneta wysledzić, a stąd, wespół z innymi wskazówkami, które nasuwać się mogą, wyprowadzić się dają dokładne o odległości ich wnioski. Tym sposobem oznaczono już dotąd odległość dwudziestu kilku gwiazd podwójnych; między niemi znajdują się i gwiazdy, których paralaksa bezpośrednio była zmierzona, a rezultaty obu metodami osiągnięte dostatecznie się zgodnymi okazały. Ocena odległości gwiazd z ich blasku lub z szybkości własnego ich ruchu ma charakter zbyt hypotetyczny, by o nią tu potrać, ale przytoczone przykłady wskazują dostatecznie, jak daleko już poza obszary ziemskie i poza kresy układu słonecznego sięgnęło ściśle miernictwo astronomiczne.—Nie mniej jednak uderzające są też tryumfy sztuki mierzenia w dziedzinie wręcz przeciwniej, w pomiarach przestrzeni niewypowiedzianie drobnych, w świecie cząsteczek, dokąd już wzrok nasz nie przenika.

V.

Pomiary drobiazgow.

Przykłady najbardziej znane nastęrcza nam Optyka w długości fal świetlnych, która nie przechodzi dziesięciotysięcznych części milimetra. Wiemy dziś, że światło nie jest substancją nie-

ważką i nie składa się z cząstek, jak przyjmował niegdyś Newton, ale rozumiemy, wraz z Huygensem, że jest tylko objawem ruchu, ruchu drgającego, falistego, rozbiegającego się w powszechnym, wszechświatowym oceanie eterycznym na wzór fali, sunącej po powierzchni wody. Fal świetlnych nie widzimy, jak nie widzimy i światła, dostrzegamy bowiem tylko przedmioty oświetlone, ale możność badania tych fal następczają nam zjawiska interferencyi światła, znane choćby z baniek mydlanych, zdobiących się w barwy, pierścieniami rozłożone, i w pewnym, oznaczonym porządku po sobie następujące.

Barwne te smugi baniek mydlanych są następstwem krzyżowania się promieni, które przebiegają przez cienką ich błonę i odbijają się od ścian ją ograniczających. Gdy zaś dwa promienie, czyli dwie fale zbiegają się swemi górami lub swemi dołami, jednakimi zatem fazami swemi, wtedy wzmagają się nawzajem, natężenie światła w punkcie zetknięcia staje się silniejszym; gdy natomiast, przy krzyżowaniu się promieni, schodzą się ich fazy przeciwnie, góra fali jednej z dołem drugiej, ruchy te nawzajem się osłabiają i znoszą zupełnie, w punkcie przecięcia promieni niknie światło i ciemność zalega. Takie wszakże smugi jasne i ciemne naprzemian powstają tylko przy krzyżowaniu się promieni jednorodnych czyli jednobarwnych, czerwonych, dajmy, żółtych albo niebieskich; w takim oświetleniu jednorodnem różnobarwność w bańkach mydlanych nie występuje, mamy jedynie szereg pierścieni, ciemnych naprzemian i jasnych, jednobarwnych, przyczem uderza nas ta jeszcze okoliczność, że w świetle czerwonym smugi te szersze są, aniżeli w żółtym, węższe zaś jeszcze, gdy do oświetlenia użyte są promienie niebieskie lub fioletowe. Barwy więc, jakimi w warunkach zwykłych powlekają się bańki mydlane, są wynikiem jedynie tego, że światło zwykle czyli białe złożone jest z promieni różnobarwnych; zachodzi tu jakby rozszczepienie światła białego. W punktach, gdzie wzmagają się drgania promieni czerwonych, niszczą się fioletowe, i nawzajem, gdzie się sumują fioletowe, znoszą się czerwone; z interferencyi więc promieni zwykłych, czyli promieni światła białego, wytwarzają się smugi różnokolorowe, pierścienie barwne baniek mydlanych.

Ponieważ smugi interferencyjne, jasne i ciemne, są następstwem tego, czy promienie zbiegają się zgodnemi czy też sprzecznyemi fazami fal swoich, przy różnych zaś barwach mają szerokość różną, wypływa więc stąd bezpośrednio, że promienie, które w oku

naszem wrażenie barw różnych sprawiają, różnią się między sobą długością fal, — fale, tworzące barwę czerwoną, są dwa razy prawie dłuższe, aniżeli fale, wydające światło fioletowe.

Bańki mydlane nie przedstawiają wprawdzie warunków odpowiednich do badań dokładnych i do ścisłych pomiarów, można wszakże podobnież smugi wywołać w sposób korzystniejszy. Przypuśćmy, że z dwu źródeł światła, z dwu punktów świecących, rozbiegają się promienie, które się z sobą spotykają i krzyżują, na przeciwległej więc przegrodzie rysować będą szereg smug jasnych i ciemnych, stosownie do tego, czy w punktach tych drgania ich nawzajem się wzmagają, czy też znoszą się i niszczą. Wzmagają się zaś, gdy zbiegają się fazami zgodnemi, znoszą się, gdy spotykają się ich fazy przeciwne, góra fali jednej z dołem drugiej, gdy więc promienie różnią się o połowę długości jednej fali. W doświadczeniu tem zmierzyć możemy szerokość smug, odstęp między obu źródłami światła i odległość od nich przegrody, na której się smugi rysują, a z danych tych oznaczyć już można, o ile jeden z dwu spotykających się w danym punkcie promieni dłuższy jest od drugiego, to zaś właśnie, według rozważań powyższych, daje nam wreszcie żadaną długość fali światła badanego.

Tą więc drogą oznaczone zostały długości fal świetlnych, a dokładność osiągniętych rezultatów potwierdziły i inne metody doświadczalne. Potwierdzenie takie było w tym razie potrzebne, by usunąć wątpliwość, czy środki nasze wystarczają do ujęcia wymiarów tak drobnych, mamy tu bowiem do czynienia z ułamkami jedynie tysięcznych części milimetra. Dla żółtego światła sodowego, jakie otrzymujemy, gdy do płomienia alkoholowego szczyptę soli kuchennej wprowadzamy, długość fali wynosi 0,0005895 czyli około $\frac{1}{1700}$ milimetra, co znaczy, że na rozległości cała warszawskiego, który obejmuje 24 milimetry, rozkłada się 40800 fal światła żółtego. Fale czerwone, czyli raczej fale wzniesające w oku naszym wrażenie czerwieni, są dłuższe, czynią około $\frac{1}{1100}$ milimetra, fale zielone, niebieskie, są krótsze, a najmniejszą długość obejmują fale promieni fioletowych, $\frac{1}{2100}$ milimetra, dwa razy przeto, mniej więcej, krótsze są od skrajnych promieni czerwonych. Z krótszych jeszcze fal złożone promienie nie wywierają już na oko nasze wrażenia, dostrzega je wszakże płyta fotograficzna i obecność ich zdradza.

W warunkach tylko życia zwyczajnego wydaje się nam milimetr jednostką nikłą i nieznaczną, w nauce wszakże tak często następują się drobne jego ułamki, że dla dogodności przyjęto je-

szcze tysięczną część jego, jako dalszą jednostkę długości, i nazwano ją mikronem, ale i mikrona tego tysięczną jeszcze część również często spotykamy. A nawet w tych drobnych dopiero wymiarach fal świetlnych znajduje fizyk naturalną jednostkę miar długości, jakiej napróżno w metrze oczekiwał. Metr, w samej rzeczy, nie może odpowiadać nałożonemu mu określeniu, by był dziesięciomilionową częścią ćwiartki południka ziemskiego; wiemy dziś bowiem, że różne południki nie są zupełnie między sobą równe, a sama Ziemia ulega jeszcze zmianom, drobnym wprawdzie i niedostrzegalnym, które wszakże po upływie tysiącleci na rezultat wyraźny złożyć się mogą. Tak samo zresztą i etalony metra, chociaż tak starannie wyrobione, doznać mogą z biegiem czasu pewnych przeobrażeń wskutek powolnej pracy sił międzycząsteczkowych, lub dla jakiegokolwiek powodu, który przewidzieć trudno. Długość natomiast fal świetlnych zależy tylko od własności atomów drgających, oraz eteru powszechnego, wedle wszelkiego więc prawdopodobieństwa, jest to wielkość stateczna, na wszystkie czasy niewzruszona. Należało tylko do porównania tego obrać światło odpowiednie, zupełnie jednorodne czyli jednobarwne, któreby przy tworzeniu smug interferencyjnych rozszczepianiu nie ulegało. Zadaniem tem zajął się fizyk amerykański Michelson i ukończył je w roku 1894 w Biurze międzynarodowem miar i wag w Paryżu. Po wielu próbach najodpowiedniejszym do celu tego okazał się promień czerwony widma kadmu, jednego z pierwiastków metalicznych, pokrewnych cynkowi, a w rezultacie zmudnych tych pomiarów okazało się, że na długości jednego metra przypada 1 553 664 fal czerwonego światła kadmowego w powietrzu, w temperaturze 15° C. i pod normalnem ciśnieniem barometrycznem; od średniego tego rezultatu odstępstwa oddzielnych szeregów doświadczeń wynosiły zaledwie długość połowy fali, co innemi słowy znaczy, że błąd możliwy w takim pomiarze metra nie dochodzi $\frac{1}{3000000}$ jego części. Już teraz więc za naturalną jednostkę długości możnaby przyjąć tę niesłychanie drobną długość fali czerwonego światła kadmowego, dodając, że przyjęta jednostka praktyczna, metrem zwana, obejmuje 1 553 664 takich jednostek naturalnych i niezmiennych. Choćby więc teraz zaginęły lub uszkodzeniu uległy urzędowe pierwowzory metra, lub choćby Ziemia bardziej jeszcze pomarszczyła starzejącą swą skorupę, a tem samem długość swych południków zmieniła, długość metra odnajdzie zawsze fizyk w przyszłości z promienia kadmu rozżarzonego.

Fale świetlne nie są bynajmniej kresem, do którego sztuka miernicza dotarła, posunęła się już bowiem i do drobiazgów dal-
szego jeszcze, niższego rzędu, do świata cząsteczek i atomów. Fi-
zyk dzisiejszy niechętnie wprawdzie o atomach rozprawia, istoty
materyi nie przeniknął jeszcze, a wzdraga się przed jałową speku-
lacją, czy jest materya do nieskończoności podzielna, ale żądza po-
miarów i w tej niedostępnej nie opuszcza go dziedzinie. Pojmuje
on budowę materyi, jak gmacchu z cegieł wystawionego; można
gmacch na cegły rozłożyć, jako na ostateczne i jednorodne między
sobą składowe jego części, gdy wszakże cegłę dalej w proch ze-
trzymy, zniszczymy same elementy budowli. Podobnie i atomem,
albo raczej cząsteczką czyli molekulą, jest najmniejsza cząstka sub-
stancyi, która istnieje i porusza się jako całość, choćby dalej obej-
mowała jeszcze drobniejsze części składowe. O tak zaś pojmywa-
nych cząsteczkach czy też atomach nie można już teraz mówić, że
są nieskończenie, lub choćby tylko niewypowiedzianie drobne,
wielkość ich bowiem oceniać i określać umiemy.

Gdy na powierzchni wody złożymy ostrożnie igłę stalową,
pozostaje ona na tej powierzchni i nie tonie, wbrew ciężkości, któ-
ra ją ku dołowi pociąga. Wierzchnia bowiem warstwa cieczy jest
w stanie pewnego naprężenia, tworzy jakby błonę nader ciekłą,
uciskającą głębsze warstwy cieczy, jest siedliskiem pewnych sił
międzycząsteczkowych, których obręb działalności do najbardziej
tylko sąsiednich sięga cząsteczek. W ostatnich czasach przypo-
mniano sobie i stwierdzono spostrzeżenia dawnych żeglarzy, że
warstwa oleju, po wzburzonym morzu rozpostarta, rozszalała jego
bałwany uspokaja. Osobliwe to zjawisko, do wyjaśnienia nieco
trudne, sprowadza się w każdym razie do tego, że oliwa, zawsze
po nad wodę wypływając, znosi swobodną jej powierzchnię i ta-
muje ujawnianie się jej napięcia powierzchniowego, którego ener-
gia jest głównym źródłem całej grozy. Doświadczenia zaś wykaza-
ły, że litr oliwy wystarcza do uspokojenia morza na rozległości
19000 metrów kwadratowych, — grubość błony oliwy wynosi wte-
dy nie więcej nad $\frac{1}{500000}$, czyli nad dwie milionowe części milime-
tra. W błonie tej wszakże bardzo niewiele, albo i jedna zaledwie
tylko warstwa cząsteczek mieścić się może, pomiar ten zatem daje
nam pojęcie o wielkości cząsteczek, a przynajmniej górną jej gra-
nicę wykazuje.

Inne metody, bardziej teoretyczne, ściślej jeszcze wielkość
cząsteczek ująć pozwalają. Gdy promień światła przedziera się

przez ciało przezroczyste, ulega w niem przeobrażeniom, załamuje się, rozszczepia, a w zmianach tych wybija się wpływ układu cząsteczek na fale eteru. Tak samo przecież i fala wodna roztrąca się, przeinacza, gdy w gęsty archipelag drobnych wysepek się wrzyna. Załamywanie i rozszczepianie światła może więc mieć miejsce tylko pod warunkiem, że odległości wzajemne między cząsteczkami ciał, przez które światło przechodzi, nie są zbyt drobne, względnie do długości fal świetlnych; skoro zaś ostatnia ta długość jest znana, mamy też dane do oceny wielkości międzycząsteczkowych. Ogólniejszą, wszakże i pewniejszą drogę wskazuje teoria cyneetyczna gazów, która, przyjmując, że ciepło jest objawem ruchu najdrobniejszych cząstek ciała, zdołała obliczyć nietylko ich prędkość, ale oznaczyła nadto odstępów międzycząsteczkowe i wielkość samychże cząsteczek. Przytoczone zresztą metody nie wyczerpują jeszcze wszystkich dróg, któremi Fizyka dzisiejsza zapuszczać potrafi sondę w to morze atomów, a z obliczeń, które najstaranniej przeprowadził William Thomson, obecnie tytułem lorda Kelvin obdarzony, wypływa, że średnica składowych cząsteczek powietrza, którem oddychamy, nie jest niewątpliwie znacznie mniejsza od $\frac{1}{1000000}$ milimetra, a może nawet i do granicy tej nie schodzi. Ze znacznem również prawdopodobieństwem twierdzić można, że w cieczech lub ciałach stałych odległość średnia między środkami cząsteczek sąsiednich jest mniejsza od $\frac{1}{500000}$, większa zaś od $\frac{1}{100000000}$ milimetra.

Podane tu granice zawierają wprawdzie znaczny jeszcze między sobą odstęp, dają jednak pojęcie o ziarnistej budowie materji. Wyobraźmy sobie kulę wodną wielkości melona, rozrastającą się aż do wymiarów Ziemi, której cząsteczki w takimże powiększałyby się stosunku, a wtedy cząsteczki te miałyby prawdopodobnie wielkość, przypadającą między wielkością ziarn szrotu a wielkością melonów.

Rezultaty pomiarów tak niezwykłych może się mało wiarygodnymi wydawać będą; aby je z ufnością przyjmować, trzeba pewnego oswojenia z metodami badań naukowych. Spotyka się ludzi, co ramionami wzruszają, gdy o odległości Słońca mowa, a inni znowu, choć pomiary astronomiczne uznają, nie pojmują możebności mierzenia drobiazgów tak nikłych, jak fale świetlne lub cząsteczki materji. Oba te wszakże zadania schodzą się ze sobą, jedno jest tylko odwróceniem drugiego. Gdy odległości Słońca i gwiazd dochodzimy, idzie tu w istocie rzeczy o oznaczenie ich

paralaksy, która przecież jest kątem nader drobnym. Drobne znów wymiary fal świetlnych odwracają się w liczby olbrzymie, gdy pytamy o szybkość drgań cząstek eteru, fale te wzbudzających. Wypływa to z prostego już rachunku. Światło przebiega w ciągu sekundy 300 000 kilometrów, co daje 300 000 milionów milimetrów. Ponieważ zaś, jak widzieliśmy, długość fali żółtego światła sodowego wynosi $\frac{1}{1700}$ milimetra, na przestrzeni przeto milimetra przypada fal takich 1700, a na drodze, jaką światło w ciągu sekundy przebiega, mieści się ich $30\,000\,000\,000 \times 1700$, co daje 510 trylionów (t. j. milionów milionów). Ruch wszakże falowy przesuwa się o jedną falę w tym właśnie czasie, w którym cząstka oddzielna jedno swe drgnięcie kończy; liczba przeto powyższa znaczy innemi słowy, że w promieniu światła żółtego każda cząstka eteru wykonywa 510 trylionów drgań na sekundę, wychyla się w ciągu sekundy 510 trylionów razy w jedną i drugą stronę swego położenia średniego. Światło fioletowe, którego fale są krótsze, odpowiada drganiom częstszym jeszcze, wynoszącym 800 trylionów na sekundę. Drobniejsze wymiary atomów i cząsteczek do bardziej jeszcze ogromem uderzających liczb wiodą, w jednym bowiem centymetrze sześciennym wody, w niewielu jej zatem kroplach, mieści się 10^{27} (t. j. 10 z 27 zerami) cząsteczek oddzielnych.

Wszystko to znaczy po prostu, że liczba mała wyraża się ułamkiem o mianowniku wielkim. Zero symbolizuje się znakiem $\frac{1}{\infty}$. Nieskończona małość jest odwróceniem tylko wielkości nieskończonej. Pomiaru rzeczy drobnych następują trudności tegoż samego rzędu, co i pomiary przestrzeni olbrzymich.

VI.

Zważenie Ziemi i ciężary atomów.

Jak zmierzenie Ziemi dało nam pierwszy przykład wielkich pomiarów, tak też jej zważenie świadczy o umiejętności dochodzenia ciężarów potężnych. Przyciąganie, jakie Ziemia na ciała wywiera, od jej masy zależy, przyciąganie zaś to mierzymy ruchami wahadła lub szybkością spadku ciał; porównywając więc przyciąganie Ziemi z przyciąganiem, jakie wywiera bryła znanej masy, przy uwzględnieniu innych jeszcze okoliczności, mamy dane do oznaczenia masy Ziemi. Wyraża się ona w kilogramach potworną

liczbą, złożoną z 25 cyfr, którą w przybliżeniu przedstawić można przez piątkę, ciągnącą za sobą szereg 24 zer; za wiarogodność jej rzeczy wzajemne poparcie różnych metod doświadczalnych, które do zgodnego prowadzą rezultatu. Ogromna ta liczba jest znowu wstępem do potężniejszych jeszcze liczb astronomicznych, Mechanika bowiem niebieska uczy, jak z biegu planet dokoła Słońca przyciąganie jego, a tem samem, przez porównanie z masą Ziemi, masę jego oznaczyć można. Wiemy więc stąd, że od planety naszej Słońce 300 000 razy więcej waży, masa jego wynosi tedy 15×10^{30} (t. j. 15 z 30 zerami) kilogramów. I na tem wszakże nie koniec jeszcze: obieg bowiem wzajemny gwiazd podwójnych, skoro odległość ich jest znana, również do wniosków o ich masie prowadzi. Syryusz, świetna gwiazda nocy zimowych, waży 14 razy blisko, a ciemny jego towarzysz, którego przy pomocy najpotężniejszych przyrządów ledwie dostrzedz zdołano, 7 razy więcej aniżeli nasza bryła słoneczna. Są to oceny rzetelne zupełnie: kupiec, co funt cukru waży, popełnia błąd stosunkowo większy zapewne, aniżeli przy ocenie masy tych światów dalekich.

W tym samym czasie, sto lat przeszło temu, gdy po raz pierwszy Ziemię zważono, nauczył się też chemik atomy swych pierwiastków ważyć. Potrzeba mu było do tego jedynie użyć wagi do pomocy przy badaniach nad przeobrażeniem ciał, oznaczyć stosunki, w jakich pierwiastki łączą się między sobą, gdy się z nich związki złożone wytwarzają. Wiemy więc, że atom tlenu jest 16, a atom żelaza 56 razy cięższy od atomu wodoru; chociaż zaś są to tylko liczby stosunkowe, wystarczają do wysnuwania daleko sięgających wniosków o budowie materji, przytoczone zaś wyżej pomiary wielkości atomów otwierają nawet drogę do oznaczenia i bezwzględnych ich ciężarów.

VII.

Okresy geologiczne i nikłe ułamki sekundy.

Niemniej i w pomiarach czasu objęła nauka okresy olbrzymie, przechodzące o wiele ten drobny ciąg czasu, przez jaki nam дано istnieć na Ziemi, przez jaki trwać ma cały ród ludzki, od początku bytu aż do ostatniego tchnienia swego. Z grubości pokładów osadowych i z rozległości dolin przez erozyę wymulonych, odczytuje geolog czas, przez jaki formowała się skorupa ziemska,

niewątpliwe zaś zwalnianie obrotu osiowego Ziemi sięgnąć pozwala do tej epoki pierwotnej, gdy planeta nasza wyłoniła się z macierzystej mgławicy i krzepnąć zaczynała, a objawy promieniowania słonecznego ukazują nawet chwilę, gdy Słońce ciepłem i światłem swoim darzyć nas zaprzestanie. Jeżeli zaś ocenom okresów tak niesłychanych brak jeszcze ścisłości dostatecznej, to natomiast mierzenie krótkich przeciągów czasu, drobnych ułamków sekundy, osiągnęło już dokładność uderzającą.

Chronoskopy, których urządzenie najczęściej na zastosowaniu prądów elektrycznych polega, wybijają tysięczne i dziesięciotysięczne części sekundy; przy ich pomocy wykrywa artylerzysta szybkość biegu pocisku armatniego w różnych punktach jego drogi, a fizyolog ocenia czas, jaki upływa, zanim wrażenie na zmysł wywarłe za pośrednictwem nerwu do mózgu dochodzi. Te wszakże tryumfy sztuki mierzenia, podziwu naszego wzniecać nie będą, drganie bowiem, które sprawia w oku naszym wrażenie czerwieni, trwa ledwie $\frac{1}{400\ 000\ 000\ 000\ 000}$ część sekundy, a poczucia barwy fioletowej doznajemy od drgania dwa razy jeszcze szybszego. Chwilki tak niewypowiedzianie krótkie, ułamki tak drobne, są to znowu odwrócenia tylko liczb olbrzymich, wyżej przytoczonych.

VIII.

Jeżeli kreski dosyć są cienkie, wprawny obserwator łatwo ocenić może dziesiątą część odstępu między niemi; ponieważ zaś termometr dokładny łatwo na dziesiąte części stopnia podzielić się daje, unikać przeto przy odczytywaniu można błędu, przechodzącego $\frac{1}{100}$ część stopnia. Nie należy zaś sądzić, by wszelkie te ulepszenia termometru dla pracowni jedynie naukowych znaczenie posiadały, w życiu bowiem zwyczajnem niezbędny jest także dokładny pomiar temperatury. Termometr lekarski, który daje wskazania o stopień tylko błędne, mógłby niebezpieczne powodować pomyłki przy badaniach stanu chorego. Gdy zresztą idzie o ocenę nader drobnych różnic temperatury, posiada nauka inne zupełnie przyrządy; zbudowany niedawno przez Langleya bolometr wykazuje zmianę, przechodzącą $\frac{1}{100\ 000}$ stopnia. Opisywać ich tu nie mamy potrzeby; pobieżny szkic dziejów termometru przytoczyliśmy jedynie, by zuany ten każdemu przyrząd zaświadczył, jak znacznemu udoskonaleniu uległy w ostatnich czasach wszelkie w ogólności przyrządy miernicze.

Niezmierną też dogodność dało połączenie przyrządów mierzniczych z mechanizmem samopiszącym, automatycznie wskazania ich notującym. Przyrząd samopiszący uwalnia obserwatora od potrzeby ciągłej czujności i działa tam nawet, gdzie dostęp dla człowieka jest zgoła niemożliwy. Meteorolog przyczepia barografy swe i termografy do balonów samopas puszczonech, które się wzbijają do wysokości piętnastu i dwudziestu tysięcy metrów, a gdy na ziemię wracają, w nakreślonych przez przyrządy liniach wskazują mu temperaturę tych dalekich kresów atmosfery. Tak samo pozostawia je na szczycie Montblanc przez całą zimę, skoro zaś pora cieplejsza wdrzeć mu się tam dozwoli, znajduje przebieg objawów atmosferycznych, wypisany w ciągu miesięcy całych.

IX.

Mierzenie ilości ciepła.

Historia termometru nasuwa nam bezpośrednio dalsze uwagi o rozwoju sztuki mierzenia.

Termometr, jakkolwiek go tak uporczywie po polsku ciepłomierzem nazywamy, ciepła bynajmniej nie mierzy. W istocie rzeczy ujmuje on tylko ściśle i według skali ustalonej toż samo stopniowanie wrażeń, jakich doznaje ręka, dotykając kolejno przedmiotów chłodniejszych i cieplejszych; pewnością swych świadectw jedynie góruje nad poczuciem nerwów naszych, dokładniej tylko wypowiada, o czem wprost zmysły mówią, i stąd też wskazania jego są tak dla wszystkich zrozumiałe. Ale wzmożoną tą właśnie bacznością zdradza nam objawy, któreby bez pomocy jego odsłonić się nie dały. Gdyby nie termometr, nie wiedzielibyśmy dotąd zapewne, że żelazo prędzej się aniżeli woda ogrzewa, że lód przy najsilniejszym nawet ogniu zachowuje podczas topienia temperaturę niezmienną. Spostrzeżenia zaś te nasuwają nowe pojęcie, uczą bowiem, że rozmaite ciała do jednakiego ogrzania różnych wymagają „ilości ciepła“, a przy topieniu pewną „ilość ciepła“ pochłaniają czyli utajają. Ciepło to wszakże jest pojęciem tylko, przyczyną nieznaną szeregu objawów, która się kwartą ni wagą ująć nie daje; do niewątpliwych więc tryumfów sztuki mierzenia zaliczyć możemy, że nauczono się ilościowo je oceniać.

Przez zmieszanie kilograma wody do 80° ogrzanej z kilogramem lodu topniejącego, otrzymujemy dwa kilogramy wody o tem-

peraturze 0°. Ciepło więc, które traci kilogram wody, stygnąc o 80°, wystarcza właśnie do stopienia tego lodu, nie wpływając bynajmniej na jego ogrzanie, kilogram tedy lodu do stopienia swego wymaga 80 razy więcej ciepła, aniżeli woda do ogrzania o jeden stopień. Jeżeli więc, dla uproszczenia, ilość ciepła potrzebną do ogrzania kilograma wody o 1° nazwiemy krótko „ciepłostką“; powiedzieć możemy, że kilogram lodu do przeprowadzenia go w stan ciekły, wymaga 80 takich ciepłostek. Podobnie, gdy dostrzegamy, że przy tym samym ogniu i w jednakich zresztą warunkach kilogram żelaza ogrzewa się o 100 stopni w tymże czasie, gdy kilogram wody temperaturę swą o 10 tylko stopni podwyższa, powiemy, że żelazo do ogrzania swego wymaga dziesięć razy mniej ciepła aniżeli woda, albo krócej, że ciepłem właściwym żelaza jest $\frac{1}{10}$ ciepłostki. Jakiegokolwiek zaś metody do pomiarów tych obmyślane będą, polegają one zawsze na tej podstawie, że do mierzenia ciepła pewną jego ilość za jednostkę obieramy; ciepłostka jest jednostką również dowolną, jak funt lub kwarta, ale również, jak funt lub kwarta, do potrzeb praktycznych niezbędna, gdy idzie o wartość różnych materiałów opałowycych, o zalety pieców różnej konstrukcyi, albo gdy fizyologiczne lub patologiczne sprawy organizmu naszego rozważamy.

Pomijając wszakże względy praktyczne, w pomiarach tych to nas przedewszystkiem uderza, że nie są one zgoła od jakiegokolwiek pojęć o istocie ciepła zawisłe; oceniając ilość ciepła, nie pytamy bynajmniej, czem jest to ciepło, mierzymy wielkość, której natura jest nam nieznaną. Niezależność ta pomiarów daje moc nauce, czyni rusztowanie jej na wszystkie czasy niezłomne, choć gmach jej w różne hipotezy i teorye zdobić się może. Gdy zaś, usprawiedliwioną wiedzeni ciekawością, posiąść pragniemy odpowiedź na pytanie, jaka jest istota ciepła, czem jest ta przyczyna zjawisk widocznych, znowu pomiary te drogę do rozwikłania zagadki nam torują. Skoro bowiem zestawiono pomiary cieplikowe z mechanicznymi, poznano, że między niemi zachodzi ścisły związek liczebny, pewna równoważność; gdy ciepło do wykonywania pracy znaglamy, za jedną ciepłostkę otrzymujemy 424 kilogrammetry, co innemi słowy znaczy, że ilość ta ciepła dźwignąć może 424 kilogramy na metr w górę. Zasób węgla, jaki posiadamy, przedstawia nietylko daną ilość ciepła, ale także i oznaczoną ilość pracy; w naszych motorach parowych ciepło przeobraża się, przetwarzając w pracę, jest tylko pewną formą energii, nie możemy go

już, jak niegdyś, uważać za substancję, za płyn choćby nieważki, ale pojmować je musimy jak objaw ruchu jedynie, jako ruch nieostrzegalny, ruch najdrobniejszych cząstek materii. Dzisiejsza więc teoria ciepła, która tak znacznie znajomość naszą przyrody posunęła i o krok głębiej istotę materii przeniknąć dozwoliła, na gruncie tylko należycie zmierzonym wybujać mogła.

X.

Pomiary elektryczne.

Bardziej jeszcze uderzający przykład pomiarów tejże samej kategorii napotykamy w zawilej dziedzinie objawów elektrycznych. Jakkolwiek szczelnie utajona jest przed nami istota elektryczności, nie posiadamy bowiem zmysłu, któryby nam o niej świadectwo bezpośrednie dawał, jak daje o świetle lub ciepłe, nauczono się wszakże wielkości elektryczne oceniać ze ścisłością, wymaganą w pracowni naukowej i z dogodnością w czynnościach praktycznych niezbędną. Jak ilościowa ocena ciepła nie zawisła zgoła od pojęć, jakie o naturze jego mamy, tak też i ilość elektryczności oznaczać możemy, o jego istotę nie pytając bynajmniej.

Spostrzeżenia najprostsze i każdemu znane uczą, że dwa ciała, przez potarcie naelektryzowane, przyciągają się lub odpychają nawzajem. Doświadczenia zaś *Coulomba* 1785 r. wykazały, że te oddziaływania elektryczne zachodzą wedle prawa analogicznego z wykrytą przez *Newtona* zasadą wzajemnego przyciągania się ciał niebieskich. Dwa punkty elektryczne, to jest dwie, jak najdrobniejsze bryłki pewnemi ilościami elektryczności naładowane, przyciągają się lub odpychają z siłą proporcjonalną do iloczynu z tych ilości elektryczności, a odwrotnie proporcjonalną do kwadratu z ich oddalenia. Elektryczności ująć i zmierzyć bezpośrednio nie możemy, umiemy jednak mierzyć odległości i siły i posiadamy jednostki do ich oceny; możemy więc za jednostkę elektryczności obrać taką jej ilość, która pewne, oznaczone wywierac może przyciąganie lub odpychanie. Mając zaś w ten sposób określoną dokładnie jednostkę elektryczności, możemy tem samem, przy pomocy odpowiednich elektrometrów, w każdym razie oznaczać jakąkolwiek jej ilość, jakikolwiek jej ładunek. Przyjmując wszakże, że dwie cząstki elektryczne działają na siebie w stosunku odwrotnie

proporcjonalnym do kwadratu z odległości, przypuszczaliśmy tem samem, że pozostają one w spoczynku, gdy bowiem są w ruchu, oddziaływają na siebie w sposób bardziej zawiły, wedle prawa ogólniejszego. Układ więc miar elektrycznych, jaki tu przytoczyliśmy, opiera się na zasadach Elektrostatyki, na prawach elektryczności statycznej i nazywa się układem elektrostatycznym. Wystarczył on w zupełności, dopóki posiadano jedynie starą maszynę elektryczną i towarzyszącą jej stale butelkę lejdejską. Otrzymywano wtedy elektryczność w niewielkich wprawdzie tylko ilościach, ale skupiając ją w przestrzeniach ciasnych, albo raczej na szczupłych powierzchniach, nadawano jej znaczne natężenie, co przy nagłym jej odpływie czyli wyładowaniu przewodników sprowadzało błyszczące iskry i wstrząśnienia gwałtowne, dające obraz niszczących działań piorunu. Po wynalezieniu dopiero stosu galwanicznego, wyprowadzona z pracowni naukowych, dostała się elektryczność w ręce techników, inżynierów, otrzymała wartość handlową, a do oceny jej obmyślono nowe, odrębne jednostki, których osobliwe nazwy już teraz na każdym następcząc się kroku, a ilekroć mowa o projektach oświetlenia elektrycznego czy też tramwajów elektrycznych, czytelnicy pism codziennych potykają się o wolty, ampery, omy i inne terminy nowe, tak dziś powszednie, a zgoła nieznane tym, co przed kilkunastu czy przed kilku bodaj laty Fizyki się uczyli. Wyjaśnienie nowych tych pojęć wymagałoby długiego traktatu, spróbujemy jednak choćby znaczenie tych wyrazów pobieżnie wskazać.

Uzmysłowiony obraz prądu elektrycznego dać nam może przepływ wody przez rurę łączącą dwa naczynia, w których się ona na niejednakim znajduje poziomie. Bieg wody jest tem bystrzejszy, tem więcej przepływa jej przez rurę, im znaczniejsza jest różnica obu poziomów, ale zarazem obfitość przepływu zależy też i od swobody, z jaką się woda przez rurę przeciskać może, od średnicy rury zatem, jakoteż i od stopnia jej wygładzenia, od tego, czy chropowatości jej, szorstkości, mniejszy czy też większy opór ruchowi wody stawiają. W uzmysłowieniu tem różnica obu poziomów wody daje obraz różnicy elektrycznej biegunów, różnicy ich poziomów elektrycznych, albo, jak się mówić zwykło, różnicy ich potencjałów, różnica ta jest więc źródłem prądu elektrycznego, stanowi siłę elektrowzbudzącą. Bystrości zaś strumienia wody odpowiada natężenie prądu galwanicznego, które się tedy mierzy ilością elektryczności w danym czasie przepływającej, a prąd jest

tem silniejszy, im większa jest różnica poziomów elektrycznych, im jest większa siła elektrowzbudzająca danego stosu, lub jakiegokolwiek innego źródła elektryczności. Podobnie też jak ilość przepływającej wody od wymiarów i natury rury zawisła, i prąd elektryczny będzie tem słabszy, im większy opór w drucie napotyka, im drut ten jest cieńszy i dłuższy, im gorsze jest przewodnictwo materiału, z którego jest wyrobiony. Ostatecznie tedy, natężenie prądu jest tem większe, im większa jest siła elektrowzbudzająca, tem mniejsze zaś, im większy jest opór. Według takiego uzasadnienia natężenie prądu daje się wyrazić przez ułamek, właśnie bowiem wartość ułamka wzrasta wraz z powiększaniem się licznika, maleje zaś wraz z powiększaniem się mianownika; możemy więc napisać w postaci matematycznej:

$$\text{natężenie prądu} = \frac{\text{siła elektrowzbudzająca}}{\text{opór}}, \text{ albo krócej } N = \frac{E}{O}, \text{ je-}$$

śli dla uproszczenia powyższe trzy wielkości oznaczmy głoskami N , E , O .

Głoski te są to tylko znaki, symbole, którym należy nadawać wartości liczebne, by wzór powyższy miał znaczenie matematyczne, by był przydatny do rachunków i by prowadził do wniosków praktycznych. Aby zaś wielkość jakąkolwiek zmierzyć, trzeba mieć jednostkę odpowiednią, miarę pewną, pewną obraną wielkość tegoż samego rodzaju. Przez czas długi w ocenie tych wielkości elektrycznych miała miejsce dowolność i rozmaitość, przypominająca zamęt, jaki panował, gdy w różnych krajach posługiwano się różnemi łokciami i funtami, aż wreszcie kongres elektryczny 1881 r. w Paryżu uchwalił miary, które zarówno w nauce, jak w technice i przemyśle powszechnie przyjęte zostały.

Według uchwały tej jednostką siły elektrowzbudzającej, czyli napięcia elektrycznego, jest jeden „wolt“, tak nazwany na cześć znakomitego wynalazcy stosu. Do oznaczenia wielkości tej jednostki doprowadziły pewne względy mechaniczne, o których tu mówić nie będziemy; nadmienimy tylko, że wolt, czyli jednostka praktyczna siły elektrowzbudzającej, przedstawia z dostatecznym przybliżeniem siłę elektrowzbudzającą jednego ogniwa pierwotnego stosu Volty, składającego się z płytki cynkowej i miedzianej, w wodzie zakwaszonej zanurzonych. W powszechnie używanych obecnie stosach Bunsena siła elektrowzbudzająca jednego ogniwa wynosi 1,85 wolta, a maszyny dynamo-elektryczne, służące do

oświetlania, przedstawiają na biegunach swych różnicę elektryczną stu woltów i więcej.

Jednostką oporu jest jeden „om“, przechowujący swą nazwą pamięć fizyka niemieckiego Ohm a, który wykrył przytoczone wyżej prawa działalności prądu galwanicznego. Jeden om jestto opór, jaki przedstawia słup rtęci o przecięciu jednego milimetra kwadratowego, a długi na 106 centymetrów. Gdybyśmy opór ten mierzyć chcieli drutem miedzianym tegoż samego przecięcia, należałoby mu nadać długość 51 metrów, miedź bowiem daleko lepszym jest przewodnikiem, aniżeli rtęć.

Skorośmy zaś ustalili dwie te jednostki, oznaczona jest już tem samym i jednostka trzecia, natężenia prądu. We wzorze bowiem $N = \frac{E}{O}$, jeżeli $E = 1$ i $O = 1$, jest też $N = 1$. Jednostka ta ma nazwę „amper“, od nazwiska A m p è r e ' a, któremu zawdzięczamy znajomość elektromagnetyzmu, i możemy napisać, że

$$1 \text{ amper} = \frac{1 \text{ wolt}}{1 \text{ om}}.$$

W telegrafii lub w elektroterapii używają się prądy słabego natężenia, tak, że mierzą się zaledwie miliamperami, to jest tyśiącznymi częściami ampera. W lampach elektrycznych żarowych do rozżarzenia włókienka węglowego wystarcza prąd o natężeniu około jednego ampera, ale lampy łukowe wymagają 7 do 8 amperów natężenia, a w potężnych lampach elektrycznych, używanych jako latarnie morskie, natężenie prądu podsyca się do kilkuset amperów. Znacznie większy jest natomiast opór włókna węglowego w lampie elektrycznej. W lampie o sile 16 świec włókno rozżarzone przedstawia opór około 150 omów; we włóknie zimnem prąd napotyka opór dwa razy jeszcze większy.

Wielcy mężowie, którzy pracami swemi budowali fundamenty olbrzymiego gmachu wiedzy elektrycznej, nie przewidywali zapewne, że nazwiska ich staną się jednostkami rachunkowymi, licznikami i mianownikami. Tego rodzaju oddawanie hołdu pamięci ludzi w nauce zasłużonych jest rzeczywiście zwyczajem zupełnie nowym, tradycją nieprzekazanym. Protestowali nawet niektórzy przeciw takiemu przenoszeniu nazwisk uczonych do słownictwa naukowego, co może dać podniechęć do zawiści międzynarodowych w dziedzinie nauki; pomimo to nazwy jednostek elektrycznych powszechnie przyjęte zostały.

Cały ten zbiór jednostek, do mierzenia objawów prądu służą-

cy, stanowi układ miar elektro-dynamicznych, tyczy się bowiem elektryczności w ruchu; nazywa się wszakże raczej układem elektro-magnetycznym, pomiary bowiem praktyczne polegają na zbocheniach igły magnesowej, jakich ona pod wpływem prądu doznaje. Dawne galwanometry, do pomiarów tych odpowiednio zastosowane, otrzymały nazwę ampermetrów i woltmetrów.

XI.

Układ miar bezwzględny.

W rozważaniach powyższych przedstawiliśmy w rysach ogólnych zasady oceny wielkości fizycznych. W istocie rzeczy wszakże metody te znamionują ubiegły, lub przynajmniej dobiegający już do schyłku okres nauki. Dla potrzeb nauki dzisiejszej nie wystarcza już ta prosta zasada arytmetyczna, że każdą wielkość mierzymy wielkością tegoż samego rodzaju, odkąd bowiem coraz wyraźniej i ściślej wybijać się zaczęła wzajemna łączność różnorodnych napozór objawów fizycznych, okazała się też potrzeba zastosowania wspólnego układu miar, wyrażania wszelkich wielkości fizycznych za pośrednictwem jednostek, któreby w sposób oznaczony wyprowadzać się dały z pewnych jednostek zasadniczych.

Przebiegając myślą cały obszar zjawisk fizycznych, rozpatrując wielkości, jakie się nam przy badaniach tych następują, poznajemy łatwo, że wszelkie pomiary sprowadzają się jedynie do pomiarów długości, czasu i masy. Z temi trzema tylko wielkościami mamy ostatecznie do czynienia, c. y. to oceniamy siły mechaniczne, czy ilości ciepła, czy też objawy energii elektrycznej lub chemicznej. Jeżeli przeto dobierzemy i ustalimy należyte jednostki do oceny tych trzech wielkości, potrafimy tem samym wyrażać liczebnie wszystkie objawy i działania, jakie nam cały obszar Fizyki i związanych z nią gałęzi wiedzy przedstawia.

W pomiarach naukowych przyjęto więc za jednostkę długości centymetr, za jednostkę masy gram, za jednostkę czasu sekundę, a na tej podstawie oparty układ miar nazywa się układem bezwzględnym i oznacza krótko głoskami cgs. Miary wszelkich innych wielkości fizycznych przechowywać się nie dają, jak gram lub centymetr, ale należy je wyprowadzać przez określenia z trzech miar zasadniczych: są to więc jednostki pochodne.

By uwagi te wyjaśnić, sięgniemy po przykłady do pojęć mechanicznych:

Proste pojęcie prędkości wypływa z zestawienia długości i czasu. Prędkość ciała, posuwającego się ruchem jednostajnym, określa się jako stosunek drogi do czasu, na przebieżenie tej drogi położonego. Gdy ciało porusza się biegiem zmiennym, prędkość jego doznaje wciąż pewnego przyrostu lub ubytku, czyli w ogólności ulega pewnemu przyspieszeniu, które znów rozważać należy w stosunku do czasu. Jeżeli z prędkością, a raczej z przyspieszeniem, jakim ożywione jest ciało w ruchu będące, zestawimy masę jego, otrzymamy wyobrażenie o wielkości siły; wielkość bowiem siły ocenia się i masą ciała, na które ona działa, i prędkością lub raczej przyspieszeniem, jakie masie tej nadaje, co innymi słowy znaczy, że siła mierzy się iloczynem masy przez przyspieszenie. Według tego więc za jednostkę siły przyjętą należy siłę, która, działając na masę jednego grama, nadaje jej w ciągu sekundy przyspieszenie czyli przyrost prędkości równy centymetrowi. Taka jednostka siły otrzymała odrębną nazwę *dyny* (z greckiego *dynamis* — siła), w układzie przeto miar CGS wszystkie siły wyraża przez dyny.

W technice, w życiu zwyczajnem, w nauce zresztą dotąd jeszcze często, za jednostkę sił uważać zwykliśmy kilogram, funt, w ogólności ciężar pewien. Ciężar bowiem danej masy przedstawia nam siłę, z jaką na masę tę działa Ziemia, przyciąganie Ziemi, jak się pospolicie mówi. Pod wpływem przyciągania tego, jak wiadomo, każda spadająca masa posiada w końcu pierwszej sekundy spadku prędkość 9,81 metra, czyli zyskuje w ciągu sekundy przyspieszenie 9,81 metra albo 981 centymetrów. Ciężar zatem czyli siła jednego grama przedstawia 981 naszych jednostek siły, wyrównywa 981 dynom. Ponieważ zaś masa jednego kilograma zawiera tysiąc gramów, siła przeto kilograma w układzie CGS wyraża się przez 981000 dyn. Jak widzimy tedy, dyna jest jednostką stosunkowo drobną, na wzór wszakże nazw, przyjętych w układzie metrycznym, utworzyć możemy jednostki wyższe, kilodynę czyli tysiąc dyn, i megadynę, czyli milion dyn; megadyna niewiele więc tylko odstępuje od siły jednego kilograma.

Oswoiwszy się z tą jednostką siły, łatwiej zrozumiemy jednostkę pracy w układzie miar bezwzględny. Praca, jak widzieliśmy już wyżej, zależy od oporu, jaki pokonywamy, i od drogi,

przez jaką go pokonywamy; za jednostkę więc pracy przyjąć należy pracę, jaką wykonywa jednostka siły, dyna, gdy masę, na którą działa, o jeden centymetr przesuwa. Jednostce tej pracy nadano też osobną nazwę erg i (z greckiego *ergon* — praca). Gdy więc ciężar jednego kilograma podnosimy w górę na wysokość jednego metra czyli 100 centymetrów, to wyłożona na dźwignięcie to praca wyraża się przez $981000 \times 100 = 98100000$ erg. W technice i życiu zwyczajnem pracę taką nazywamy kilogrammetrem; kilogrammetr zatem w układzie cgs zawiera 98100000 erg, albo nieco więcej nad 98 megaerg, jeżeli, jak poprzednio, milion erg megaergą nazwiemy.

Przy teoretycznej ocenie pracy czas na wykonanie jej łożony nie ma żadnego znaczenia, w zastosowaniach wszakże praktycznych względ ten jest pierwszorzędnej wagi, siła bowiem dla techniki jest tem skuteczniejsza, im w krótszym czasie oznaczoną pracę wykonywa. Przy ocenach zatem technicznych za podstawę brać trzeba pracę, jaką siła wykonywa w ciągu jednostki czasu. Pracę wykonaną przez siłę w ciągu jednej sekundy nazywamy efektem, potęgą albo sprawnością siły. Praca wszakże jednej ergi wykonana w ciągu sekundy byłaby jednostką zbyt drobną dla celów praktycznych, którym usługuje, zgodzono się przeto powiększyć ją dziesięć milionów razy i tak wzmoczoną jednostkę nazwano watt, na cześć męża, któremu zawdzięczamy udoskonalenie motorów parowych. Watt przeto oznacza pracę 10 milionów erg, wykonaną w ciągu sekundy.

W technice ocenia się pospolicie działalność czyli potęgę motorów przez konie parowe. Koń zaś parowy, siła konia, albo moc konia, jestto taka działalność motoru, przy której w ciągu sekundy wykonywa się praca 75 kilogrammetrów. Widzieliśmy zaś wyżej, że kilogrammetr odpowiada 98100000 ergom, co czyni 9,81 watta, koń przeto parowy wyrównywa $98,1 \times 75$ to jest 736 watom. Koń parowy ustępuje wszakże coraz bardziej z rzędu jednostek mechanicznych, a miejsce jego zastępuje jednostka dogodniejsza, z tysiąca watów złożona, t. j. kilo w a t t.

Rozważania powyższe wskazały nam zatem, w jaki sposób określone i uzasadnione zostały najważniejsze jednostki mechaniczne; uzupełnić to winniśmy tylko jeszcze wyjaśnieniem, dla czego w ogólności układowi temu miar nazwa bezwzględnego, absolutnego, przysługuje.

Przyjęliśmy tu mianowicie gram jako pewną oznaczoną masę, jako pewną ilość materji. Przez gram wszakże rozumieć też

możemy pewien ciężar, pewną siłę zatem, gdybyśmy więc za jednostkę zasadniczą układu miar przyjęli gram w tem ostatniem znaczeniu, cały układ wspierałby się już nie na zasadniczych jednostkach długości, czasu i masy, lecz na jednostkach długości, czasu i siły, jednostka zaś masy byłaby w takim razie jednostką pochodną.

Taki właśnie układ miar był, a nawet i dotąd jest jeszcze w powszechnem użyciu, w zwykłym bowiem rozumieniu gram, kilogram, jestto pewien ciężar. Wiemy już wszakże, że ciężar nie jest własnością istotną ciała, ale zależy od wpływów zewnętrznych. Na samej Ziemi nawet nie jest on siłą stateczną; z powodu bowiem spłaszczenia Ziemi i jej obrotu wirowego siła ciężkości czyli natężenie przyciągania ziemskiego rośnie w miarę, jak się od równika przesuujemy ku biegunom. Na innej planecie, w innym punkcie przestrzeni światowej, bryły, dające nam na Ziemi ciężar grama, kilograma, miałyby zgoła odmienne ciężary, przedstawiałyby siły innej zupełnie wielkości. Stąd też układ miar, w którym gram pewną siłę oznacza, układ pospolity w życiu zwyczajnem, przeważnie dotąd używany w technice, a w znacznej części i w nauce, jest ściśle związany i siłą ciężkości panującą na Ziemi, jestto więc układ miar ziemski.

Inaczej się rzeczy mają, jeżeli gram lub kilogram są tylko jednostkami masy, a nie budzą zarazem pojęcia ciężaru, siły. Kilogram żelaza czy to na równiku, czy pod biegunem, czy na Ziemi czy też na Słońcu, przedstawia zawsze jedną i tę samą ilość materji, jakkolwiek ciężar jej będzie zmienny. Ilość materji nie zawisła od wpływów przyciągania zewnętrznego, a stąd i cały system miar, w którym jednostką zasadniczą jest jednostka masy, jest od siły ciężkości niezależny, jest to układ miar bezwzględny, absolutny. Nie datuje się on zresztą od czasów najnowszych dopiero, już bowiem Gauss przy swych pomiarach magnetycznych wprowadził układ miar absolutnych, a następnie Wilhelm Weber zastosował go do pomiarów elektrycznych. Opracowali go dokładnie fizycy angielscy głównie, a zalety jego i dogodności, jakie nastrocza, powodują coraz szersze jego rozpowszechnienie.

Wypada nam wszakże raz jeszcze wrócić do opisanych wyżej praktycznych jednostek elektrycznych, by wskazać, jak się one wiążą z jednostkami mechanicznymi i jakie mają znaczenie w układzie miar bezwzględnym.

Wspomnieliśmy już, że ogół tych jednostek stanowi właści-

wie układ elektromagnetyczny, polega bowiem na działaniach wzajemnych, jakie zachodzą między prądem elektrycznym a igłą magnesową. Podobnie zaś, jak w układzie elektrostatycznym punktem wyjścia było ustalenie pojęcia ilości elektryczności, tak też w układzie elektromagnetycznym trzeba najpierw dobrać jednostkę magnetyzmu, by w niej można było ilość magnetyzmu wyrażać. Nie będziemy tego szczegółowo rozbierali, przypomnimy tylko, że prawo przyciągań i odpychań magnetycznych jest analogiczne do prawa, według którego działają na siebie ciała naelektryzowane, jednostka przeto magnetyzmu określa się w podobny sposób, jak jednostka elektryczności w układzie elektrostatycznym, sprowadza się przeto do wywieranego przez nią przyciągania, do działań mechanicznych zatem.

Skoro zaś zdołaliśmy działania magnetyczne wyrazić za pośrednictwem jednostek mechanicznych, możemy już tem samem do miar tych sprowadzać i objawy prądu elektrycznego, prąd bowiem, tak jak magnes, wytwarza w sąsiedztwie swoim pole magnetyczne, działa na bieguny umieszczonego w pobliżu magnesu, odchyła igłę magnesową od normalnego jej położenia. Według analogii tej zatem określić możemy i jednostkę siły czyli natężenia prądu, a z jednostką tą wiąże się bezpośrednio znany nam już jeden amper, który jest praktyczną jednostką natężenia prądu, albo krócej, jednostką prądu.

Z kolei oznaczyć jeszcze mamy jednostkę siły elektrowzbudzającej. Wiemy, że jest ona wynikiem pewnego napięcia, pewnej różnicy elektrycznej na biegunach stosu zachodzącej. Porównaliśmy ją do różnicy poziomów wody w dwu połączonych ze sobą naczyniach; jak bowiem różnica ta powoduje przepływ wody z naczynia jednego do drugiego, tak i różnica napięcia elektrycznego na biegunach jest źródłem prądu galwanicznego. Porównanie to posunąć możemy teraz dalej jeszcze, jak bowiem spadek wody z wyniesienia wykonywać może pracę, tak też i prąd elektryczny jest źródłem energii, wytwarza ciepło, lub inne spełnia czynności. Zasób energii, jaki nam wodospad daje, zależy od dwu względów, od wysokości, z jakiej potok zbiega, i od ilości wody pędem tym unoszonej; tak samo więc, jeżeli do prostej odwołamy się analogii, praca, jakiej nam prąd elektryczny dostarczyć może, zawisła i od siły elektrowzbudzającej, i od ilości przepływającej elektryczności. Nadając zaś wnioskowi temu formę bardziej matematyczną, możemy powiedzieć, że:

Siła elektrowzbudzająca \times ilość elektryczności przepływającej przez sekundę = pracy wykonanej przez sekundę.

Związek ten wypisać można prościej, ilość bowiem elektryczności przepływającej w ciągu sekundy daje miarę natężenia prądu, a praca w ciągu sekundy wykonana przez pewną siłę nazywa się jej efektem, znaczy to zatem:

Siła elektrowzbudzająca \times natężenie prądu = efektowi.

Zamiast wielkości tych wprowadzić możemy odpowiadające im jednostki; przypomniawszy tedy, że jednostkami praktycznymi siły elektrowzbudzającej, natężenia prądu i efektu siły są volt, amper i watt, możemy napisać:

$$1 \text{ volt} \times 1 \text{ amper} = 1 \text{ watt.}$$

Jednostka zatem złożona volt-amper ma znaczenie toż samo, co watt, a osobliwy ten związek, wyrażony przez nazwiska trzech wielkich i zasłużonych mężów, posiada nader doniosłe znaczenie praktyczne. Watt bowiem jest jednostką pracy przez siłę lub wogółności przez jakikolwiek motor wykonywanej; jeżeli więc znamy siłę elektrowzbudzającą i natężenie prądu, wytwarzanego przez stos lub maszynę dynamoelektryczną, możemy stąd już bezpośrednio obliczyć energię tego generatora elektryczności, pracę jakiej dostarczyć nam może, czy to służy do oświetlania, czy do poruszania wozów, czy też do jakiegokolwiek innego celu; natężenie zaś prądu i siłę elektrowzbudzającą odczytuje się łatwo na odpowiednich galwanometrach, o których wspomnieliśmy, na ampermetrach i woltmetrach. Gdy więc za oświetlenie elektryczne lub za tramwaje elektryczne płacić mamy, układamy się według ilości kilowatów, oznaczają one bowiem zasób energii, wielkość pracy, jaką na cele te wyłożyć potrzeba. Dlatego też w pismach codziennych coraz częściej napotykamy dziwne nazwy watów i woltamperów.

Nie wyczerpaliśmy tu bynajmniej wszystkich jednostek elektrycznych, przytoczyliśmy ledwie najważniejsze, z którymi najczęściej spotykać się przychodzi, i te już wszakże niezupełne wyjaśnienia drogą nas zmuśną prowadziły. Żem o rzecz tę potrafił, niech mnie usprawiedliwi coraz bardziej nagląca potrzeba znajomości miar elektrycznych. Jak para bowiem, nie ogranicza się już i elektryczność ścianami gmachów fabrycznych, ale wdiera się do mieszkań naszych i zapowiada zmianę form naszego życia powszedniego. Niemniej i ze względów teoretycznych pożądanym i uderzającym wydaje się ten jednolity układ miar, obejmujący

wszelkie objawy przyrody i cały ogrom techniki dzisiejszej. Kroczyliśmy tu po rusztowaniu, na którym się gmach nauki wspiera.

XII.

Ścisłość pomiarów w zadaniach praktycznych i w badaniach przyrody.

Jedną jeszcze tylko uwagą zakończyć pragniemy ten obraz rozwoju sztuki mierzenia.

Troskliwość, z jaką badacz pomiary swe prowadzi, dokładność, jaką zdobyć pragnie, ścisłość sięgająca do drobnych ułamków milimetra i miligrama, wydawać się może przesadną i zbytęteczną igraszka tylko, osobliwym sportem pracowni naukowych. Tak samo chłopiec szkolny, gdy nad zadaniem arytmetycznym ślęczy i cenę funta towaru oblicza, gotów dzielenie swe do dziesięciu, do dwudziestu cyfr dziesiętnych prowadzić, byleby pochwałę nauczyciela uzyskać, a naraża się na szyderstwo tylko.

Zarzut taki wszakże fałszywie jest skierowany. Ścisłość każdego pomiaru, oceny każdej, stosuje się do potrzeby: wedle stawu buduje się grobla; ale jakżeż oznaczymy granice ścisłości badań naukowych, gdy one same granic mieć nie chcą i coraz dalej zmierzają, coraz się głębiej wdzierają.

Kupiec wie dobrze, jak dalece posuwać ma dokładność swych rachunków, odrzuca nawet połówki grosza, byleby się w dziesiątkach i setkach nie mylił. Dalej idzie ścisłość inżyniera, gdy projektuje most, który ma być dostatecznie wytrzymałym, a zarazem niezbyt kosztownym; ma on z góry określoną dokładność, do jakiej obliczenia swe i doświadczenia posuwać winien, a biegłość jego oceniona być może ze sposobu, jak zdoła on w jednej budowli połączyć wytrzymałość i oszczędność materiału.

Wskazówek takich badacz nie posiada; prawda, której poszukuje, promień, który rozjaśnić może tajemnicę dotąd niedostępną, przypada może dopiero po za granicami ścisłości, do której się dotąd posunął, jaką mu przyrzady jego osiągnąć dozwoliły. Podsyca więc bacność swych dostrzeżeń, ulepsza budowę swych narzędzi, drobiazgowość obliczeń swych wzmacnia, — wysiłek jeden jeszcze, krok tylko dalej, a nieprzejrzana dotąd zasłona naraz się uchyla, ujawnia się co było utajone, rozszerza się obszar wiedzy, pojmowanie przyrody staje się pełniejsze, wznioslejsze.

Usprawiedliwimy to przykładem. .

Oddawna już starano się oznaczyć szybkość, z jaką się elektryczność po przewodnikach rozchodzi, a różni fizycy z doświadczeń swych otrzymywali liczby dosyć różne; jednemu wypadło, że elektryczność przebiega przez sekundę 240 tysięcy, innemu znów koło 400 tysięcy kilometrów na sekundę. Doświadczenia te były kłopotliwe, trudne, rezultaty osiągnięte nie wydawały się dosyć ważne, poprzestawano też tylko na ogólnym z nich wniosku, że elektryczność z podobną mniej więcej, jak światło bieży chyżością. Dokładniejszą wszakże metodę przeprowadzenia tych badań dały opowiedziane wyżej zasady pomiarów elektrycznych.

Rozróżniliśmy, mianowicie, układ miar elektrostatyczny i elektrodynamiczny, albo raczej elektromagnetyczny. Pierwszy z nich opiera się na wzajemnym na siebie działaniu drobnych mas elektrycznych, pozostających w spoczynku; w drugim zaś wychodzimy z pojęcia prądu, rozumiejąc przez natężenie prądu ilość elektryczności, jaka w ciągu sekundy przez każde przecięcie przewodnika przepływa. Określenie więc takie mieści w sobie pojęcie szybkości, a jednostka elektromagnetyczna wielokrotnie przewyższać musi jednostkę elektrostatyczną, która wyraża unieruchomioną w jednym punkcie ilość elektryczności. Jeżeli więc oznaczymy stosunek, jaki między obu temi jednostkami elektrycznymi zachodzi, stosunek jednostki elektromagnetycznej do jednostki elektrostatycznej, otrzymamy szybkość, z jaką się rozprzestrzeniają działania elektryczne, elektromagnetyczne, a z wielu, unyślnie w tym celu przeprowadzonych doświadczeń okazało się, że stosunek ten, czyli ta szybkość wynosi w okrągłej liczbie 300 000 kilometrów na sekundę. Ale z taką samą właśnie szybkością rozchodzi się i światło, a zgodność ta nie może być przypadkowa i przekonywa, że w przeprowadzaniu światła i elektryczności jeden i tenże sam eter pośredniczy. Światło więc i elektryczność, te dwa wielkie czynniki przyrody, które niedawno jeszcze zgoła się nam odrębnymi wydawały, pozostają w ścisłym ze sobą pokrewieństwie: drgania świetlne są rezultatem zakłóceń elektromagnetycznych, prawa światła i prawa elektryczności dały się jedną, wspólną ująć teorią. Tak zaś olbrzymie rozprzestrzenienie się pojęć naszych o przyrodzie zawdzięczamy jedynie ścisłości pomiarów, gdyby bowiem i dalej przybliżoną tylko oceną szybkości prądu zadawalniać się chciano, wnioski takie nie byłyby niczem usprawiedliwione.

Weźmy jeden jeszcze przykład z bieżącej chwili dziejów nauki.

Od stu lat z górą cały zastęp chemików badał gorliwie skład powietrza, którem oddychamy. Oznaczono stateczny stosunek tlenu i azotu w powietrzu, oraz zmienną w niem zawartość kwasu węglanego i pary wodnej, a jeżeli w całym obszarze wiedzy naszej posiadamy wiadomości pewne, to niewątpliwie pochłubić się można było dokładną znajomością składu atmosfery ziemskiej. Dostrzegano wprawdzie, że azot, otrzymywany wprost z powietrza, ma gęstość nieco większą, aniżeli azot, ze związków chemicznych wydobywany, ale różnica wynosiła ledwie $\frac{1}{230}$ czyli jakieś 0,004 gęstości azotu atmosferycznego; czyż więc trzeba się było troskać o drobiazg tak nieznaczny, o błąd, który dotyka jedynie części tysięcznych, w trzeciej dopiero cyfrze dziesiętnej występuje. Znaleźli się wszakże badacze, których błąd ten zaniepokoił, i postanowili źródło błędu tego, przyczynę tej niezgodności wykryć. Znany rezultat tych starannych i mozolnych poszukiwań: w powietrzu krył się, prócz tlenu i azotu, gaz jeden jeszcze, o którym się chemikom dotąd nie śniło, gaz od azotu cięższy, a stąd powodujący pozorny przyrost jego gęstości. Odkrycie więc argonu jest to tryumf trzeciej cyfry dziesiętnej, jedna jeszcze zdobycz ścisłości badań naukowych.

W obszarze wiedzy przyrodniczej badać — znaczy mierzyć, a postęp jej wiąże się z doskonaleniem metod mierniczych. Nauki, które się na fundamencie pomiarów wznoszą, ścisłemi nazywamy, a powodzeniem ich nauczone nauki społeczne tąż samą pragną iść drogą, gdy się do statystyki odwołują. Statystyka bowiem jest to miara, do objawów społecznych przykładana.

VII.

HISTORIA WYNALEZIENIA I UDOSKONALENIA TERMOMETRU.

Zatrzymałem niegdyś na chwilę czytelników przed sklepem mechanika¹⁾, by przyjrzeć się rozłożonym na wystawie jego przyrządom i doniosłe ich dla nauki znaczenie ocenić. Wraz z rozwojem wiedzy doskonala się przyrządy, każdy ma własne dzieje, często długie bardzo, a z nieprzejrzanego ich mnóstwa, dla przykładu, jeden tu obierany, niezbędny w pracowni naukowej, w fabryce, w życiu powszednim, każdemu znany i wszystkim potrzebny. Mówimy tu o termometrze, a historia tego przyrządu, złożonego jedynie z rurki szklanej rtęcią wypełnionej, wskaże nam, ile zachodu kosztował jego wynalazek, ile pracy w wydoskonalenie jego włożono. Historia termometru niech nam posłuży za przykład tej niewyczerpanej pomysłowości i niez mordowanej działalności ludzkiej, jaka tkwi w każdym przyrządzie, choćby prostym i skromnym na pozór.

I.

W r. 515 hedży czyli ery mahometańskiej autor arabski Alkhazini, który zresztą zgoła nie jest identyczny ze sławnym optykiem Alhazenem, napisał „księgę o wadze mądrości“. Osobliwy ten tytuł nie jest bynajmniej, jakby się łatwo wydawać mogło, wyrażeniem alegorycznym; dzieło traktuje rzeczywiście o wadze, zbudowanej przez autora, który jej dla szczególnych zalet tak szumną nadał nazwę. W szczególności korzystał Alkhazini ze swej wagi do dochodzenia ciężaru właściwego różnych

¹⁾ „Przed sklepem mechanika“. Patrz wyżej str. 130.

ciał, przyczem przekonał się, że przy użyciu wody rozmaitego pochodzenia ciężar właściwy ciała badanego okazuje się różnym, niewątpliwym zaś dowodem ścisłości jego robót jest to, że znana mu jest zmiana ciężaru właściwego wody ze zmianą temperatury. Przytacza, że waga jego wskazuje mniejszy ciężar wody w lecie, aniżeli w zimie, a tym sposobem—mówi—waga mądrości oceniać może ciepło wody w lecie i zimie.

Przesadni wielbicieli nauki arabskiej wnoszą stąd, że arabowie używali wagi, jako termometru; nie ma wszakże zgoła dowodów, któreby nieuzasadniony ten domysł popierały. W istocie rzeczy, początki termometru nie sięgają w przeszłość zbyt daleką, nie znajdujemy bowiem wskazówek żadnych, by o mierzeniu temperatury myślał ktokolwiek przed Galileuszem, który niewątpliwie już w końcu wieku szesnastego, a w każdym razie przed rokiem 1603, posługiwał się termometrem. Pierwszy ten termometr, albo raczej termoskop tylko, którego wynalazek niesłusznie Drebbelowi przypisywano, składał się z kuli szklanej, wielkości jaja kurzego, i z przylutowanej do niej wązkiej rury; po ogrzaniu kuli zanurzano koniec otwarty rury w wodę, która tedy do pewnej wysokości rurę zapełniała i przy zmianie temperatury wznosiła się wyżej lub opadała. Pomysł przyrządu tego nasunąć miało Galileuszowi rozpatrywanie wynalazków Herona, sam wszakże w pismach swoich o tem nie wzmiankuje. W miejsce wody użył następnie wina, podzielił nawet podobno termometr swój na stopnie, a Santorius, profesor medycyny w Padwie, używał już takiego „instrumentum temperamentorum“ przy badaniu chorych.

W pięćdziesiąt lat później podobnyż termometr powietrzny zbudował Otto Guericke, ale jak swemu barometrowi wodnemu, tak też i temu przyrządowi, nadał wymiary ogromne. Była to wielka kula miedziana, od której ku dołowi schodziła miedziana również rura o średnicy calowej, wznosząca się po dwukrotnem zagięciu znów wysoko w górę. Rura wypełniona była spirytusem, a na powierzchni tej cieczy pływała pusta kulka mosiężna, do której przyczepiona nitka, po przejściu przez blok, dźwigała na drugim swym końcu figurkę; ze zmianą temperatury figurka przesuwała się w górę i na dół, wskazując palcem umieszczoną na rurce podziałkę, której kreski oznaczały najwyższą, średnią i najniższą w Magdeburgu temperaturę. Kula miała barwę błękitną, pokryta była złotymi gwiazdkami i posiadała napis „Perpetuum mobile“, cały zaś przyrząd osadzony był zewnątrz domu Guerickego,

na ścianie północnej, nigdy przez promienie słońca nieoświetlanej. Pomimo okazałej swej wielkości, termometr Guerickego nie był zgoła dokładniejszy, aniżeli termometr Galileusza, a wskazania jego nietylko od zmian temperatury, ale i od chwiejności ciśnienia atmosferycznego zależały; Guericke wszakże zrozumiał, że główna wartość termometru na tem polega, by różne przyrządy dawały wskazania zgodne, któreby można ze sobą zestawiać i porównywać. Dla tego też starał się podziałkę swą opatrzyć w pewien punkt stały, umieszczając figurkę tak, by temperaturę średnią wskazywała w czasie pierwszych przymrozków nocnych lub szronów; osiągał to zaś w ten sposób, że z kuli termometru, która posiadała otwór zamykany kranem, póty pompą powietrze usuwał, że figurka zatrzymała się na punkcie żądanym.

Kto zamiast powietrza do mierzenia temperatury poraz pierwszy użył rozszerzalności cieczy, tego rozstrzygnąć nie zdołano; wiadomo tylko, że już w r. 1631 lekarz Jan Rey używał termometru, polegającego na rozszerzalności wody. Zasługa zaś dalszego ulepszenia takich termometrów przypada sławnej Akademii doświadczeń, „Accademia del cimento“, istniejącej we Florencji przez lat dziesięć, od r. 1657 do 1667, pod opieką księcia tokańskiego Ferdynanda II i brata jego Leopolda, którzy wszakże nie wahali się poświęcić tego ogniska rozkwitającej nauki, gdy za jego rozwiązanie otrzymał Leopold przyrzeczenie kapelusza kardynalskiego. Zamiast wody zabarwionej do napełnienia termometru użyli akademicy florency alkoholu, powyżej zaś cieczy rura była pusta i w górnym końcu lakiem zatopiona, co chroniło przyrząd od wpływu ciśnienia atmosferycznego. Był to już więc termometr istotny, podziałkę tylko miał jeszcze zupełnie dowolną; różne przyrządy posiadały różną ilość stopni między najniższą temperaturą zimową a najwyższą temperaturą letnią we Florencji. Termometr taki zresztą istniał już w r. 1641, przed założeniem zatem Akademii, i zbudowany był może według wskazówek Ferdynanda II, który był uczniem Galileusza. Do niektórych doświadczeń mieli podobno akademicy i termometr rtęciowy, a alkoholowy ich termometr dotąd się przechował.

Termometry florenckie rozpowszechniły się w Europie, a termometr użyty do pierwszych obserwacji temperatury w Paryżu dostał się tam drogą osobliwą, przez Warszawę, za pośrednictwem królowej polskiej Maryi Ludwiki, która go wraz z innemi przyrządami otrzymała od księcia tokańskiego. Był to termometr

alkoholowy, długości około decymetra, opatrzony pierścieniem do zawieszania; podziałka oznaczona była na nim przez punkty emaliowane na czarno, a każdy punkt dziesiąty emaliowany był biało. Szczegóły te wyczytano niedawno w dwu rękopisach, znalezionych w Bibliotece narodowej w Paryżu; szkoda, że nie wiemy, jakiemu losowi uległy inne przyrządy, z Włoch do Polski przesłane.

Obok termometrów florenckich używano też były wówczas termometry u góry otwarte, największą wszakże trudnością było ujednostajnienie podziałki. *Hook*e w r. 1665 zajmował się badaniami nad statecznością temperatury topliwości lodu, o czym już zresztą wiedzieli może akademicy florencecy; stateczność temperatury wrzenia wody poznał *Huygens* i w r. 1665 radził Towarzystwu królewskiemu w Londynie dobrać objętości rury i naczyń w odpowiednim stosunku, stopnie zaś liczyć od punktu topliwości lodu lub od punktu wrzenia wody, w takim bowiem razie „nie trzeba będzie przysyłać termometru, by temperatury dostrzeżone można było porównywać między sobą“. Dogodniej wszakże do tego celu dojść można było przez wprowadzenie nie jednego, ale dwóch punktów stałych, a podział taki termometrów florenckich wprowadził *Dalancé* w r. 1688; jako punkty stałe zalecał temperaturę topliwości masła i temperaturę topliwości lodu, albo zamiast tej ostatniej, temperaturę piwnic głębokich, odstęp zaś między punktami krańcowymi dzielił na dwadzieścia równych części. *Halley* sądził, że alkohol dla znaczniejszej swej rozszerzalności odpowiedniejszy jest do termometrów, aniżeli rtęć, a temperaturę jego wrzenia pragnął ustanowić, jako górny kres podziałki, której punkt najniższy odpowiadać miał temperaturze piwnic głębokich. I *Newton* prowadził nad ogrzewaniem ciał doświadczania, do których służył mu termometr napełniony olejem lnianym; na termometrze tym oznaczył zerem punkt topliwości lodu, ciepło zaś krwi liczbą 12, a przy podziałce tej temperatura wrzenia wody przypadała między liczbami 33 i 34. *Newton* zwrócił nadto uwagę na błąd, wynikający z możliwej niejednostajności średnicy, czyli niejednakiej wszędzie średnicy rury; by wpływ ten usunąć, przez przelewanie do rury odważonych ilości rtęci oznaczał długości odpowiadające różnym objętościom i odstępy te przyjmował za podstawę dalszego podziału.

II.

Czego wszakże dopiąć nie mogli najznakomitsi fizycy, dokonał prosty konstruktor, który wykończył wreszcie termometry, dające wskazania zgodne i nazwisko swe z przyrządem tym trwale połączył. Był to Daniel Gabryel Fahrenheit, gdańszczanin z pochodzenia, a kupiec z zawodu. Zrażony niepowodzeniami w handlu, zajął się z upodobaniem Fizyką i osiadł w Holandyi, gdzie utrzymywał się z wydymania szkła i budowy narzędzi fizycznych. Pierwotnie wyrabiał termometry alkoholowe, a wiadomość o nich w ówczesnem piśmie „Acta Eruditorum“ podał w 1714 r. Chrystyan Wolf, przypisując uderzającą ich zgodność szczególniej właściwości użytego alkoholu. Około tegoż czasu zwrócił się Fahrenheit do budowy termometrów rtęciowych, do czego skłoniły go badania nad rozszerzalnością rtęci, dokonane przez Amontonsa. Sposób, w jaki otrzymywał zgodność swych termometrów, długo zachowywał w tajemnicy, a nawet w rozprawie, którą w r. 1727 ogłosił w „Philosophical Transactions“, dokładnie postępowania swego nie wyjaśnił. Dla urządzenia podziałki umieszczał termometry najpierw w mieszaninie lodu, wody i salmiaku, co odpowiadało najsilniejszemu mrozowi srogiej zimy 1709 r.; następnie wprowadzał przyrząd do mieszaniny wody z lodem, punkt ten marznięcia oznaczał liczbą 32, a odstęp między punktem sztucznego mrozu i punktem krzepnięcia wody dzielił na 32 równe części. Dla kontroli odwoływał się jeszcze do ciepła krwi zdrowego człowieka, umieszczając termometr w jamie ustnej, i punkt ten oznaczał przez 96°. Okazuje się z tego, że nie używał jeszcze punktu wrzenia wody, jako punktu stałego, pierwotne też jego termometry do wysokości tej nie sięgają. Przy pomocy dopiero termometru rtęciowego rozpoczął badania nad punktem wrzenia i poznał, że temperatura ta bynajmniej nie jest stateczna, zależy bowiem od ciśnienia powietrza; ponieważ zaś pod ciśnieniem barometrycznem 28 cali paryskich rtęciowy jego termometr wskazywał w wodzie wrzącej 212°, przyjął więc liczbę tę, jako temperaturę wrzenia wody w warunkach normalnych. Niektórzy wszakże historycy nauki sądzą, że poprzednio już posługiwał się tą temperaturą przy podziale termometrów, ale ważny ten szczegół z sobkostwa tań. Przy doświadczeniach swych dostrzegł nadto Fahrenheit, że woda daje się w stanie ciekłym oziębć znacznie

niżej zera, w chwili wszakże krzepnięcia przyjmuje temperaturę, normalnie zjawisku temu właściwą.

Rozgłosem nazwiska swego dorównywający Fahrenheitowi, Antoni Ferchault de Réaumur, ustępuje mu znacznie zasługą w dziejach termometrii. Przyrządy swoje (1730 r.) napełniał alkoholem, w trzeciej części pomieszczanym z wodą, umieszczał je w wodzie, krzepnącej pod wpływem mieszaniny oziębiającej, i szczyt alkoholu oznaczał przez 0° ; następnie wprowadzał je do wody wrzącej, a odpowiadającą wysokość cieczy oznaczał liczbą 80° , poczem rurkę hermetycznie zamykał. Podział na 80 części przyjął Réaumur stąd, że jego mieszanina alkoholu z wodą, przy ogrzaniu od temperatury topliwości lodu aż do temperatury wrzenia wody, powiększała objętość swą o $\frac{80}{100}$ części, sądził więc, że tym sposobem ustali prosty stosunek między wielkością stopnia a objętością naczynia. Następnie dopiero poznał, że dostrzeżona objętość nie punktowi wrzenia wody, ale raczej punktowi wrzenia alkoholu odpowiada, a za radą Nolleta zaczął punkt ten oznaczać liczbą 65 zamiast 80; ponieważ jednak zmiany tej nie ogłosił, a termometry wedle wskazówek jego wyrabiane rozpowszechniły się we Francyi i poza jej granicami, sprowadziło to zamęt, któremu kres położyły dopiero w r. 1772 prace Deluca. Ze względów praktycznych zatrzymał on podział Réaumura na 80° , ale wskazał dokładniejsze sposoby oznaczania punktów stałych, zamiast zaś alkoholu zalecił rtęć, ze względu, że rozszerza się bardziej jednostajnie, jest lepszym przewodnikiem ciepła i posiada mniejsze ciepło właściwe, prędzej tedy temperaturę otoczenia swego przyjmuje.

Współcześnie z Réaumurem pragnął i Delisle określić stopień, jako oznaczoną część objętości naczynia. Z doświadczeń swych wniósł, że objętość rtęci w naczyniu, przy oziębianiu od punktu wrzenia wody do punktu topliwości śniegu, ulega pozornemu zmniejszeniu o $\frac{150}{10000}$ części, podzielił więc odstęp między zasadniczymi temi punktami na 150 stopni, przyczem punkt wrzenia wody oznaczył 0° , a punkt jej krzepnięcia przez 150° . Inną jeszcze podziałkę zastosował Ducrest w r. 1740; dostrzegłszy uderzające błędy termometrów Réaumura, chciał je poprawić przez pozostawienie powietrza nad alkoholem, a za punkty stałe przyjął temperaturę wody wrzącej oraz temperaturę piwnicy Obserwatorium paryskiego. Odstęp podzielił na 100 stopni, gdy zaś następnie przekonał się o stateczności temperatury topliwości

lodu, obrał ją za punkt stały, pozostawił wszakże zero skali poprzedniej, przyczem dla wzmiankowanego punktu wypadła liczba $-10,4^{\circ}$, skąd przedział między temperaturami kresowemi wynosił $110,4^{\circ}$.

Skali stustopniowej pierwszy używać miał Linn eus z, który według niej mierzył temperaturę w swoim ogrodzie botanicznym. Podziałka ta wszakże związana jest z nazwiskiem A n d r z e j a Celsiusa, profesora Astronomii w Upsali, który stustopniowy termometr rtęciowy urządził około 1740 r., oznaczając pierwotnie punkt wrzenia wody przez 0° , a punkt topliwości lodu przez 100° ; wkrótce jednak za radą Strömera porządek taki odwrócił. We Francyi podziałkę tę wprowadził w r. 1743 Christian, który zresztą nie zważał na zależność punktu wrzenia od stanu barometru. Na wzgląd ten należytą uwagę zwróciła dopiero w r. 1777 komisya Towarzystwa Royal Society, do której należeli C a v e n d i s h, M a s k e l y n e i D e l u c.

III.

W ogolności zatem, dopiero w początkach drugiej połowy wieku ośmnastego termometr został ostatecznie wykończony i otrzymał używane dotąd podziałki. Szczęśliwie złożyły się okoliczności, że mógł być zbudowany i osiągnął dokładność dla przyrządu mierniczego niezbędną, zanim zmierzono wielkości, na których się on właściwie opiera, spólczynniki bowiem rozszerzalności rtęci i szkła zostały dopiero w epoce znacznie późniejszej należycie oznaczone. Przy braku tych danych, wysokości słupa rtęci w rurce termometrycznej przy różnych temperaturach oznaczyć niepodobna, dla tego też daremne były usiłowania tych, co wielkość stopnia określać chcieli przez stosunek do objętości naczynia. Zadanie uprościło się przez odkrycie zjawisk, przy których temperatura zawsze jest jednaka i niezmienna, co dało możność doboru punktów stałych i związania z nimi podziałki. Skoro zaś termometr tak wykończony znalazł się w rękach fizyków, ukazują się natychmiast pierwsze pojęcia ciepła utajonego i ciepła właściwego, świadcząc tą współczesnością właśnie, że umiejętne badanie objawów ciepła rozpocząć się mogło dopiero przy pomocy przyrządu, pozwalającego ściśle mierzyć temperaturę. Badania te wszakże, którym termometr sam dał początek, zwolna się przeciw niemu zwróciły, poddały go bowiem surowemu sądowi krytycznemu i wykryły w nim źródła niedokładności.

Krytyka termometru rozpoczęła się w istocie rzeczy już od dawna, gdy daremne wysiłki Fahrenheita i innych konstruktorów pogodzenia termometru alkoholowego z rtęciowym przekonywały, że różne ciecze rozmaicie i niejednostajnie rozszerzają się pod wpływem ciepła, a drogę do usunięcia tych zawilosci wskazał Amontons w r. 1699. Badając przyrost prężności powietrza przy ogrzewaniu go do temperatury wody wrzącej, poznał, że niejednakie nawet ilości powietrza przy jednakim ogrzaniu nabierają jednakiej prężności, bezzwłocznie też zasadę tę zastosował do budowy termometru normalnego, by wskazania innych termometrów można było do niego odnosić. W wieku ósmnastym jedynie tylko Lambert ocenił doniosłość prac Amontonsa i dalej je rozwijał, a z porównania różnych termometrów wniósł, że rozszerzalność alkoholu odstępuje znacznie od rozszerzalności powietrza i rtęci, co prowadzi za sobą konieczność poprawek przy oznaczaniu temperatury. Po ukazaniu się dzieła Lamberta „Pyrometria“, które wyszło już po jego śmierci w r. 1799, ożywione dotąd pole termometrii zaległa długotrwała cisza, z której wyrwały ją dopiero rozpoczęte w r. 1840 doświadczenia Regnaulta nad rozszerzalnością gazów i par, a następnie rtęci i szkła.

Rozległe badania Regnaulta, stanowiące dotąd wzór ścisłości doświadczalnej, dały podstawę, na której wreszcie oprzeć się mogły najnowsze udoskonalenia termometrów, przeprowadzone głównie przez wielkie instytucje miernictwu precyzyjnemu poświęcone, Biuro międzynarodowe miar i wag w Paryżu, oraz Instytut fizyczno-techniczny w Berlinie. Rozbierać tu nie będziemy wszystkich źródeł błędów, jakie nastęrczać się mogą przy budowie i użyciu termometru, przytoczymy tylko, na czem polegają najważniejsze ulepszenia termometru rtęciowego, w ostatnich czasach wprowadzone.

IV.

Wspomnieliśmy, że Newton już zwracał uwagę na konieczność „kalibrowania“ rury termometrycznej. Stopnie bowiem termometru odpowiadać winny równym objętościom, skoro zaś dzielimy go na stopnie równe pod względem długości, to podział ten w tym tylko razie jest należyty, gdy rura wszędzie jednakową posiada szerokość. Warunek ten wszakże, przy nieco znaczniejszej zwłaszcza długości rury, rzadko jest spełniany, podziałka więc

zastosowana być winna do jednostajności jej średnicy czyli kalibru, albo też do wskazań termometru odpowiednią wprowadzić należy poprawkę. Badanie rury termometrycznej co do jej kalibru polega w ogólności na przesuwaniu wzdłuż niej oddzielonego słupka rtęci i mierzeniu długości jego w kolejnych położeniach. Jeżeli słupek ten, czyli nitka rtęci, zachowuje wszędzie długość niezmienną, świadczy to, że rura posiada w całej swej długości szerokość jednostajną, każde natomiast zwężenie jej lub rozszerzenie zdradza się natychmiast zmianą długości przesuwanego słupka. Prosta ta napozór metoda jest w istocie rzeczy zmusna, tembardziej, że każde oddzielne przesunięcie słupka i jego zmierzenie dotknięte być może błędem obserwacyjnym, cała więc robota prowadzi za sobą nagromadzenie takich błędów przypadkowych, które usunąć można jedynie przez wielokrotne powtarzanie tego postępowania ze słupkami różnej długości i skombinowanie osiągniętych rezultatów. Wiodące do celu tego rachunki przeprowadził niegdyś Bessel, uprościł je zaś Oettingen, a w ostatnich czasach Thiesen. Taki wszakże sposób próbowania rury stosować możemy dzięki tylko temu, że rtęć szkła nie wilgoci; gdyby to była ciecz przylegająca do szkła, jak woda lub alkohol, to przesuwany słupek skracałby się przez pozostawianie cząstek swych na ścianach rury. Jest to więc niewątpliwie jeden z powodów, dla których dopiero wprowadzenie rtęci umożliwiło budowę dokładnych termometrów. Jakąkolwiek zresztą cieczą byłby termometr ostatecznie wypełniony, do wypróbowania w każdym razie rtęć tylko użyta być może. Przy samem odczytywaniu nawet termometru, zupełnie dokładne wskazania dawać może jedynie ciecz, która rury nie wilgoci; przy spadku przynajmniej termometru liczba wskazana przez ciecz do szkła przylegającą będzie nieco za niska, część bowiem cieczy pozostaje do rury przyczepiona.

Do nowszych postępów, w budowie termometru osiągniętych, należy rozszerzenie granic, w których stosować go można. Pod zwykłym ciśnieniem atmosferycznym rtęć wre w temperaturze 375 C° , ale już znacznie niżej tego stopnia ulatnia się tak szybko, że nie daje wskazań rzetelnych. Ponieważ zaś już około 150° rtęć traci obojętność swą względem tlenu powietrza i łączy się z nim chemicznie, sądzono tedy, że przestrzeń rury termometrycznej ponad rtęcią niezbędnie próżną pozostawiać należy, co spowodowało niżenie punktu wrzenia i zakres działalności termometru

bardziej jeszcze ograniczało. Poznano wszakże, że bez żadnej ujmij dla jego dokładności można rurę ponad rtęcią zapełniać gazem obojętnym, który w żadnej temperaturze na nią nie działa. Użyto więc do tego najpierw azotu, a gdy go zaczęto wtłaczać pod ciśnieniem dochodzącem do czterech atmosfer, zdołano punkt wrzenia rtęci przesunąć znacznie w górę i otrzymano termometry, dające dokładne wskazania aż do 450° . W ostatnich czasach udało się nawet granicę tę wyżej jeszcze podnieść, a to przez zastosowanie kwasu węglanego; skorzystano mianowicie z kwasu węglanego skroplonego, który teraz w tym stanie znajduje się w handlu, a przez zapełnienie nim rury termometrycznej podniesiono ciśnienie na rtęć aż do ośmnastu atmosfer, co wydało termometry służące dobrze aż do 550° . Pomimo tak znacznego ucisku, pod jakim rtęć pozostaje, rozszerza się wszakże tak samo, jak w próżni, ciecze są bowiem zupełnie prawie nieściśliwe i najpotężniejsze nawet ciśnienie objętości ich wyraźnie nie zmniejsza.

Przez dalsze wzmaganie ciśnienia wewnątrz termometru możnaby i wyżej jeszcze punkt wrzenia rtęci podnosić, teoretycznie bowiem metoda ta miałaby kres swój dopiero w temperaturze krytycznej rtęci, to jest w temperaturze, przy której żadne już ciśnienie w stanie ciekłym utrzymać jej nie zdoła; ale ponad pewną miarę ucisku wzmaczać nie można, powodowałoby to bowiem znaczne przekształcenie naczynia. Zdołano wszakże i w inny jeszcze sposób podnieść granicę działalności termometru, bez uciekania się do ciśnień nadmiernych, a to przez zastąpienie rtęci cieczą, w wyższej jeszcze wrzącą temperaturze. Dogodną taką cieczą okazał się w szczególności stop potasu i sodu, który wre w temperaturze około 700° , krzepnie zaś przy -8° ; niski punkt krzepnięcia tem się tłómaczy, że w ogólności aliaże metaliczne topią się łatwiej, aniżeli metale, z których się składają.

Termometry tak daleko sięgające są już właściwie pyrometrami, jeżeli nazwę tę utrzymamy dla przyrządów służących do mierzenia temperatur bardzo wysokich. Podziałka ich nie może być przedłużeniem jedynie skali zawartej między 0° a 100° , ale ustanowiona być musi przez odniesienie do termometru powietrznego; dogodną też pomoc daje umieszczenie kolejnego przyrządu w parze różnych substancyj, których temperatura wrzenia dokładnie jest znana. Otrzymujemy stąd szereg punktów stałych, stanowiących podstawę podziałki. Zbyt znaczna długość rury termometrycznej utrudnia używanie przyrządu, a zarazem

staje się źródłem błędu; pomiar bowiem temperatury dawać może rezultat dokładny w tym tylko razie, gdy wszystka rtęć w termometrze doprowadzona jest do temperatury, którą oznaczać mamy. Wzgląd ten mieć należy na uwadze i w zwykłych termometrach, gdy słupek rtęci występuje ponad przestrzeń badaną, a powstająca stąd niedokładność usuwać trzeba przez odpowiednią poprawkę rachunkową, którą przy termometrach zbyt długich trudno byłoby przeprowadzić. Aby więc skrócić termometry do wysokich sięgających temperatur, można w różnych ich punktach wtrącać rozszerzenia oznaczonej objętości, chociaż w takim razie termometr mierzy temperaturę w pewnych tylko danych odstępach, stosownie do celu, jakiemu ma służyć. W każdym wszakże razie pomimo ulepszeń, jakieby jeszcze zaprowadzić się dały, kres ostateczny, do którego przydatny być może termometr rtęciowy, ma miejsce około 600° , w tej bowiem temperaturze wszelkie gatunki szkła ulegają już zmiękczeniu.

Do temperatur, przypadających poniżej punktu krzepnięcia rtęci, utrzymał się dawny termometr alkoholowy, wspomniane jednak już wyżej przyleganie alkoholu do szkła wzmaga się w temperaturach niskich i bardziej jeszcze, aniżeli w temperaturze zwykłej, dokładności jego szkodzi. Aby więc błędy te usunąć, poddano doświadczeniu różne inne ciecze pod wpływem znacznego zimna dopiero krzepnące, a poszukiwania te uwieńczone zostały skutkiem pomyślnym, bardzo bowiem korzystną cieczą termometryczną okazał się toluol, znany już oddawna węglowodór. Zachowuje on płynność swą lepiej, niż alkohol, nie stając się tak lepkiem, a ponieważ wre dopiero w temperaturze 110° , można więc na napełnionych nim termometrach oba stałe punkty oznaczać, jak na termometrze rtęciowym. Podziałka zresztą zarówno termometru alkoholowego, jak i toluolowego, ustanawiana być musi przez porównanie z termometrem gazowym, a w szczególności z wodorowym, który jest właściwym przyrządem mierniczym dla temperatur najniższych.

Mówiliśmy o konieczności unikania rur zbyt długich, ale podobnie i inne wymiary termometru przekraczać pewnej granicy nie powinny. Pomimo bowiem dobrego przewodnictwa i słabego ciepła właściwego rtęci, jednostajne ogrzanie całej jej masy, w termometrze zawartej, wymaga pewnego czasu, a gdy ilość jej jest zbyt wielka, niepodobna prawie doprowadzić jej wszędzie do jednakowej temperatury. Dlatego też termometry, w których większe

odstępy między kreskami podziałki osiągają się przez użycie wielkich kulek, wskazań dokładnych dawać nie mogą. Dobre więc przyrządy posiadać muszą naczynia niewielkie, a w tak drobnym obszarze zawarta ilość rtęci niewielkim też ulega zmianom objętości, które wyraźnymi być mogą jedynie w rurach nader wązkich, włoskowatych. Do mikroskopowej wszakże prawie szerokości doprowadzony słup rtęci trudno dostrzegać się daje, tem bardziej, że i powietrze w bardzo wązkich zawarte rurach, skutkiem całkowitego odbicia światła, przybiera połysk metaliczny. Niedogodności tej zaradził szczęśliwy pomysł, polegający na przekształcaniu okrągłego otworu rury w formę szczeliny, skąd włoskowata nitka zmieniła się na wstęgę rozszerzoną, daleko lepiej widoczną. Drobnym ten szczegół umożliwił więc znaczniejsze zmniejszenie wymiarów naczynia.

V.

Największą wszakże ku termometrowi nieufność wzbudziło dostrzeżone przesuwanie się stałych jego punktów, a zwłaszcza punktu topliwości lodu. Gdy wskazania różnych przyrządów okazały się niezgodne, przypisywano to pierwotnie wadliwej ich konstrukcyi, albo też błędom obserwacyi; gdy wszakże jeden i ten sam termometr poddawać zaczęto długoletniej i ścisłej obserwacyi, przekonano się, że rzeczywiście ulega z biegiem czasu zmianom, często nawet bardzo znacznym, a których źródło tkwi w pewnej opieszałości, jaką szkło względem wpływów ciepła okazuje. Jeżeli termometr ogrzewamy od zera do pewnej temperatury dosyć wysokiej, do 100° przypuścmy, powłoka jego szklana ulega rozszerzeniu, ale po szybkim oziębieniu do temperatury pierwotnej nie odzyskuje natychmiast początkowej swej objętości: przez pewien czas utrzymuje się jeszcze niejaka pozostałość rozszerzenia, a stąd termometr w lodzie topniejącym okazuje teraz stan niższy, aniżeli przed ogrzaniem, rozszerzone bowiem naczynie przyjmuje część rtęci z rury. Z biegiem czasu, po dniach i miesiącach całych, przyrost ten objętości znika, a tem samem punkt topliwości lodu zwolna się podnosi. Przy powolnem oziębianiu termometru, zmiany te zachodzą w obszerności mniejszej, a przez długotrwałe ogrzewanie termometru można obniżenie czyli depresję punktu zera dalej jeszcze posunąć, ale w każdym razie istnieje granica, której już prze-

kroczyć nie można. Jest to więc najniższy czyli najbardziej obniżony punkt zera, od którego odróżniać należy każdochwilowy czyli przechodni punkt zera; ten ostatni jest wynikiem powolnego podnoszenia się, a położenie jego zależy od czasu, jaki upłynął od ostatniego rozgrzania termometru. Trwałe rozszerzenie kulki wpływać oczywiście musi i na położenie punktu wrzenia wody. Jeżeli więc termometr ogrzany zostanie znacznie ponad 100° , punkt ten ulega wyraźnemu obniżeniu; ale już i ogrzanie do 100° wywiera wpływ podobny, lubo w słabszej mierze. Skoro zaś punkt zera doznaje obniżenia silniejszego, aniżeli punkt wrzenia wody, odstęp przeto między nimi ulega pewnemu powiększeniu.

Objawy te więc są nader zawile, a dopóki statecznego i powolnego podnoszenia się punktu topliwości lodu nie wyróżniono od nagłego i chwilowego jego obniżania, nie można było wydobyć żadnej prawidłowości, zmienność ta wydawała się kapryśną zupełnie. Przed kilkunastu dopiero laty, po starannych badaniach, zdołał Pernet wykazać, że ruchy punktu topliwości lodu ulegają pewnym prawom. Obniżenie tego punktu zależy od temperatury, do jakiej termometr był ogrzany, i od czasu, przez który ogrzewanie to trwało. Przy ogrzaniu sięgającym powyżej 300° obniżenie być może bardzo znaczne i dochodzi do kilku stopni; przy ogrzaniu do 100° wynosi tylko kilka dziesiątych, a przy ogrzaniu do 50° już kilka setnych części stopnia zaledwie, ale i temperatura pokojowa sprowadza wyraźne jeszcze zniżenie punktu zera. Znaczy to, że nie można wprawdzie wskazać, jak dalece w danym termometrze obniżać się może punkt jego zera, ale dla każdej temperatury, na jaką poprzednio był on wystawiony, istnieje obniżenie oznaczonej wielkości. Daje to więc możność wprowadzania należytych poprawek i usuwania błędu, pochodzącego ze zmienności punktu topliwości lodu.

Kłopotliwe te poprawki są wszakże obecnie zupełnie zbyteczne, chwiejność tę bowiem termometru pokonały ulepszenia w wyrobie szkła. W różnych termometrach depresja punktów stałych zachodziła w stopniu bardzo różnym, a niekiedy zdarzały się termometry od wadliwości tej zupełnie prawie wolne; na podstawie dawniejszych badań Regnaulta różnicę tę tłómaczono słusznie różnicami, zachodzącymi w składzie chemicznym szkła, ale dokładnemi rozbiorami różnych odmian szkła, używanych na wyrób termometrów, zajął się dopiero Rudolf Weber w r. 1883. Poszukiwania te doprowadziły go do niespodzianego odkrycia, że

depresja nie występuje wcale, lub też bardzo jest słaba przynajmniej, gdy szkło zawiera jedynie tylko potas lub tylko sól, nie zaś oba te metale zarazem. Szkło, warunkowi temu odpowiadające, napotykało się dawniej bardzo rzadko w technice, posiada bowiem tak wysoki stopień topliwości, że huty stosowały umyślnie mieszaninę soli potasowych i sodowych do fabrykacji szkła, które miało być w płomieniu lampy obrabiane. Podobnie jak aliaże topią się w temperaturze niższej, aniżeli każda z ich części składowych oddzielnie, tak też i szkło potasowo-sodowe daje się łatwo obrabiać w płomieniu lampy, gdy szkło, zawierające potas lub sól wyłącznie, otrzymywać może ostateczne wykończenie w hucie tylko. W ten więc sposób tajemnica zagmatwanej zagadki rozwikłana została i szło już jedynie o wynalezienie szkła, któreby jeden tylko metal alkaliczny w składzie swoim posiadając, miało pomimo to dostatecznie niski stopień topliwości. Zadanie to spełnione też rzeczywiście zostało przez zakład w Jenie, utrzymywany kosztem rządu pruskiego, a technice szkła wyłącznie poświęcony; poznano tam, że przez dodatek pewnych tlenków metalicznych wolne od potasu szkło sodowe otrzymuje niższy stopień topliwości, chociaż tlenki te depresji nie powodują. Takie więc normalne szkło jenańskie, używane obecnie na wyrób termometrów, uwolniło je od najdotkliwszego źródła błędów. Korzystnem jest także znajdujące się w handlu francuskie szkło sodowe (verre dur). Gdy w termometrach ze zwykłego szkła turyngijskiego, po ogrzaniu ich do punktu wrzenia wody, depresja zera czyniła $0,4^{\circ}$ do 1° w tych nowych termometrach dochodzi do $0,1^{\circ}$, co najwyżej. Wybitniej jeszcze ujawnia się ta różnica przy silniejszym ogrzewaniu; w termometrach ze zwykłego szkła niemieckiego lub francuskiego punkt topliwości lodu podnosił się w ciągu 48 godzin o 6° do 14° , w termometrach natomiast ze szkła jenańskiego, po dziesięciogodzinnem ich utrzymywaniu w temperaturze 300° , podwyższenie zera wynosi zaledwie $0,6^{\circ}$ do 1° .

VI.

Niemniej znaczne trudności nastęcza jeszcze połączenie z termometrem podziałki. Termometry dawniejsze składały się z przyrządu szklanego, przytwierdzonego do płyty drewnianej, na której wycięta była skala. Na drzewie wszakże podziałkę o drobnych odstępach trudno jest nakreślić dokładnie; drzewo nadto pod

wpływem wilgoci zmienia swe wymiary, czyli, jak zwykle mówimy, paczy się, dla tego też termometry takie nie mogły bynajmniej do dokładnych pomiarów służyć, nie mówiąc już o tem, że pomimo przytwierdzenia termometr w drewnianej swej oprawie zawsze na osunięcie jest narażony. Wprowadzenie skal metalowych, w miejsce drewnianych, nie zaradziło trudnościom; podziałka wprawdzie mogła być dokładniej wyrobiona i wpływ wilgoci usunięty został, natomiast powstało nowe źródło błędu z powodu znacznej rozszerzalności metali, gdy słabsza rozszerzalność drzewa pozwalała wgląd ten pomijać. Istotnem więc udoskonaleniem było użycie na podziałkę tegoż samego materiału, z którego i termometr jest wyrobiony, to jest szkła. Skala taka posiada takż sam współczynnik rozszerzalności, jak rura termometryczna, dąży więc równomiernie z jej ruchami i usuwa błąd wynikający z różnicy w rozszerzalności różnych materiałów. Dokładne wskazania dawać więc może jedynie termometr o skali szklanej, ale i połączenie podziałki takiej z termometrem złączone było z pewnemi przeszkodami.

Najprostszą wydawało się rzeczą wyrycie podziałki na samej rurze termometrycznej, której też dlatego nadano grubość odpowiednią. Przez opatrzenie jej smugą szkła mlecznego uczyniono kreski i liczby łatwiej widocznymi, zwłaszcza, gdy są uczernione mieszaniną sadzy i oleju. Termometr wszakże zanurzany bywa we wszelkie możliwe ciecze, kwaśne i alkaliczne, wystawiany jest na wpływ czynników atmosferycznych, powierzchnia więc jego narażona bywa na ciągłe zniszczenie, najlepsze bowiem nawet szkło nie jest zupełnie nierozpuszczalne, stąd też i podziałka staje się coraz mniej wyraźną, zanikając stopniowo. Od takiej więc zagłady należało ją uchronić, a wzór do naśladowania nasunęły znane powszechnie, tanie termometry, w Turyngii głównie wyrabiane, służące do wskazywania temperatury w kąpielach. W przyrządach tych właściwa rura termometryczna wtopiona jest w drugą rurę zewnętrzną, w którą wsunięta jest skala, na papierze nakreślona. Podobną budowę zastosowano i do termometrów naukowych, w których rurka termometryczna, wraz ze skalą na płycie szkła mlecznego wyryta, mieści się w rurze zewnętrznej. Na płaskiej płytce podziałka drobiazgowo daje się lepiej i dokładniej urządzić, aniżeli na sklepionej ścianie samejże rury termometrycznej. Trzeba było wreszcie jeszcze podziałkę tę tak wewnątrz rury przytwierdzić, by pozostawała nieporuszoną, ulegając przy tem wespół

z rurą termometryczną zmianom, od wpływu termometru zależnym. Z początku przytwierdzano ją w górnym końcu rury, ale osadzenie takie okazało się bardzo szkodliwym, przy ogrzewaniu bowiem termometru skala rozszerzała się od góry ku dołowi, gdy sama rura, u spodu przylutowana, zapełniała się rtęcią od dołu ku górze. Zupełnie należyte osadzenie skali, zapewniające jej dostateczną ruchliwość i stałą zarazem podporę, wprowadził dopiero Fuess, znany konstruktor przyrządów fizycznych. W urządzeniu tem skala wspiera się na widełkach wtopionych w dolną część rury termometrycznej; podobnież widełki obejmują skalę i w górnej jej części, tak wszakże, że pozostaje jeszcze drobny odstęp, by skala pod wpływem temperatury rozszerzać się mogła swobodnie, w odstępnie zaś tym mieści się sprężyna, która skalę wciąż ku dołowi naciska. Tym więc sposobem rura i skala razem się ku górze rozszerzają i wysokość słupa rtęci dokładnie odczytać się daje.

I przy samem zresztą odczytywaniu termometru unikać należy błędu, który łatwo powstać może, jeżeli oko w kierunku ukośnym spogląda, zwłaszcza, gdy podziałka jest dosyć daleko od słupa rtęci usunięta. Paralaktyczny taki błąd powtarza się dosyć często, a ciekawą jest z tego względu anegdota o raportach nadsyłanych z pewnej syberyjskiej stacyi meteorologicznej do Biura centralnego w Petersburgu. W raportach tych wysokość barometru okazywała stałe z dnia na dzień kołysanie, tak że barometr w ciągu dni po sobie idących wznosił się i opadał naprzemian. Tak prawidłowe, codzienne przeskoiki zwróciły uwagę Biura, a dochodzenie przyczyny wykryło, że do odczytywania barometru używani byli dwaj podoficerowie, pełniący służbę kolejno co drugi dzień, z których jeden wysokiego, a drugi niskiego był wzrostu; podoficer wysoki spoglądał na szczyt rtęci z góry, niski zaś z dołu, pierwszy więc podawał za niski, drugi za wysoki stan barometru. Anegdota ta usprawiedliwia potrzebę zalecania niezbędnej przy odczytywaniu podziałek ostrożności.

Jeżeli kreski dosyć są cienkie, wprawny obserwator łatwo ocenić może dziesiątą część odstępu między niemi; ponieważ zaś na termometrach dokładnych podziałka obejmuje dziesiąte części stopnia, unikać przeto przy odczytywaniu można błędu, przechodzącego $\frac{1}{100}$ stopnia. Nie należy zaś sądzić, by wszelkie te ulepszenia termometru dla pracowni jedynie naukowych znaczenie posiadały, w życiu bowiem zwyczajnem niezbędny jest także dokładny pomiar temperatury. Termometr lekarski, który daje wska-

VII. HISTORIA WYNALEZIENIA I UDOSKONALENIA TERMOMETRU.

zania o stopień tylko błędne, mógłby niebezpieczne powodować omyłki przy badaniu stanu chorego. Gdy zresztą idzie o ocenę nader drobnych różnic temperatury, posiada nauka inne zupełnie przyrządy; zbudowany przez Langleya bolometr wykazuje zmianę nieprzechodzącą $\frac{1}{100\cdot000}$ stopnia. O takich wszakże przyrządach, o innych metodach mierzenia temperatury, mówić nie będziemy; przedstawiliśmy tu historię zwykłego termometru jedynie, by prosty ten i znany każdemu instrument zaświadczył, jak stopniowo doskonalą się przyrządy naukowe, oraz ile każdy z nich pracy i zachodu kosztuje. Ex uno disce omnes.

VIII.

NA KRESACH CIEPŁA I ZIMNA.

„Zimny świat i zimne serce:
„Ciepła trzeba. Wiwat ciepło“.

Gdy w brzasku rozkwitającego stulecia toastem tym wielbił poeta wpływ ożywczy ciepła na przyrodę, nie przewidywał jeszcze, jak dalece potęgę ciepła do usług swych człowiek ujarzmić zdoła. Olbrzymi rozwój motorów ciepłikowych pozostanie na zawsze wybitną cechą techniki i całego przemysłu wieku dziewiętnastego, podobnie, jak ujęcie istoty ciepła Fizykę stulecia dopiero co ubiegłego szczególniejszym znamionuje. Na pierwsze wprawdzie lata wieku tego przypada rozjaśnienie zagadki światła, a w oczach naszych rozrosła się i wygórowała elektryczność; ale wielkie odkrycia optyczne były już tylko uwieńczeniem badań dawno rozpoczętych, gdy elektryczność tajemnicze swe przyszłym jeszcze zachowuje czasom. Znajomość zaś objawów ciepła, krom nieznaczących tylko początków, w naszym wieku w pełni się rozwinęła, a pojęcie energii, jakie się z niej zrodziło, góruje i przewodniczy obecnie całej wiedzy przyrodniczej. Na samym zaś schyłku stulecia nowe jeszcze tryumfy na polu tem nauka zdobyła; rozszerzono bowiem znacznie obszar temperatur, jakie dotąd sztucznie wytwarzać umiano, a o badaniach na osiągniętych dotąd kresach ciepła i zimna pragnę tu krótko opowiedzieć.

I.

Potęgę i grozę zarazem ogień w sobie mieści, daje moc człowiekowi i dobytek jego niweczy. Gdy panem ognia stał się człowiek, nauczył się metale z rud wytapiać i odniósł pierwsze nad przyrodą zwycięstwa, które początkiem cywilizacji były. Dla tego

też pochodzenie mu boskie przypisywał, za świętość go uważał. W krzaku gorejącym ukazuje się Bóg Mojżeszowi, a Prometeusz, że płomień z Olimpu na ziemię ściągnął, do skał Kaukazu przykuty jęczy, orłom na pastwę rzucony, co ciało mu szarpia. Dziewicze westalki w Rzymie, a w gajach litewskich wajdelotki ognia wiecznego strzegą; symbol to jedności narodowej, jakby spotęgowanie ogniska domowego. I dotąd jeszcze, jak niegdyś, zasila ogień ciepłem mieszkania nasze, a znaczenie jego wzrosło, odkąd potężne maszyny nasze w ruch wprawia i wozy nasze pędzi.

Ciepło, jak je dziś pojmujemy, jest pewną formą energii i z przeobrażenia innych jej rodzajów wytwarzać się daje; głównem wszakże, wyłącznem niemal źródłem ciepła jest dla nas energia, uspiąca w cząsteczkach ciał różnorodnych, a która się budzi i wyswobadza, gdy cząsteczki te ku sobie się rzucają, by w nowe się związki zespolić. Wywiązywanie się to ciepła przy łączeniach chemicznych dostrzegamy wyraźnie we wrzeniu wody, gdy nią wapno palone zlewamy, z którym się w wapno gaszone, w wodan wapna jednoczy. Gaszeniem wszakże wapna nikt mieszkania swego ogrzewać nie będzie, a ze wszystkich działań chemicznych praktycznem źródłem ciepła jest jedynie najłatwiej następujące się łączenie ciał z gotowym zawsze tlenem, czyli spalanie ich — w pospolitem wyrazu tego znaczeniu. Obfity zasób ciepła, który się przytem wywiązuje, rozgrzewa ciała tak silnie, temperaturę ich wzmacza tak dalece, że rozżarzają się i rozjaśniają, tworząc objaw ognia. Ogień jest żarem tylko, gdy wytwór spalania stan stały zachowuje i na powierzchni bryły płonącej pozostaje, jak zendra na żelazie; gdy zaś, natomiast, skutkiem procesu palenia wywiązują się substancje lotne, powstaje płomień. Płomień więc jest to zbiorowisko jedynie rozpalonych, świecących par i gazów.

Proste to wyjaśnienie nowsze dopiero zdobyły czasy. Dla filozofów starożytnych ogień był to jeden z czterech żywiołów, pierwiastek bezwzględnie lekki i w górę dążący, nadający ciałom własności gorąca i suszy; siarka, mówi Pliniusz, zawiera ogień w obfitości. Według tych zatem pojęć był ogień jakby odrębną substancją, w ciałach palnych ukrytą, która się z nich wyrwać i uwalniać może; a i później jeszcze, gdy z faktów dostrzeganych dokładniej już sobie sprawę zdawać umiano, wyobrażenia te wznowiły się, lubo w formie zmienionej nieco. Substancję ogniową nazwano flogistonem, a ogień był to nieledwie samże flogiston, z ciał palnych uchodzący. Wtedy dopiero, gdy rozwinęła się zna-

jomość gazów, a Lavoisier na tej podstawie nową Chemię ufundował, przed stu zatem laty zaledwie, zrozumiano, że ogień nie jest bynajmniej substancją, materią osobną, ale zjawiskiem tylko, objawem, zdradzającym wywiązywanie się ciepła przy reakcyach chemicznych, a przedewszystkiem przy wiązaniu się pierwiastków w nowe, złożone ciała.

Energia chemiczna spoczywa, przechowana w substancjach, jako ich powinowactwo. Gdy dwa gazy, do wzajemnego połączenia się uzdolnione, są pomieszane z sobą, oczekują tylko podniety, której udzielić im może iskra elektryczna, promień światła, lub też podsycenie ich temperatury. Działanie następuje wtedy gwałtowne; każda cząsteczka jednego gazu napotyka w bezpośrednim swem sąsiedztwie cząsteczki gazu drugiego, rzucają się ku sobie jakby w uścisku wzajemnym jednoczą, w każdym punkcie zetknięcia żar się wzbudza, płomień rozwija się nagle, a cała masa, wraz z jej otoczeniem, doznaje silnego wstrząśnięcia. Taki więc wybuch zachodzi przy zapalaniu słynnej mieszaniny piorunującej, składającej się z tlenu i wodoru, nagle się w wodę łączących, albo, gdy blask słoneczny oblewa w cieniu przygotowaną mieszaninę chloru z wodorem. Tak samo też wybucha i proch strzelniczy, składające go bowiem materiały raptownie się w atmosferę gazów palnych przeobrażają.

W warunkach bardziej pospolitych proces ten przebiega spokojniej; gdy prąd gazów wdziera się zwolna w powietrze, łączenie chemiczne dokonywa się stopniowo, żar wzbudza się jakby na granicy zetknięcia przenikających się wzajemnie substancyj lotnych, a ogień wciąż płonie, dopóki się wywiązywanie gazów nie przerwie. Są to zwykle nasze płomienie, a drobny płomyk świecy dobrze nam cały ten przebieg ujawnia. Wewnątrz mieści on w sobie jądro ciemne, otaczające knot, a utworzone z produktów gazowych, które z rozkładu stearyny powstają; gdy do przestrzeni tej koniec płonącej zapalaki wprowadzamy, ogień tam gaśnie, dając tem dowód, że w obszarze wewnętrznym płomienia palenie jeszcze nie zachodzi, a to dla braku tlenu, który się tam przedrzeć nie może. Dokoła ciemnego dopiero stożka roztacza się najjaśniejsza część płomienia, ale najgorętszą jego strefę tworzy błada i ledwo dostrzegalna powłoka zewnętrzna, gazy bowiem palne znajdują tu obficie potrzebny im zasób powietrza, łączenie więc chemiczne dokonywa się energicznie, spalanie szybko zachodzi, a stąd też ciepło najżywiej się wywiązuje. Do pośredniej zaś warstwy gazów mniej-

sza już ilość tlenu przenika, niewystarczająca do natychmiastowego spalania wszystkiego węgla, wydzielonego pod wpływem wysokiej temperatury; zanim więc on spłónięciu zupełnemu ulega, unosi się przez krótką chwilę w płomieniu, a wskutek silnego rozżarzenia jasność mu nadaje. W taki sposób świecenie płomieni wyjaśnił Davy, obecność zaś pyłu węglowego w płomieniu zdradza warstwa sadzy, osiadająca na przedmiotach, które weń wprowadzamy; pomimo to w ostatnich czasach nasunęła się wątpliwość, czy tłómaczenie powyższe jest słuszne. Dostrzeżono bowiem, że gdy palenie dokonywa się pod znacznem ciśnieniem, jakich dzie sięciu atmosfer przynajmniej, świecą jasno nawet płomienie gazów, które zgoła cząstek stałych nie zawierają, jak płomień wodoru w szczególności. Sądzą więc niektórzy, że również blask płomieni świec i lamp naszych sprowadzają, nie stałe cząstki węgla, ale unoszące się w nich gęste, rozżarzone pary ciężkich węglowodorów. Prosta tedy i napozór dawno już rozstrzygnięta kwestya świecenia płomieni teraz się zawikłała; kłopotać się tem wszakże nie będziemy, przedewszystkiem bowiem obchodzi nas teraz temperatura płomieni.

Otóż, temperatura ta bardzo jest różna i w rozległych bardzo przypadkach może granicach: są płomienie chłodniejsze i gorętsze, albo raczej, mniej i bardziej gorące. Zależy to najpierw od ilości ciepła, jakie się przy spalaniu materiałów płonących wywiązują, a dalej od ciepła właściwego produktów spalania, to jest od tego, czy więcej czy też mniej ciepła do rozgrzania swego zużywają; posiadając zaś te dane, możemy temperaturę płomienia obliczyć teoretycznie. Za przykład posłuży nam temperatura płomienia tleno-wodorowego, czyli gazu piorunującego. Z licznych doświadczeń wiadomo, że spalanie jednego kilograma wodoru wytwarza bardzo znaczną ilość ciepła, około 34500 ciepłostek, co innemi słowy znaczy, że przy spalaniu tem rozwijający się zasób ciepła wystarcza do ogrzania o jeden stopień 34500 kilogramów wody. Spalenie wodoru jest to połączenie się go z tlenem, ponieważ zaś z jednym kilogramem wodoru łączy się ośm kilogramów tlenu, produktem tego spalania będzie dziewięć kilogramów wody, każdy więc kilogram tworzącej się pary wodnej rozwija około 3830 ciepłostek. Aby stąd temperaturę jej ocenić, pamiętać należy, że do ogrzania kilograma pary wodnej o jeden stopień potrzeba 0.475 ciepłostki, powyższa zatem ilość ciepła wystarczy do ogrzania jej o $\frac{3830}{0.475}$,

o 8000 zatem stopni. Jest to żar imponujący, w rzeczywistości wszakże temperatura płomienia tleno-wodornego daleką jest od tak obliczonej granicy, para bowiem wodna, podobnie jak i inne związki chemiczne, działaniu potężnego żaru oprzeć się nie może, ale rozpada się zupełnie na swe części składowe już w temperaturze nie dochodzącej do 3000°, a i w daleko niższej już temperaturze częściowemu przynajmniej ulega rozpadowi, czyli dysocjacji. Gdy więc wodór płonie, pewna tylko część jego z tlenem istotnie się łączy, reszta zaś z powodu wysokiej temperatury traci zdolność wiązania się z nim, a stąd też płomień daleko mniej ciepła wytwarza i słabiej się ogrzewa, aniżeli to z rachunku naszego wypływa. W każdym razie jest to zapewne najgorętszy płomień, jaki otrzymać możemy; temperatura wszakże jego znacznie się zniża, gdy spalanie wodoru ma miejsce, nie w czystym tlenie, ale w powietrzu; w tym bowiem razie, kosztem wytwarzanego ciepła ogrzewa się też azot i znaczną część jego wiąże.

Ilość wywiązującego się przy paleniu ciepła jest niejako miarą powinowactwa chemicznego ciał, z sobą się łączących. Gdy bardziej się obojętnie względem siebie zachowują, cząstki ich z mniejszą ku sobie biegną energią, z mniejszą gwałtownością o siebie uderzają, obfitość ciepła wzbudzonego jest mniejsza, a płomień niższą ujawnia temperaturę. Najchłodniejszy jest płomień pary fosforu, silnie przejętej obojętnym jakim gazem, azotem mianowicie. Płomień jest tak słaby, że w przyćmionej tylko izbie dostrześć się daje, a tak zimny, że papier od niego zatlić się nie może. Pomiędzy zaś obie granice, które przytoczyliśmy, wtrącić można całą skalę płomieni, coraz silniej rozżarzonych, coraz gorętszych.

Od czasu badań *Drapera* (1847 r.), przyjmowano dotąd powszechnie, że wszystkie ciała stałe, gdy są ogrzewane, zaczynają świecić przy jednakiej temperaturze 525° C., i to jednakowem światłem ciemno-czerwonawem. Przed ośmiu wszakże laty wykazał *H. F. Weber*, że metale oddziałują na wzrok nasz już w temperaturze znacznie niższej, około 400°, wydając pewien blask nieokreślony, mglisto-szarawy, który w widmie zajmuje miejsce odpowiadające promieniom zielono-żółtym, a przy wzroście temperatury widmo wydłuża się w obie strony. Blaskiem tym świecić zaczynają metale w temperaturze około 400°,—niezupełnie zresztą dla wszystkich metali jednakiej, a zależnej nadto od czułości oka obserwatora. Pomijając wszakże ten słaby i niedostatecznie jeszcze zbadany blask początkowy, temperaturę płomieni oceniać może-

my, z pewnem przynajmniej przybliżeniem, z barwy, jaką przybierają rozżarzone w nich ciała. Do ciemnej czerwoności, jak nadmieniliśmy, rozpalają się ciała w temperaturze 525° , w ogniu zwykłych pieców naszych; w miarę, jak temperatura ciał rozgrzewanych wzrasta, do wysyłanych pierwotnie promieni czerwonych przybywają promienie wyższej łamliwości, żółte, zielone i niebieskie. Przy 900° blask ciał rozpalonych staje się wiśniowo-czerwonym, przy 1100° ciemno-pomarańczowym, przy 1200° jasno-pomarańczowym; przy 1300° rozżarzają się do białości, przy 1500° białość jest oslepiająca. Jest to żar najpotężniejszych ognisk hutniczych.

Wszystko, co szybkość i żywość palenia podsyca, podwyższa też i temperaturę płomienia. Tak działa więc komin wysoki, który dopływ powietrza przyspiesza, albo miech, który je do wnętrza płomienia wtrąca. Toż samo znaczenie ma w pracowni chemicznej dmuchawka, a w lampkach, które do ogrzewania służą, w kuchniach gazowych, płomienie świecą słabo, ale grzeją silnie, gaz bowiem dopływa do nich należycie już z powietrzem zmieszany, łączenie się więc z tlenem we wszystkich ich częściach bystro zachodzi. Przez zespolenie warunków sprzyjających, przy zastosowaniu środków, jakimi technika dzisiejsza rozporządza, zdołano zbudować do badań naukowych piece, w których żar przenosi 2000 stopni, gdzie ulatnia się porcelana najtrudniej topliwa, a topi się nie tylko platyna, której punkt topliwości wedle ostatnich oznaczeń przypadać ma przy 1775° , ale i iryd, przechodzący w stan ciekły dopiero w temperaturze o kilkaset stopni wyższej.

W ostatnich latach wskazał Goldschmidt nową metodę chemiczną, pozwalającą osiągać wyższe jeszcze stopnie ciepła, a polegającą na zastosowaniu glinu. Osobliwy ten „metal z gliny“, który z powodu lekkości i dla innych jeszcze własności swoich, długo tak przesadne budził nadzieje, wyróżnia się od innych metali także obfitem wywiązywaniem ciepła przy paleniu czyli przy łączeniu się z tlenem: kilogram glinu przez spalenie wytwarza przeszło pięć razy większą ilość ciepła, aniżeli kilogram żelaza. Mięszanina glinu z pewnemi tlenkami metalicznymi, skoro w jednym punkcie silnie rozgrzaną zostaje, rozżarza się w całej swej masie, glin łączy się z tlenem, który był związany z innym metalem, a przy tym przebiegu rozwija się żar potężny. Użyć można tego sposobu do otrzymywania pewnych metali trudno topliwych, które dotąd z trudnością zaledwie dawały się w stanie czystym dobywać, jak

chrom lub mangan, gdy wszakże idzie jedynie o skorzystanie z rozwijającego się przytem żaru, mięsza się glin z jakimkolwiek tlenkiem tańszym, z tlenkiem żelaza lub ołowiu. W procesie tym przez utlenienie glinu powstaje glinka, która się tu utrzymuje w stanie ciekłym; glinka wszakże jest ciałem nader trudno topliwem, przechodzi w stan ciekły dopiero przy jakich 3000°, tak wysoka zatem temperatura daje się drogą tą wzbudzić. W ten sposób można łatwo topić i spajać żelazo kute; technika chętnie się do postępowania tego odwołuje, może je bowiem stosować bez wszelkich urządzeń fabrycznych,—na dachu, na polu otwartem, lub przy układaniu rur podziemnych.

Gdy wszakże żar potężniejszy jeszcze zdobyć pragniemy, nie posiadamy już do tego innych materyałów palnych; korzystnie natomiast służy nam tu prąd elektryczny, ten osobliwy i wszechstronny pośrednik w przeprowadzaniu, przeobrażaniu i przetwarzaniu wszelkich rodzajów energii.

II.

Gdy prąd elektryczny po przewodniku, po drucie metalowym płynie, drut ten rozgrzewa się natychmiast, a ciepło wywiązuje się widocznie skutkiem oporu, jaki prąd w przebiegu swym napotyka. Dlatego też ilość wzbudzanego ciepła nietylko od natężenia samegoż prądu, ale i od oporu zależy, a druty dostatecznie cienkie, pod wpływem przebiegającego je prądu, rozżarzają się i topią nawet. Węgiel gorszym jest przewodnikiem, aniżeli metal, dlatego też w lampach elektrycznych cienkie włókno węglowe rozżarza się do białości już pod działaniem prądu niezbyt silnego, ale znaczniejszy jeszcze opór napotyka prąd elektryczny w lampach łukowych, gdzie dwa pręty węglowe, z biegunami stosu lub maszyny dynamoelektrycznej połączone, stykają się końcami swemi i pod wpływem prądu rozżarzają w punkcie zetknięcia. Skoro zaś zatłone końce rozsuwamy, rozpalone ich cząstki odrywają się i tworzą jakby pomost oporny, przez który prąd w dalszym ciągu mozolnie się przedziera, a stąd żar początkowy silniej się jeszcze wzmacnia. Jest to ognisko najgorętsze, jakie środki nasze wytwarzać są w stanie, a temperaturę jego niedawno dopiero oznaczyć należycie zdołano.

Temperatura zresztą łuku voltaicznego nie jest we wszystkich jego częściach jednaka: najgorętszy jest biegun dodatni, co

już tem się ujawnia, że po przerwaniu prądu węgiel dodatni żarzy się jeszcze przez czas pewien, gdy węgiel ujemny natychmiast gaśnie. Dla oznaczenia więc temperatury węgla dodatniego wrzucił fizyk francuski, *Violle*, rozżarzone jego końce do kalorymetru, a z wywołanego stąd ogrzania obliczył, że temperatura tak oderwanego odłamka wynosi 3600°. Takież sam rezultat otrzymali inną drogą badacze angielscy, *Wilson* i *Gray*; posłużył im zaś do trudnych tych dochodzeń radyometr, czyli znany, choćby z wystaw w sklepach optyków, młynek świetlny, który obraca się pod wpływem padających nań promieni światła. Na młynek taki rzucano przez wązki otwór promienie światła łukowego, które go tedy wprawiały w obrót; z drugiej wszakże strony obrotowi temu przeciwdziały promienie rozżarzonej platyny, a otwór, którym się one przedostawały, rozszerzano, dopóki promieniowanie platyny nie dorównało promieniowaniu badanego światła elektrycznego. Radyometr był tu więc jakby wagą cieplikową, którą równoważyły działania obustronne, a ze znanej temperatury platyny można już było szukaną temperaturę łuku elektrycznego oznaczyć.

Badania te doprowadziły do ważnego i uderzającego wniosku, dozwoliły bowiem istotę światła łukowego wyjaśnić. Okazało się mianowicie, że temperatura węgla dodatniego pozostaje zawsze niezmienną, jakakolwiek-by była wielkość łuku i jakakolwiek potęgą użytego prądu. Zestawić tedy można zjawisko to ze wrzeniem wody, która pod danem ciśnieniem zachowuje temperaturę stateczną, silniejsze zaś ogrzanie szybkość tylko parowania powiększa: tak samo więc i stateczność temperatury węgla dodatniego w świetle łukowym łatwo zrozumiemy, jeżeli przyjmiemy, że węgiel ten znajduje się w stanie wrzenia: w warunkach takich wzmoczenie siły prądu, albo raczej powiększenie wykonywanej przezeń pracy, podsyca szybkość jego wrzenia, ale temperatury jego nie podwyższa. Dzięki więc badaniom *Violle*'a wiemy teraz, że węgiel, który tak dzielnie opiera się wszelkim usiłowaniom stopienia go i którego w stanie ciekłym nikt nigdy nie widział, ulatnia się przy 3600°, w najwyższej, dotąd osiągniętej, temperaturze.

Z żaru tak potężnego już od początku stulecia korzystali dorywczowie fizycy i chemicy do badań nad topliwością i ulatnianiem metali oraz innych ciał, ale w ostatnich dopiero latach wprowa-

dzono urządzenia, które pozwalają w wysokiej temperaturze łuku elektrycznego prowadzić doświadczenia na wielką skalę i według planu należycie obmyślanego. Budowa takich „pieców elektrycznych“ nastęrcza znaczne trudności, już choćby dla tego, że tak silnemu ogrzaniu opiera się niewielka tylko liczba materyałów, a z kilku różnych konstrukcyj najdogodniejszym jest nowy piec Violle'a i Moissana, zbudowany głównie z węgla, w pobliżu bowiem 3000° nawet wapno niegaszone, w skład pieca wchodzące, topi się i spływa, jak woda. Szczegółów budowy tego pieca opisywać tu zresztą nie mamy potrzeby, ale niepodobna tu też przytoczyć całego mnóstwa ciekawych i zdumiewających doświadczeń, jakie w ciągu kilku lat ostatnich przy jego pomocy wykonał profesor Moissan. Dla przykładu jedynie nadmieniamy, że srebro bardzo łatwo doprowadzić się dało do wrzenia; platyna stopiła się w kilka minut i ulotniła, a następnie można było zebrać metal ten w małych, połyskujących kulkach; również szybko ulotniło się złoto, wydając parę zielonawo-żółtą, z której osiadły mikroskopowe kuleczki metalu. Łatwo też udało się zamienić w parę glin, mangan, żelazo i uran, podobnie jak i krzem, pierwiastek piasku i krzemionki, a nawet stopić i w stan lotny przeprowadzić zdołano wapno i magnezę, które dotychczas uważane były za nietopliwe; magnezya okazała się oporniejszą, aniżeli wapno.

Metale, które dotąd dawały się w drobnych ledwie otrzymywać okruchach, wytapiają się ze związków swoich w piecu Moissana szybko i w ilościach znacznych, tak, że teraz własności ich dobrze poznać się dają. Tlenki metaliczne i inne substancje po ulotnieniu osiadają na ścianach tygla, zdradzając swe formy krystaliczne, dotąd nieznanne. Nowy obszar poszukiwań i dociekań stanął dla chemika otworem; rozwija się „pyrochemia“ jako nowy dział nauki, nastęrczająca mu metody nowe i środki potężniejsze, aniżeli marzyć o nich mogli poprzednicy jego.

Z niemniejszym też zaciekawieniem i zajęciem spogląda na doświadczenia te mineralog i geolog, stawiają mu one bowiem przed oczy warunki, w jakich wedle wszelkiego prawdopodobieństwa pozostawała niegdyś Ziemia, gdy jeszcze w ogniisto-płynnym znajdowała się stanie, a z ciekłego i rozpalonego chaosu wytwarzały się skały i minerały. Powstawanie minerałów należało do tajemnic, które przyroda najstaranniej przed okiem zaciekawionego badacza kryje, ale obecnie tajemnica ta odsłania się zwolna, znaczną już bowiem liczbę minerałów odtworzyć zdołano sztucz-

nie, w pracowni naukowej, drogą doświadczalną; stara nawet i tak niedostępna dotąd zagadka dyamentów okazuje się do rozwikłania możebną. Wiemy dobrze, że dyament jest to tylko węgiel, węgiel skryształizowany i przezroczysty, przez spalenie go bowiem powstaje tenże sam kwas węglany, co i przez spalenie zwykłego, czarnego i bezkształtnego węgla. Aby więc czarny i pospolity nasz węgiel w dyament przeobrazić, trzeba go tylko było umieścić w warunkach, które-by mu dozwoliły przybrać postać krystaliczną, rozpuścić go zatem lub stopić. Ale wobec obu tych wymagań zachowuje się dyament oporniej, aniżeli jakiegokolwiek inne ciało na Ziemi,—nie masz cieczy, która-by go rozpuścić potrafiła; nie sięgano do temperatur, w których-by płynnym się stawał, nie umiano więc nawet rozstrzygnąć pytania, czy w przyrodzie wykrył się węgiel z roztworu, czy też z masy stopionej, czy utworzył się drogą wodną, czy też ogniową. Niedawno jednak wykryto drobne okruszki dyamentowe w aerolicie, w pewnej bryle żelaza meteorycznego, a odkrycie to uzasadniło domysł, że dyamenty pochodzenia kosmicznego powstały w tenże sam sposób, co i inne minerały, w skład aerolitów wchodzące, które się niewątpliwie drogą ogniową wytworzyły. Ze spostrzeżenia więc tego zaczerpnął Moissan wskazówki do doświadczalnych swych dochodzeń, w których węgiel postanowił poddać zarazem wysokiej temperaturze, jak i ciśnieniu olbrzymiemu. Posłużyły mu zaś do obu tych celów własności żelaza, które w stanie stopionym znaczną ilość węgla rozpuszcza, a w temperaturze niższej jego nadmiar wydziela, krzepnąc zaś, objętość swoją powiększa, podobnie, jak woda marznąca. Wydobywający się więc z rozpuszczenia węgiel uległ gwałtownemu ściśnięciu wskutek rozszerzania się żelaza krzepnącego, a po rozpuszczeniu masy metalicznej we wrzącym kwasie solnym otrzymano w pozostałości, oprócz węgla, wydzielonego w postaci grafitu, jeszcze bryłki skryształizowane i przedstawiające wszelkie cechy dyamentu, a przedewszystkiem jego twardość. Dla jubilerów sztuczne te a niemniej prawdziwe i rzetelne dyamenty mało zapewne były-by przydatne, są bowiem drobnych, mikroskopowych ledwie wymiarów; nie osłabia to wszakże naukowej doniosłości tego doświadczenia, które w znacznej przynajmniej mierze wysświetliło nam tworzenie się dyamentu w przyrodzie.

Może więc już teraz pyrochemia pochlubić się obfitym plonem nowych i ważnych odkryć; w dziedzinie tych badań przecież wrota dopiero co się rozwarły, a po za niemi ciągnie się długa

droga, na której może głębiej, aniżeli dotąd, przeniknąć zdołamy budowę chemiczną materji.

Cały ogrom ciał różnorodnych w przyrodzie rozbił chemik na ich części składowe, wydobył z nich siedmdziesiąt różnych substancyj, które już dalej rozkładać się nie dają, i określił je, jako ciała proste, pierwiastki. Czy są to jednak ciała stanowczo pierwsze, bezwzględnie z prostszych jeszcze substancyj niezłożone, tego nigdy twierdzić nie mógł; przyznawał tylko, że środkiem, jakie ma w swem rozporządzeniu, opiera się dalszy rozkład pierwiastków dzisiejszych. Nastęrczają się wszakże i mnożą świadectwa, które coraz wyraźniej za złożonością tych, tak zwanych, pierwiastków, przemawiają, a pewne zwłaszcza zależności, jakie zachodzą między własnościami różnych pierwiastków i pokrewieństwo ich zdradzają, usprawiedliwiają domysł, że liczny zastęp dzisiejszych pierwiastków chemicznych powstał z kilku tylko prostszych jeszcze substancyj, a może wytworzył się z przeobrażenia jednej tylko, zasadniczej materji pierwotnej, przez jakieś, nieuchwytnie dotąd skojarzenie jej cząstek, atomów. Ciepło, które do pewnego wprawdzie stopnia tworzeniu się związków chemicznych sprzyja, staje się przemożnym ich wrogiem, gdy wyższego dosięga natężenia; w silnem ogrzaniu wszystkie znane nam związki rozpadają się, rozkładają. Nie daje to wprawdzie dostatecznej jeszcze zasady do przypuszczania, że śród żaru, potężniejszego nad najwyższe dotąd osiągnięte, temperatury, uległy-by dalszemu rozkładowi metale lub inne pierwiastki dzisiejsze; zachowanie się wszakże niektórych przynajmniej pierwiastków w wysokiej temperaturze świadczy, że doznają one tam istotnego w budowie swej przeobrażenia. Tak, w szczególności, z doświadczeń Craftsa i Wiktora Webera wiadomo, że para jodowa w umiarkowanym już żarze gęstość swą zmieniać zaczyna, a przy 1400° gęstość ta zmniejsza się do połowy. Osobliwa ta zmiana znaczy, że dwuatomowa cząsteczka jodu rozszczepia się w wysokiej temperaturze na atomy swobodne, a temuż samemu losowi ulegają i pokrewne jodowi pierwiastki, chlor i brom, chociaż do przeobrażeń podobnych silniejszego jeszcze wymagają ogrzania. Rozszczepienie cząsteczki nie jest wprawdzie jeszcze rozkładem chemicznym halogenów, ale w każdym razie zaliczyć je trzeba do dokumentów, tyjących się ciemnej dotąd sprawy pierwiastków chemicznych. Nauka nawykła w ostatnich czasach do tego, że w najzawilszych kwestjach na właściwe tory wprowadza ją badanie gazów, w stanie lotnym bowiem materja

w najprostszej przedstawia się nam formie; stąd też spodziewać się wolno, że i poczynająca się dopiero pyrochemia gazów i par nieznanie nam dotąd widnokreśli ukaże. Dotkliwą trudność napotyka wprawdzie badania te w przenikliwości materiałów; w wysokich temperaturach zbiorniki nie mogą utrzymać w uwięzi gazów, które się przez ich ściany przedzierają, tryumfująca wszakże zawsze technika znajdzie zapewne sposoby poskromienia i tej przeszkody.

III.

Skorośmy poznali sposoby otrzymywania wysokich temperatur, wspomnieć należy i o metodach ich mierzenia. Tu wszakże z góry oświadczyć już musimy, że wszystkie dotąd wprowadzone metody i wszystkie dotąd zbudowane przyrządy zupełnie zadawalających nie dają rezultatów. Od stu lat nie brakło wprawdzie usiłowań nad obmyśleniem przyrządów, które-by wysokie stopnie temperatury wskazywać mogły z równą dokładnością, jak termometr rtęciowy oznacza temperatury niższe; starano się do celu tego zastosować nietylko rozszerzalność ciał, przez ciepło powodowane, ale i najrozmaitsze inne objawy, pomimo to zadanie dokładnego mierzenia wysokich temperatur stanowczo rozwiązaniem nie zostało.

Przyrządy do celu tego służące noszą nazwę pyrometrów, jakby ogniomierzy. Jest to nazwa dawna, tytuł bowiem „Pyrometryi“ posiada dzieło Lamberta, ogłoszone w r. 1779; obejmuje ono wprawdzie ogólny traktat o mierzeniu ciepła, ale autor wyróżnia już pyrometry od termometrów, rozumiejąc pod nazwą pierwszą przyrządy, które służyć mają do wskazywania wyższych, dla uczucia naszego niemożliwych do znoszenia, stopni ciepła. Właściwa jednak obecna pyrometrya poczyna się od Jozyasa Wedgwooda. Słynny ten garncarz, wynalazca tak zwanych wyrobów kamiennych czyli sztejnutowych, skorzystał z własności gliny, która przez działanie ciepła zsyca się i kurczy, a urządzony na tej zasadzie pyrometr opisał w r. 1782. Składa się on z dwu prętów metalowych, osadzonych na płycie również metalowej w taki sposób, że zawierają między sobą zwięzający się kanał; brzeży prętów opatrzone są w podziałkę i posiadają dwieście kresek w równych odstępach. Nadto urabiają się z wyschłej gliny walce takich wymiarów, że w kanale pyrometru zatrzymują się przy zerze podziałki. Aby więc temperaturę ogniska ocenić, wprowadza

się tam jeden z takich walców, a skoro przyjął temperaturę tego ogniska, wsuwa się go znowu między pręty pyrometru; wskutek wypalenia, glina zmniejszyła swą objętość, a walec nie zatrzymuje się już przed zerem, ale da się wtłoczyć przed inną kreskę podziałki. Wedgwood starał się podziałkę tę związać ze skalą termometru zwykłego, nie zdołał jednak tego dopiąć; rzecz zresztą widoczna, że zmiana używanego rodzaju glinki wydać może inny zupełnie rezultat. W jednej wszakże i tejże samej fabryce, jeżeli posługujemy się jednaką zawsze gliną, pyrometr Wedgwooda dozwala łatwo poznawać, czy osiągniętą już została temperatura, potrzebna do należytego wypalania wyrobów. Do celów naukowych, oczywiście, przyrząd ten nadawać się nie może.

Dawniejszego jeszcze pochodzenia jest pyrometr metaliczny, polegający na rozszerzalności metali, zbudowany bowiem został przez Musschenbroeka w r. 1731. Ponieważ metale słabo się pod wpływem ciepła rozszerzają, aby więc drobne wydłużenie pręta metalowego uwidocznić, trzeba go oprzeć o skazówkę, która za słabem już pochyleniem drugim swym końcem obiega łuk wyraźny. I w tego rodzaju pyrometrach niepodobna również sprowadzić wskazań do stopni termometru zwykłego, a, co większa, wystawione na ciągłe działanie silnego ciepła, ulegają przeobrażeniom, które-by zmuszały do wprowadzenia nowej podziałki, gdyby nie było rzeczą prostszą dawny przyrząd nowym zastąpić.

Są, dalej, pyrometry, polegające na topliwości różnych ciał, a zwłaszcza stopów metalicznych, tak dobranych, że punkty ich topliwości niewiele są między sobą odległe. W jednym z takich przyrządów pierścienie, wyrobione z podobnych stopów, ułożone na pręciku i ściśnięte sprężyną, wprowadzane są do badanego pieca, a w ten sposób łatwo ująć można chwilę, gdy temperatura dochodzi żądanej wysokości. Dokładność tej metody zależy, oczywiście, od ściśłości wyrobu stopów. Skorzystano też z przeobrażeń chemicznych, jakich ciała pod wpływem żaru doznają; taki pyrometr Lamy'ego polega na stopniu dysocjacji węglanu wapnia, dostatecznie ściśle wszakże wskazania daje tylko między 700° a 900°. Pyrometry znów optyczne są to właściwie fotometry, które stan rozgrzania ciała oceniają z jasności wysyłanych przez nie promieni.

Do użytku praktycznego okazał się podobno dogodnym zbudowany przez Saintignona przed kilku laty pyrometr o strumieniu wody (pyromètre à courant d'eau); w przyrządzie tym bo-

wiem bezpośredniemu działaniu badanego ogniska poddaje się przepływający przez umieszczoną w niem rurę prąd wody, a ze stopnia rozgrzania się wody temperatura ogniska ocenić się daje.

Do pewnego stopnia zdołano nawet i zwykły termometr rtęciowy zamienić na pyrometr, a przynajmniej posunięto znacznie granicę, do której służyć może. Termometr staje się nieprzydatnym, skoro rtęć wrzeć zaczyna; gdy jednak pustą przestrzeń rury, ponad rtęcią, zapełniono gazem obojętnym, który na rtęć działania chemicznego nie wywiera, jak azotem lub kwasem węglanym, zdołano pod tym uciskiem punkt wrzenia rtęci posunąć do 500 i 600 nawet stopni. Do wyższych jeszcze temperatur korzystać można z rozszerzalności gazów, a w szczególności powietrza; ujmą wszakże pyrometrów powietrznych jest to, że zbiorniki ich stają się przy silnem rozgrzaniu dla gazów przenikliwe.

W każdym razie, ze wszystkich pyrometrów najlepiej wymaganiom wszelkim odpowiadają elektryczne, polegające na ścisłym związku, jaki zachodzi między objawami cieplikowemi i elektrycznemi. W miarę, jak się temperatura drutu podwyższa, wzrasta i opór jego, a tem samem słabnie prąd po drucie tym przebiegający. W pyrometrze więc Siemens a drut platynowy, po którym płynie prąd, wprowadza się do badanego ogniska, a z natężenia prądu, wskazanego przez galwanometr, wniesić można o temperaturze, do jakiej drut się rozgrzał.

W badaniach naukowych przydatną być może zwłaszcza metoda kalorymetryczna, polegająca na oznaczaniu ilości ciepła, jaką traci ciało w badanem ognisku ogrzane. Dla oznaczenia temperatury ogniska tego wprowadzamy doń bryłkę żelaza lub platyny znanego ciężaru, a skoro przyjmie już temperaturę swego otoczenia, wrzucamy ją do kalorymetru, zawierającego odważoną również ilość wody. Ze stopnia ogrzania wody ocenić możemy ilość ciepła, utraconą przez bryłkę, a stąd, w dalszym ciągu, i temperaturę, jaką w ognisku przybrała. W ten właśnie sposób, jak wyżej już przytoczyliśmy, ocenił Violle temperaturę światła łukowego, ale i ta metoda nie jest wolną od pewnych trudności, które stosowanie jej ograniczają. W ogólności zaś wszelkie przyrządy pyrometryczne przybliżoną tylko dają ocenę, chociaż w wielu razach przybliżenie to daleko posuniętem być może.

IV.

Przebywaliśmy dotąd wyłącznie w obrębie pracowni naukowych, rozejrzeć się teraz wypada i w objawach samej-że przyrody. Zakrzepła na powierzchni ziemskiej nasza bryła kryje niewątpliwie we wnętrzu swoim wysokie stopnie ciepła¹⁾, pozostałość żaru pierwotnego, którym niegdyś i na powierzchni płonęła, a o którym słabo świadczą jeszcze strumienie lawy rozpalonej.

Temperatura lawy dotąd dokładnie oznaczoną nie była, dostęp bowiem do rozpalonego jej potoku trudny jest bardzo i niebezpieczny, a nadto opiera się wprowadzaniu do niej termometru, gdyż na powierzchni jej często bryły nawet żelazne pływają. Podczas ostatniego dopiero wybuchu Etny napotkał Bartoli warunki korzystniejsze, zdołał bowiem zbliżyć się do strumienia lawy na odległość dwu metrów, i to w miejscu, gdzie wydobywała się z przewodu podziemnego, który ją od oziębienia chronił. Aby więc temperaturę jej zmierzyć, obmyślił odpowiedni termometr. Rozciąwszy mianowicie lufę pistoletu, złożył znów obie połowy w rurę, której koniec jeden zaostrzył dla łatwiejszego pogrążenia w lawie; w rurze umieścił pręt platynowy i tak przerobiony pistolet osadził w odpowiedni sposób na końcu żerdzi z drzewa kasztanowego, a przy pomocy tego drążka wtłaczał termometr swój w lawę. Przeciąg dziesięciu minut wystarczał do sprowadzenia jednostajności temperatury, po wydobyciu zaś przenoszono szybko lufę pistoletu nad kalorymetr, rozdzielano obie jej części, a pręt platynowy wrzucano do wody kalorymetru, której rozgrzanie dawało tedy możność obliczenia temperatury lawy. Badania te wykazały, że lawa, po opuszczeniu kanału podziemnego, w głębokości jednego metra posiadała temperaturę od 1060° do 970°, a tenże sam potok lawy, po przebiegu dwu kilometrów, z szybkością ośmdziesięciu metrów na godzinę, stygł o 200° mniej więcej.

Skwar podobny było-by trudno gdzieindziej na Ziemi napotkać, po wyższe więc jeszcze stopnie ciepła sięgnąć trzeba aż do Słońca. Zapomniano już o tej teorii dziwacznej, która Słońcu jądro ciemne i jaśniejącą tylko powłokę przypisywała; rozumiemy teraz dobrze, że dzienna nasza gwiazda, której promienie życie i wszystką działalność na Ziemi utrzymują, jest to bryła ognista

¹⁾ Ob. Szkic „Zagadka wnętrza Ziemi“.

i wskroś rozpalona, ale — na nieszczęście — w całej Fizyce Słońca nie następuje się zagadnienie trudniejsze nad ocenę temperatury jego. Zmierzono starannie, jaką ilością ciepła darzy nas Słońce w ciągu roku; obliczono, ile go na wszystkie strony przestrzeni świata rozsyła: ale stąd jeszcze temperatury Słońca bezpośrednio wyczytać nie można, nie znamy bowiem zależności, jaka między promieniowaniem ciała a temperaturą jego zachodzi, przy silnem zwłaszcza rozgrzaniu. Stąd też poglądy różnych badaczy tak dalece rozbiegają się między sobą, że gdy jedni o trzech lub pięciu milionach stopni ciepła na Słońcu prawią, inni ledwie mu tysiące przyznają. Do pierwszych należy Secchi, który w obliczeniach swoich oparł się wprost na przypuszczeniu, że temperatura ciała proporcjonalna jest do natężenia wysyłanych przez nie promieni; natomiast zaś fizycy francuscy, Violle zwłaszcza, biorąc za punkt wyjścia prawa promieniowania, wyprowadzone doświadczalnie w temperaturach niższych, oceniają, że temperatura Słońca nie przewyższa jakich 2000 stopni, nie dorównywa tedy nawet najwyższym, na Ziemi osiągniętym, temperaturom. Odskok, jak widzimy, jest tu olbrzymi, pośrednia zaś liczba 28000 stopni wypadła Zöllnerowi na podstawie pewnych uwag, które mu nastroczyło badanie widma słonecznego.

Obliczenia powyższe mają charakter przeważnie teoretyczny, w ostatnich wszakże latach starano się kwestyę tę umieścić na gruncie bardziej doświadczalnym, odwołując się do pomiarów bezpośrednich. Rosetti w Padwie oznaczał natężenie promieniowania Słońca za pomocą stosu termoelektrycznego i porównywał je z promieniowaniem źródła sztucznego, posiadającego temperaturę 2000°, a z rezultatów zestawienia tego wniósł, że temperatura Słońca wynosi 10000°. Zapewne wszakże promienie Słońca w samej już atmosferze jego ulegać mogą pochłanianiu i osłabione stąd do nas przybywają, a istotna temperatura jego winna być wyższa; uwzględniając więc taką utratę według tego, co o naturze powłoki gazowej Słońca wiemy, przypisuje Rosetti Słońcu 20000 stopni. Z podobnych jednakże podstaw eksperymentalnych wysnuł Paschen liczbę mniejszą; zestawiając promieniowanie Słońca z promieniowaniem platyny rozrządzonej, dochodzi do wniosku, że gdyby Słońce było ciałem stałym, temperatura powierzchni jego nie mogła-by 5000° przechodzić.

Do porównywań takich innej znów metody użył Le Chatelier: przepuszczał on, mianowicie, przez szkło czerwone pro-

mienie słoneczne, jako też promienie ciał ogrzanych do 1700°, a z osłabienia, jakiego stąd doznawały, temperaturę Słońca oblicza na 6500 do 8500 stopni. Z liczbami zaś temi dosyć są zgodne i rezultaty pomiarów najnowszych, przeprowadzone przez Wilsona i Graya tąż samą, opisaną już wyżej, metodą kompensacyjną, której badacze ci użyli i do oznaczenia temperatury światła łukowego. Znaczna liczba dokonanych pomiarów upoważnia ich do twierdzenia, że temperatura Słońca nie odstępuje znacznie od 8000 stopni.

Jeżeli z liczb tak rozstrzelonych wnioszek jaki wyprowadzać można, to tyle chyba, że badania nowsze dążą w ogólności do ograniczenia przesadnie ocenianej pierwotnie temperatury Słońca. Zresztą, niższe te stopnie tyczą się tylko powierzchni jego; we wnętrzu ogromnej bryły słonecznej panuje zapewne żar potężniejszy, który długo jeszcze wynagradzać będzie ubytki, jakie wierzchnie warstwy Słońca wciąż ponoszą. Śród nieprzeliczonego wszakże zastępu słońc, w przestrzeni świata rozrzuconych, nasze ani najchłodniejsze nie jest, ani najgorętsze, a w szczególności gwiazdy, które światłem białem jaśnieją, wedle wszelkiego prawdopodobieństwa, w wyższym znajdują się stanie rozpalenia. Nie zatrzymamy się wszakże przy nich choćby dla tego, że o ich temperaturze nie już zgoła powiedzieć nie potrafimy, a od skwaru tak nadmiernego czas już schronić się na drugi kraniec skali temperatur.

V.

Śmieliśmy się za szkolnych naszych czasów z bajki o wizytatorze, który zapytał ucznia, co jest zimniejsze od lodu; ale także sama niedorzeczność tkwi przecież i w pospolitem porównaniu: zimny, jak lód; w określeniu tem bowiem lód jest jakby symbolem zimna, wyobraża ciało oznaczonej, statecznej temperatury. Błąd ten jest rzeczywiście bardzo rozpowszechniony i często napotkać można osoby, które nie zdają sobie należytej sprawy, że lód, podobnie jak żelazo, lub jakiegokolwiek inne ciało, oziębiać lub ogrzewać można dowoli. To tylko prawda, że wyżej zera termometrów naszych ogrzać lodu niepodobna, bo wtedy staje się już wodą i przez cały czas topienia temperaturę zachowuje niezmienną, ale poniżej kresu tego temperatura lodu nie jest bynajmniej stateczną: może on być cieplejszym lub zimniejszym, albo, mówiąc jaśniej, mniej lub bardziej zimnym, a to zależnie od natężenia

mrozu, na jaki jest wystawiony, stygnąć może dalej i dalej, aż do ostatecznego kresu wszelkiego ciepła, aż do punktu zimna bezwzględnego.

Zimno bowiem nie jest objawem od ciepła odrębnym, wręcz mu przeciwnym, jest to tylko niedostatek ciepła, stan jego niski. Jakiegokolwiek zaś o istocie ciepła mamy wyobrażenie, pojmujemy, że ciągły ubytek jego zakończyć się wreszcie winien brakiem jego zupełnym. Według dawniejszej teorii ciepła, gdy sądzono, że jest ono substancją, płynem nieważkim, ciało stawać się musiało bezwzględnie zimnem po zupełnem ustąpieniu żeń tego ciepłika hypotetycznego; obecnie, gdy ciepło za objaw ruchu najdrobniejszych cząstek uważamy, a temperatura ciała jest wyrażeniem żywości tego ruchu, ciepło unicestwia się wraz z zagładą, z ustaniem ruchu cząsteczkowego, — ciało staje się bezwzględnie zimnem i dalej już stygnąć nie może, skoro cząstki jego, wykonywając drgania coraz wolniejsze, coraz bardziej opieszale, w martwym wreszcie zalegają spokoju.

Za czasów jeszcze ciepłika nieważkiego zrozumieli Desormes i Clément, że do oznaczenia tego krańcowego punktu ciepła, bezwzględnego zatem zera skali temperatur, posłużyć nam mogą własności gazów; dziś zdajemy sobie z tego sprawę jaśniej. Ruch cząsteczkowy gazów ujawnia się ich prężnością, dążnością do coraz dalszego rozprzestrzeniania się, ciśnieniem na krępujące je ściany. Gdy gaz ogrzewa się w warunkach, które swobodnego jego rozszerzania się nie dopuszczają, wzmożony ruch cząsteczek jego ujawnia się silniejszym miotaniem się ich o ich ściany, podsycając prężności; staranne zaś i liczne doświadczenia nauczyły, że wzrost temperatury o jeden stopień powoduje powiększenie prężności o $\frac{1}{273}$ jej część, a nawzajem, oziębianie gazu sprowadza w takimże samym stosunku osłabianie prężności pierwotnej. Jeżeli więc pewna objętość gazu, pozostająca w temperaturze 0° pod ciśnieniem atmosfery, ulega stopniowemu oziębianiu, to przy -1° prężność jej zmniejszy się o $\frac{1}{273}$, przy -2° o $\frac{2}{273}$, a przy -273° o $\frac{273}{273}$, co znaczy, że gaz traci prężność swą zupełnie, nie posiada już zgoła dążności do rozprzestrzeniania się, jest bezwzględnie, zupełnie zimny. Rozumując i rachując w ten sposób, przypuszczaliśmy tem samem, że gaz i do skrajnych, najniższych temperatur

zachowuje własności swe niezmiennie, że jest zatem gazem doskonałym; chociaż wszakże najbardziej nawet typowe gazy do stanu tego tylko mniej lub więcej się zbliżają, nie osłabia to naszego wniosku teoretycznego, że poniżej temperatury -273° C. już dalej ciał oziębiać nie można; jest to więc bezwzględne, istotne zero temperatury, niezależne od dowolnego doboru stałego punktu skali termometrycznej.

Jest to zapewne temperatura pustych przestrzeni wszechświata, chociaż je bowiem we wszelkich kierunkach przebiegają promienie słońc niezliczonych, brak tam substancji, która-by je pochłaniała i niemi się ogrzewała. Próżnię wszechświata zimno zalega absolutne. I atmosfera nasza zresztą jest silnie przecieplająca, co znaczy, że w słabej zaledwie mierze zatrzymuje dostające się do niej promienie słoneczne; powierzchnia dopiero Ziemi chwytą je i pochłania, a ogrzana niemi udziela ciepła zetkniętym z nią, dolnym warstwom powietrza, które stąd lżejszemi się stają i wznoszą się wyżej, gdy opadające z góry masy następnie takiejże samej wędrówce ulegają. Prądowanie to sięga wszakże pewnej tylko, ograniczonej wysokości, gdy górne warstwy atmosfery, udziału w niem nie biorąc, zadawałać się muszą jedynie słabą miarą promieni bezpośrednio pochłanianych i zimne pozostają. Aby więc temperaturę tych stref dalekich i dla człowieka niedostępnych zbadać, zaczęto wysyłać tam na zwiady samopas puszczone balony sporych wymiarów, opatrzone w przyrządy samopiszące, które automatycznie kreślą przebieg elementów meteorologicznych. Tego rodzaju balon, wypuszczony w lecie 1894 roku w Berlinie, przez profesora Assmanna, opadł w dziesięć godzin później w Bośni, przebiegłszy w tym przeciągu czasu tysiąc przeszło kilometrów. Balon osłoniony był dla ochrony od bezpośredniego działania promieni Słońca, przyrządy zaś obserwacyjne notowały wskazania swe metodą fotograficzną. Balon wraz z przyrządami odwieziony został do Berlina, a bieg nakreślonych linii krzywych wykazał, że balon, opuściwszy powierzchnię Ziemi pod ciśnieniem 764 milimetrów i przy temperaturze 17° C, osiągnął wkrótce wysokości 16325 metrów, jak to wypada ze spadku barometru do 85 milimetrów, a w wysokości tej temperatura zniżyła się do -52° . Na tym przynajmniej punkcie zatrzymały się linie krzywe przyrządów notujących, których walce były zbyt krótkie do wskazania krańca wysokości osiągniętej. Przy następnem wypuszczeniu balonu, we wrześniu tegoż roku, gdy zaradzono tej niedogodności, ciśnienie

barometryczne zniżyło się do 53 milimetrów, a temperatura w odpowiadającej temu wysokości 18500 metrów wynosiła 65° niżej zera. Podobne próby powtarzano potem kilkakrotnie jeszcze; balony sięgały wyżej, do 25 000 metrów, ale temperatury niższej od — 65° żaden już nie wykazał.

Po tak niskie wszakże stopnie ciepła niekoniecznie wzbijać się trzeba na kilka mil w górę, zdarzają się bowiem i na powierzchni Ziemi. Biegunami zimna, albo ośrodkami zimna, nazwano okolice niewielkiej rozległości, w których temperatura opada nader nisko, albo raczej punkty na Ziemi, posiadające tę własność, że są zimniejsze od miejsc otaczających. Okolice najzimniejsze, z których posiadamy dostrzeżenia, przypadają w Syberii północno-wschodniej i na północy Ameryki, na wyspach Parry. Najzimniejszym punktem Ziemi, o ile wiemy, jest Wierchojańsk w Syberii; w Ustjańsku, na wschód ujścia Leny, i w Jakucku, położonym nad tą samą rzeką, ale o 9° bardziej na południe, temperatura średnia stycznia wynosi — 42°, w Wierchojańsku zaś, który leży między obu temi miejscowościami, dochodzi ona do — 48°. Najniższa, w miejscu tem zauważona temperatura, była — 63°. Bieg linii izotermicznych styczniowych wskazuje, że biegun północny nie należy do najzimniejszych na Ziemi punktów, które przypadają po obu jego bokach, w stronie Azji wschodniej i Ameryki zachodniej.

VI.

Równie daleko posuniętego zimna, jak w powyżej przytoczonych, najchłodniejszych na Ziemi miejscowościach, niezbyt dawno jeszcze sztucznymi środkami wywoływać nie umiano. Technika silnego oziębiania rozwinęła się dopiero w ciągu ostatnich lat kilkunastu.

Dawniejsze sposoby sztucznego ochładzania wystarczały ledwo do zamrożenia rtęci, a przynajmniej niewiele znaczniejsze dawały zimno. Postępowano w ogólności tak, jak to robią gospodynie, gdy dla dłuższego utrzymywania lodu w lodowni pokojowej obsypują go solą. Zachodzą tu mianowicie dwa działania, z których każde z pochłanianiem ciepła jest połączone. W obecności soli przyspiesza się tajanie lodu, by w powstałej stąd wodzie sól rozpuścić się mogła; stopienie zaś lodu wymaga pewnego nakładu ciepła, które się zużywa na przewyciężenie spójności jego

cząstek. Podobnie wszakże i rozpuszczanie się soli jest też ponieważ zmianą stanu skupienia, złączone jej bowiem cząstki rozrywają się i rozbiegają. Na wykonanie zaś obu tych prac potrzebnej ilości ciepła dostarczyć musi najbliższe otoczenie, a przedewszystkiem samże lód pozostały, który tedy, wskutek utraty ciepła, ulega oziębieniu, przy odpowiedniej ilości soli, aż do 22 stopni niżej zera.

Objawy te znane są oddawna, już bowiem w 1550 r. Błażej Villafranca, lekarz w Rzymie, zwrócił na to uwagę, że wodę oziębć można przez rozpuszczanie w niej saletry, a w r. 1607 dostrzegł Latinus Tancredus, że niższą jeszcze temperaturę posiada mieszanina śniegu z saletrą. Wkrótce potem liczniejsze doświadczenia z różnemi solami przeprowadził gorliwy eksperymentator Boyle, przyczem wykrył, że wszystkie sole, gdy z lodem lub śniegiem zimno wytwarzają, same się też rozplývają. Słynni wynalazcy termometru, Fahrenheit i Réaumur starali się ściślej oznaczyć obniżenie temperatury, zachodzące przy różnym stosunku ilościowym soli i śniegu, ale podjętę do liczniejszych badań dało zakrzepnięcie rtęci w termometrze podczas silnego mrozu w Irkucku 1736 r. Różni fizycy starali się tedy zamrozić rtęć sposobami sztucznemi, a to powiodło się wreszcie Braunowi 1759 r. przy użyciu mieszaniny śniegu z rozcieńczonym kwasem azotnym. Przez dobór innych materiałów oziębienie tą drogą doprowadzić można do -50° przeszło, ale silniejszego już ochłodzenia dawne te „mieszaniny oziębiające“ nie dają; skoro mieszanina zaczyna krzepnąć, przerywa się dalsze rozpuszczanie, a tem samem ustaje pochłanianie ciepła. Korzystne natomiast okazały się metody inne, które już nie na topieniu ciał stałych, ale na parowaniu ciekłych polegają.

Gdy się ciecz w parę przeobraża, cząstki jej rozrywają się między sobą, rozbiegają, rozpraszają, a pracę tę również ciepło spełniać musi. Gdy woda wrze przy ogniu, ubytku ciepła nie dostrzegamy wprawdzie, ale to dlatego, że ogień stanowi źródło, które dostarcza wciąż tyle ciepła, ile go wytwarzanie pary zużywa. Zwilgocona jednak ręka doznaje uczucia chłodu, w tym bowiem razie ulatnianie wody dokonywa się kosztem własnego jej ciepła. Uczucie to chłodu jest silniejsze, gdy na rękę puścimy kilka kropel eteru, ciecz ta bowiem ulatnia się znacznie prędzej, aniżeli woda, a stąd gwałtowniej ciepło odciąga.

Proste więc te dostrzeżenia wskazują, że silne oziębienie spro-

wadzić możemy za pośrednictwem szybko ulatniających się cieczy, jeżeli zwłaszcza ulatnianie to przyspieszymy przez usunięcie wszelkich przeszkód, a przede wszystkim samej-że pary, która, gromadząc się ponad cieczą, dalszemu jej ulatnianiu zawadza. W ten więc sposób przy udziale pomp, które oddalają rozwijającą się wciąż parę eteru, powstały fabryki sztucznego lodu, albo też maszyny do produkcji jedynie zimna, czyli raczej do chłodzenia powietrza w piwnicach lub na okrętach, przewożących do Europy w stanie zamrożonym ryby i mięso. Zamiast zresztą eteru, korzystniejszym jest amoniak płynny, jako ciecz znacznie jeszcze lotniejsza; aby zaś ilość zużywanej cieczy jak najbardziej ograniczyć, uchodzącą jej parę chwytają pompy zagęszczające i stan jej ciekły wracają. Jest to więc obieg ciągły ograniczonej ilości cieczy, utrzymywany bezustanną grą pomp rozrzedzających i zgęszczających, które w ruch wprawia motor parowy. W ostatniej zatem instancji wzbudza się zimno działaniem ognia, kosztem węgla w motorze spalanego.

Innem jeszcze źródłem zimna może być nagłe rozszerzanie się gazów ściśniętych, powiększenie bowiem objętości gazu łączy się z przewycięciem oporu zewnętrznego, a na spełnienie tej pracy gaz łoży własny zasób energii i stąd się oziębia. Gdy powietrze ulega stłoczeniu pod naciskiem trzech atmosfer, ogrzewa się o sto przeszło stopni, a gdyby w warunkach tych objętość swą pierwotną odzyskać miało, wróciło-by i do temperatury pierwotnej; jeżeli wszakże, współcześnie ze ściskaniem, ulega powietrze oziębianiu, choćby działaniem zimnej wody, to po odzyskaniu objętości początkowej będzie już znacznie zimniejszym, aniżeli poprzednio. W taki sposób działające maszyny oziębiające utrzymywać mogą w piwnicach temperaturę niższą nad -50° .

Dla celów praktycznych tedy stopień ten zimna wystarcza w zupełności, okazał się wszakże zgoła niedostatecznym dla fizyków, gdy podjęli ostateczną walkę z krnąbrnymi gazami, które poprzednio opierały się wszelkim wysileniom ich skroplenia. Odtąd technika otrzymywania znacznego zimna zespoliła się ze sprawą skraplania gazów.

Analogia gazów do pary wodnej i do znanych par innych cieczy dawno już nasuwała domysł, że gazy dadzą się, podobnie jak pary, pokonać i w stan ciekły przeobrazić. Walkę taką z lotnością gazów rozpoczął Faraday w r. 1820, gdy zdołał skroplić chlor pod działaniem ciśnienia, jakie gaz ten sam na siebie wywie-

rał, skupiony w ciasnej przestrzeni rury zamkniętej. Gdy ciśnieniu przybyło w pomoc oziębianie, uległy temuż samemu losowi i inne gazy; w szczególności zaś w większych ilościach skroplono kwas węglany, który w temperaturze -1° wymaga ciśnienia 37 atmosfer, ale silnie oziębiony przechodzi w ciecz już pod ciśnieniem bardzo nieznacznem, przewyższającym niewiele ciśnienie jednej atmosfery, zatem ucisk normalny, pod jakim pozostają wszystkie na Ziemi przedmioty.

Sposoby skraplania kwasu węglanego zdołano zresztą tak dalece udoskonalić i uprościć, że dokonywa się to fabrycznie, a kwas węglany w stanie ciekłym rozsyła się nabywcom w butelkach, mających postać długich walców, wyrobionych zaś z żelaza kutego, o ścianach grubości kilku centymetrów. Gdy zbiornik taki otwieramy wylotem ku dołowi, wtedy ponad cieczą w naczyniu zbiera się pewna ilość gazu, który ciśnię na nią siłą kilkudziesięciu atmosfer; ciecz przeto bardzo gwałtownie otworem wytryska i część jej ulatnia się niezmiernie szybko, zabierając potrzebny do tego nakład ciepła pozostałej jej ilości, skutkiem czego ta ostatnia oziębia się tak dalece, że krzepnie, przechodzi w stan stały, tworząc śnieg pulchny, którego punkt wrzenia, czyli temperatura, jaką przyjmuje, gdy się go pozostawia w zbiorniku otwartym, wynosi 80 stopni niżej zera.

W tak niskiej temperaturze poddał znów Faraday w r. 1845 ciśnieniu rozmaite gazy, a połączonemu tak działaniu potężnego ciśnienia i silnego oziębienia uległy wszystkie prawie; kilka wszakże wytrwalszych przezwyciężyć się nie dało, jakkolwiek nie szczędzono usiłowań, stosując przeciw nim coraz silniejsze oziębianie i uciskanie. Ponieważ jednak brakło sposobów wzbudzania zimna zbyt nateżonego, zadawano się zatem głównie wzmaganiami ciśnienia, w tej myśli, że jeden środek równie jest dobry, jak drugi, a gdy jednego używać nie można, wystarczy drugi, byleby z dostateczną działał siłą. Skoro wszakże i pod potężnym uciskiem, który je skupiał w objętości pięćset lub tysiąc razy szczuplejszej, niektóre gazy nie dawały się przemocą tą wyprowadzić ze stanu lotnego, uznano je za gazy trwałe, a pomiędzy nimi mieściły się gazy najważniejszego w przyrodzie znaczenia, jak wodór, tlen, azot, a zatem i powietrze atmosferyczne, które jest tylko mieszaniną dwu ostatnich.

Zagadkową przyczynę tego niepowodzenia wyjaśnił dopiero w r. 1869 Andrews. Każde mianowicie uciskanie gazu powoduje

i jego ogrzewanie, podwyższenie zaś takie temperatury sprzeciwia się skraplaniu i uniemożliwia je wreszcie zupełnie, oziębienie przeto staje się niezbędnem, usuwa bowiem nadmiar wywiązującego się przy ściskaniu ciepła. Dla każdego zaś gazu i dla każdej pary istnieje pewna „temperatura krytyczna“ taka, że gdy gaz posiada temperaturę od niej wyższą, nie daje się zamienić w ciecz przez ucisk choćby najpotężniejszy; przechodzi on wtedy jakby w pewien stan pośredni między stanem lotnym a ciekłym, ale nie staje się wyraźną cieczą, choćbyśmy go sprowadzili do objętości, jaka mu w stanie ciekłym przypada.

Tak kwas węglany, który, jak widzieliśmy, przy 0° zamienia się w ciecz już pod ciśnieniem niezbyt znacznem, nie daje się żadną miarą skroplić, gdy jest ogrzany powyżej 31° C. Podobną temperaturę krytyczną dla pary wodnej przypada dopiero w temperaturze 412°, i para więc wodna, gdy jest dostatecznie ogrzana, nie da się już w wodę zamienić, będzie gazem trwałym. Tlen wszakże, azot i wodór posiadają temperatury krytyczne niższe od stu stopni zimna; aby więc je skroplić, trzeba się było postarać o temperatury niższe od tych, jakimi się poprzednio posługiwano.

Skoro więc fizycy, za radą Andrews'a, w tym kierunku usiłowania swe zwrócili i zdołali wytworzyć zimno potężniejsze, dopięli wreszcie celu, a dnia 24 grudnia 1877 roku otrzymała Akademia nauk w Paryżu zawiadomienie od dwu naraz fizyków, Cailleteta w Paryżu i Picteta w Genewie, że zdołali wreszcie tlen sprowadzić do stanu ciekłego. Cailletet otrzymał tlen wprawdzie tylko w postaci mgły, ale Pictet zdobył rezultat wyraźniejszy, gdy bowiem poddał tlen ciśnieniu 320 atmosfer i oziębził go za pośrednictwem skroplonego kwasu węglanego, który przez szybkie ulotnienie wywołał oziębienie do -140° , wtedy za otworzeniem zbiornika, w którym tlen był ściśnięty, wytrysnął strumień skroplonego gazu.

W sposób dokładniejszy wszakże doświadczenia te przeprowadzili dopiero w r. 1882 profesorowie Wróblewski i Olszewski w Krakowie, zdołali bowiem otrzymać tlen ciekły, już nie w stanie tylko mgły lub w postaci prądu przemijającego, ale jako ciecz istotną i wyraźną, zawartą w zbiorniku. Do sprowadzenia pożądanego zimna posłużył im najpierw skroplony kwas węglany, który przy ulatnianiu sprowadza zimno dostateczne do skroplenia innego, bardziej opornego gazu, zwanego etylenem.

Etylen skroplony wrze pod zwykłym ciśnieniem przy -103° , ale gdy powstającą stąd parę usuwa się szybko za pomocą pompy powietrznej, punkt wrzenia zniża się do -140° prawie; tak znaczne zaś oziębienie wystarcza do skroplenia tlenu już pod ciśnieniem dwudziestu atmosfer, temperatura bowiem krytyczna tego ostatniego gazu przypada przy -113° . Tlen zaś skroplony stał się w dalszym ciągu źródłem znaczniejszego jeszcze zimna, przez ulotnienie swe bowiem zniża temperaturę do -185° , co znów z kolei dało możność skroplenia azotu, którego temperatura krytyczna wynosi -146° . Skroplony azot wrze pod ciśnieniem atmosferycznym przy -194° , a w próżni już przy -213° ; w ten więc sposób, jak widzimy, skraplanie gazów coraz oporniejszych staje się źródłem zimna coraz silniejszego, coraz potężniejsze oziębienie sprowadza. Ulatniając się pod słabym ciśnieniem, wskutek wywołanego przez to dalszego jeszcze oziębienia, dał się azot zamrozić w śnieżne, krystaliczne kłaczkę. Skoro zaś oba główne składniki powietrza, tlen i azot, skropleni uległy, tem samem oczywiście przeprowadzono w stan ciekły i powietrze atmosferyczne, którem oddychamy i które jest typowym przedstawicielem stanu lotnego. Tlenu dotąd w stanie stałym otrzymać nie zdołano, ale Dewar w Londynie zamroził powietrze w ciało stałe, bezbarwne i przezroczyste, nie mógł wszakże rozstrzygnąć, czy stałe to ciało jest galaretą, utworzoną z zakrzepłego azotu, który zawiera tlen w stanie ciekłym, czy też jest to rzeczywiście lód z ciekłego powietrza powstały, w którym zarówno tlen, jak i azot w stanie stałym istnieje.

W r. 1888, skutkiem nieszczęśliwego wypadku, wydarty został przedwcześnie nauce Zygmunt Wróblewski, pozostawiając niedokończoną pracę o wodorze, który ze wszystkich gazów okazał się najoporniejszym, najtrudniejszym do skroplenia, tak dalece, że uważano go nieledwie za jakąś substancję ultragazową, co lotności swej wyrzec sobie nie dozwoli. Ale i ten najwytrzymalszy, najknańbniejszy z gazów uległ wreszcie nieispożytej wytrwałości profesora Olszewskiego, a tryumf ten na krótko przedtem zapowiedział inny profesor krakowski, p. Władysław Natanson, gdy, zestawivszy znane własności wodoru z własnościami innych, skraplanych już gazów, na podstawie teorii mechanicznej ciepła obliczył, że temperatura krytyczna wodoru przypadać musi w pobliżu -232° . Bezpośrednie pomiary prof. Olszewskiego, przeprowadzone przy pomocy metod odpowiednio obmyślonych, potwierdziły te

przewidywania, punktem bowiem krytycznym okazała się temperatura -234° . Pod zwykłym ciśnieniem atmosferycznym skroplony wodór wrze w temperaturze -243° ; gdy zaś ciśnienie to ulega zmniejszeniu, temperatura wodoru wrzącego opadać może aż do 252 stopni niżej zera. Skropleniem wodoru długa ta walka nie wyczerpała się wszakże jeszcze, niespodzianie bowiem wystąpił zapasnik nowy, od niego bardziej uparty. Jest to gaz niedawno odkryty na Ziemi, chociaż istnienie jego na Słońcu dawniej już zdradziła analiza spektralna i stąd też dano mu nazwę „helium“. Otrzymaną z Londynu drobną próbkę tego gazu poddał profesor Olszewski znanym nam już torturom, ale dotąd wytrzymał on je dzielnie i skroplić się nie dozwolił. Gdy zaś po oziębieniu go do 215 stopni zimna i silnem uciśnięciu dozwolono mu nagle się rozszerzyć, temperatura jego spadła do 265 niżej zera. Jest to więc najniższa dotąd osiągnięta temperatura, a jeżeli przypomnimy sobie wyżej określony punkt zera bezwzględnego, widzimy, że jest ona o ośm zaledwie stopni od tego kresu wszelkiego ciepła oddalona. O czem więc nikt niedawno marzyć nie mógł, — odsłania się już możliwość dostępu aż do tego punktu krańcowego, który w teorii ciepła ma tak wybitne znaczenie.

Nie potrzebujemy dodawać, że badania te wymagają starannych i ścisłych bardzo pomiarów temperatury, pomimo trudności, jakie się tu następują. Służą do celu tego termometry gazowe, a przede wszystkim termometry napełnione wodorem, gaz ten bowiem najtrudniej się skrapla, a stąd zmiany jego objętości i prężności najwierniej bieg temperatury oddają. Do temperatur najniższych trzeba będzie może zastąpić wodór przez helium, który okazuje się bardziej jeszcze do typu gazu doskonałego zbliżonym. Dobre usługi oddają też termometry elektryczne, polegające na tejże zasadzie, co i pyrometry elektryczne. Winny one być dosyć czułe, by mogły oznaczać temperaturę takiego nawet zjawiska, które przelotną tylko trwa chwilę.

VII.

Skoro tedy najoporniejsze nawet gazy pokonane wreszcie zostały, nasuwało się pytanie, czy zwracany przeciw nim oręż ciężki nie dałby się zastąpić bronią lżejszą, do użytku dogodniejszą, a zadanie to rozwiązał w r. 1896 inżynier monachijski P. G. Linde tak pomyślnie, że jak przed kilkunastu laty kwas węgl-

ny, tak teraz powietrze ciekłe mogło się już wydobyć ze ścian pracowni naukowej i stało się przedmiotem wyrobu fabrycznego. Sposób zastosowany przez Lindęgo polega na prostej a znanej nam już zasadzie, że powietrze przy stłaczaniu rozgrzewa się, ale natomiast oziębia się silnie przy nagłym rozprzestrzenianiu. W aparacie zatem Lindęgo pompa chwytą powietrze i zagęszcza je pod ogromnem ciśnieniem 175 atmosfer, poczem powietrze tak stłoczone i ogrzane przeprowadzone zostaje przez oziębialnik, gdzie przyjmuje temperaturę otaczającej wody zimnej, ale zagęszczenie swe zachowuje, gdy więc stąd przechodzi do rury dalszej, w której się nagle rozprzestrzenia, ulega znacznemu obniżeniu temperatury, a w tym stanie służy do oziębienia znów napływającego powietrza zagęszczonego, które tedy przy następnem swem rozprzestrzenianiu jeszcze się silniej oziębia. Przy dalszem powtarzaniu takiego obiegu kołowego powietrze staje się wciąż zimniejszym, aż wreszcie dosięga temperatury krytycznej — 140° i ulega skropleniu, powstające zaś powietrze ciekłe gromadzi się w odpowiednim zbiorniku. W taki sposób, bez udziału szczególnych środków oziębiających, otrzymywać można powietrze ciekłe w znacznych ilościach, całemi kwartami. W najmniejszych aparatach Lindęgo otrzymywać można w ciągu godziny prawie kilogram powietrza ciekłego, największy zaś, dotąd zbudowany, wydaje 50 kilogramów na godzinę. W naczyniach zwykłych, zapewne, powietrze ciekłe nie dałoby się długo utrzymać, ulatnia się w nich bowiem nader szybko z powodu ciągłego napływu ciepła zewnętrznego. Zaradził jednak temu dobrze Dewar przez wprowadzenie naczyń szklanych o ścianach podwójnych, w których odstęp między ścianami jest jak najdokładniej z powietrza opróżniony; w taki sposób wyłączony jest dostęp ciepła przez przewodnictwo ścian, aby zaś i promieniowanie ciepła usunąć, do odstępu między ścianami wprowadzić można drobną ilość pary rtęciowej, która przy napełnianiu naczynia gazem skroplonym skrapla się w skutek oziębienia i tworzy na ścianach powłokę zwierciadlaną, odrzucającą promienie ciepła. W naczyniu takim litr powietrza ciekłego ulatnia się zupełnie dopiero w ciągu czternastu dni; w technice jednak używają się też naczynia blaszane, pilśnią lub wełną pokryte, objętości 50 litrów, w których na godzinę przechodzi w stan gazu około dwóch litrów powietrza ciekłego. Mamy więc możność nie tylko przechowywania, ale i przewozu cieczy tak osobliwej. Przy przelewaniu powietrza ciekłego do naczynia, na-

stępuje zresztą w pierwszej chwili gwałtowne jego wrzenie, naczynie bowiem, oziębiając się do niskiej temperatury cieczy wprowadzanej, oddaje mu znaczny zasób ciepła, które przytem traci. Ten sam objaw zachodzi przy zanurzaniu jakiegokolwiek ciała w powietrze ciekłe.

Powietrze ciekłe, przez aparat Lindego dostarczane, jest mętne i ma barwę mleczną, co pochodzi od zawartego w niem zakrzepłego kwasu węglanego, daje się jednak łatwo przez filtrowanie oczyścić. Kwas węglany występuje wprawdzie w drobnych tylko ilościach w powietrzu atmosferycznym, ponieważ wszakże łatwiej w stan ciekły przechodzi, zasób jego wzmagą się w powietrzu, tą drogą stopniowo skraplanem. Gdy powietrze ciekłe zwolna się ulatnia, przybiera po pewnym czasie zabarwienie błękitne, przy tem ulatnianiu bowiem uchodzi przeważnie azot, którego punkt wrzenia przypada w temperaturze niższej, ciecz zatem pozostająca zawiera w wyższym stosunku tlen, który w stanie ciekłym barwę błękitną posiada. Zatlony skrawek drzewa, wtedy do naczynia zbliżany, rozpala się żywiej, świadcząc tem, że gaz uchodzący rzeczywiście jest w tlen bogatszy. W ten sposób zatem, przez skraplanie powietrza i następne powolne jego ulatnianie następuje możliwość dogodnego i taniego otrzymywania mieszaniny gazowej, zawierającej około 50 odsetek tlenu, a takie „powietrze lindenowskie“ może zyskać korzystne zastosowanie przy robotach chemicznych. Sądono nawet, że tą drogą, przez taką cząstkową destylację powietrza ciekłego, da się otrzymać tlen zupełnie czysty, okazało się to jednak niemożliwym, E. Erdmann bowiem po mozolnych doświadczeniach przekonał się w 1904 r., że tlen raz azotem zanieczyszczony zbyt uporczywie zatrzymuje drobne jego ilości.

W każdym razie zyskiwanie gazu w tlen obfitującego jest dotąd najważniejszym zastosowaniem praktycznym powietrza ciekłego. Jako środek oziębiający, nie może wytrzymywać współzawodnictwa ze zwykłemi, dotychczasowymi sposobami otrzymywania sztucznego zimna; korzystnie używane być może w tych tylko razach wyjątkowych, gdy idzie o temperatury nader niskie, schodzące niżej -50° . Co w pierwszej chwili prawiono o niesłychanych pożytkach powietrza ciekłego, okazało się w znacznej części przesadą, ale też niewątpliwie okazała się zastosowania nowe, których jeszcze nie przewidujemy.

VIII.

Tak znaczne udoskonalenie techniki otrzymywania temperatur niskich otworzyło nowe zupełnie pole badań, dozwoliło docho-
dzić, jak zachowują się ciała poddane wpływowi zimna, tak dale-
ko przekraczającego zwykłe warunki przyrody ziemskiej, jakim
zmianom ulegają własności ich fizyczne, jak w nich procesy che-
miczne przebiegają. Badaniami temi zajął się najpierw Raul Pic-
t e t, który się z Genewy przeniósł do Berlina i tam pracownię za-
łożył; gdy skraplanie powietrza stało się zadaniem łatwym, poszu-
kiwania te stały się dostępne dla ogółu badaczy.

Alkohol, którego niedawno do stanu stałego doprowadzić
nie umiano, w powietrzu ciekłym krzepnie szybko w twarde, białe
kryształy. Również szybko zamienia się w ciało stałe gaz acetyle-
nowy, który w ostatnich czasach zasłynął, jako materyał oświetla-
jący; gdy acetylen krzepnie w rurze zanurzonej w powietrzu cie-
kłym, można zakrzepły słup jego z rury tej wydobyć i jak świecę
zapalić.

Badaniom w temperaturach najniższych stała pierwotnie na
zawadzie przeszkoda, jakiej nie przewidywano. Okazało się miano-
wicie, że niepodobna wtedy powstrzymać dopływu ciepła z zew-
nątrz; najgrubsze nawet ściany, z nieprzewodników utworzone, do
przestrzeni tak oziębionej doprowadzają ciepło, jak metale w tem-
peraturach zwykłych, ale trudność tę pokonały naczynia Dewa-
ra, a zachowanie się ciał w pobliżu bezwzględного zera tempera-
tury łatwo teraz badać można. Już przy 200 stopniach niżej zera
zachodzą objawy, świadczące o zaniku wszelkiej energii, wszel-
kiego ruchu; materya zamiera zwolna, działalność jej ginie, ustają
objawy chemiczne. Substancye, które w warunkach zwykłych
gwałtownie się między sobą łączą, tracą tę dążność w nadmiernem
zimnie i spoczywają obok siebie bezwładne. Wiadomo, jak chciwie
wiąże się kwas siarczany z sodą gryzącą; gdy go wszakże zmiesz-
ano z sodą w temperaturze -125° , obie te substancye pozostały
względem siebie zupełnie obojętne; iskra elektryczna nie zdołała
ich do wzajemnego połączenia znaglić. Sód nawet metaliczny,
który w warunkach zwykłych rozkłada wodę, pozostaje obojęt-
nym zupełnie wobec kwasu siarczanego w temperaturze niższej od
 -85° . Kwas solny w powietrzu ciekłym krzepnie w masę do lodu
podobną, a na bryle takiej potas bezwładnie się utrzymuje; dopie-

ro, gdy po wydobyciu z zimnej cieczy kwas solny zwolna się ogrzewa, następuje wybuch nagły z wywiązaniem się ognia.

Poskramiającemu wpływowi zimna nie oparł się fluor, który przecież słynie z potęgi swego powinowactwa chemicznego i tak silnie napastuje wszystkie prawie ciała, że nie mógł być ze związków swych wydzielony; w 1886 r. dopiero powiodło się otrzymać go w naczyniu platynowo-irydowem, skroplić natomiast dał się w naczyniu szklanem; punkt jego wrzenia bowiem przypada w temperaturze -187° , a w oziębieniu tak znacznem już szkła bynajmniej nie nagryza.

Nie zadawalając się poddaniem wpływowi zimna ciał martwych, rozszerzył Pictet zakres swych poszukiwań i do istot żyjących. W tym celu umieszczał zwierzęta badane w „studni oziębionej“, chroniąc je od bezpośredniego zetknięcia się z zimnemi ścianami. Dotknięcie ściany takiej sprowadza bolesne bardzo „oparzenie zimnem“; kropla powietrza skroplonego, gdy na ciało pada, sprowadza rany bardzo złośliwe, trudno dające się zagoić. Tkanki przemarzłe tracą władzę odradzania się, jakby z części nadmiernie oziębianych życie zupełnie się usuwało.

Nie będziemy wszakże dalej zatrzymywali uwagi czytelnika opisem badań, rozpoczętych ledwie. Pojmujemy łatwo, jaką doniosłość mieć mogą dla dalszego rozwoju wiedzy przyrodniczej. Na obrazie Matejki, sławny alchemik, Sędziwój, bryłę złota z ognia wydobywa. Obraz ten symbolizować może w ogólności przymierze chemika z ogniem, ogień bowiem był zawsze pomocnikiem jego, gdy starał się ciała przeobrażać, rozkładać, łączyć. Podsycał żar ognia, by jak najwyższą osiągnąć temperaturę. Teraz dopiero od strony wręcz przeciwnej, w dziedzinie temperatur najniższych, otwarły się dlań widoki nowe, które mu nowe zjawiska, nowe prawdy odsłaniają.

IX.

OKRES LODOWY W DZIEJACH ZIEMI.

I.

Od chwili obecnej odwrócić pragnę uwagę czytelnika do ubiegłej epoki dziejów Ziemi, do czasów dawnych.

Do bardzo dawnych czasów, zapewne, jeżeli sięgamy do nich wzrokiem krótkowidza, kresami historii rodu ludzkiego ograniczonym, ale do czasów świeżych zupełnie, gdy przykładamy do nich skalę rozległą, obejmującą cały obszar istnienia planety naszej, okres bowiem lodowy stanowi ustęp nowożytnych już, najnowszych jej dziejów. Jak historyk bieg dziejów powszechnych rodu ludzkiego ujął w trzy wielkie działy, charakterem ogólnym między sobą wyodrębnione, tak też geolog, rozpatrując pokłady, tworzące skorupę ziemską, a zwłaszcza zestawiając zawarte w nich skamieniałości, szczątki roślin i zwierząt, niegdyś na Ziemi istniejących, wyróżnił trzy kategorie, trzy grupy warstw skalnych: gromadę pierwotną, wtórną i trzeciorzędową, odpowiadające tyluż wielkim okresom w rozwoju skorupy ziemskiej, jej starożytności, jej średniowieczu i jej czasom nowożytnym. Z biegiem czasów przeinaczało się oblicze Ziemi; susza i woda zmieniały wielokrotnie swe położenie; w miejsce gór startych i splukanych powstawały w innych miejscach nowe wyniosłości; świat roślinny i zwierzęcy rozwijał się stopniowo i przybierał formy, coraz bardziej do dzisiejszych zbliżone. W trzeciorzędowym wreszcie okresie rozwoju Ziemi powierzchnia jej zyskuje zwolna charakter swój obecny, w rozkładzie mórz i lądów odnajdujemy zarysy terazniejsze, pasma górskie wzbijają się w kierunkach, które dotąd zachowały; dawne paprocie i widłaki olbrzymie ustępują miejsca palmom i drzewom liściastym, giną doszczętnie olbrzymie jaszczury, któ-

rych szczątki dały źródło baśniom o smokach dziwacznych, przodnictwo stanowczo do zwierząt ssących przechodzi.

Co się na powierzchni Ziemi po okresie trzeciorzędowym utworzyło, warstwy, które później przybyły, wszelkie zmiany dalsze, wszystko to należy do najnowszych już dziejów Ziemi, składa się na bieżący okres czwartorzędowy. Ostatni ten i najświeższy szereg ogniw geologicznych obejmujemy mianem napływów lub utworów dyluwialnych, zatem potopowych; w nazwie tej dostrzegamy zabytek czasów, gdy wierzchnie pokłady skorupy ziemskiej, rodzajne warstwy gruntu, uważano za wytwór wielkiego potopu biblijnego, a znajduwane w ziemi szczątki skamieniałe zwierząt za dowód tak powszechnego zalewu poczytywano. Od tych napływów odróżniają się zresztą jeszcze napływy nowsze, dopływy, utwory aluwialne, a świeża ta doba geologiczna schodzi się już z biegiem właściwej historii rodu ludzkiego, na źródłach piśmiennych opartej. Podział ten wszakże nie ma tu już dla nas znaczenia, okres bowiem lodowy w dziejach Ziemi przypada na sam początek epoki napływów dawnych, znamionuje przejście od czasów trzeciorzędowych do okresu czwartorzędowego.

Że w przeszłości Ziemi istniała epoka tak powszechnego zlodowacenia, jest to rzecz znana w ogólności; nie tak dobrze jednak wiadomo, jaką drogą zdobyć zdołano świadomość tego objawu osobliwego czasów minionych i jak starano go się wyjaśnić. Nie będzie może zbyt cenną rzecz tę bliżej rozpatrzyć, tem bardziej, że w ostatnich latach wynurzyły się niektóre nowe poglądy i nowe badania przybyły.

II.

Mówimy o okresie lodowym; jaśniejsza zapewne byłaby nazwa okresu lodnikowego, zlodowacenie bowiem ówczesne Ziemi polegało na nadmiernem rozprzestrzenieniu lodników.

Gleczery nazwano po polsku lodnikami lub lodowcami; ponieważ wszakże dwa wyrazy na oznaczenie jednej i tej samej rzeczy są zbyt cennym a często kłopotliwym bogactwem języka, iść możemy za radą tych, którzy dla gleczerów zachowują jedynie nazwę lodników, a przez lodowce rozumieją góry lodowe, unoszące się na morzach biegunowych. W nazwie lodników wybitniej może wyraża się odrębność od lodu zwykłego.

Różnica lodników od zwykłego lodu zimowego zależy od

rozmaitego ich pochodzenia. Łód rzek naszych i jezior powstaje przez bezpośrednie zakrzepnięcie wody, gdy lodnik jest następstwem powolnego przeobrażenia śniegu. Lodniki zatem rodzić się mogą w dziedzinach wiecznego śniegu, w obszarach, przypadających powyżej granicy śnieżnej.

Te pola śnieżne, opierające się palącym promieniom słonecznym wśród skwarne go lata, w najgorętszych nawet okolicach Ziemi, wydawały się tak zagadkowe, że potrzeba było dla nich aż żar słoneczny przytłumić i w XVIII jeszcze wieku wyobrażano sobie, że promienie słoneczne, zimne same przez się, wzniecają ciepło dopiero w zetknięciu z powierzchnią Ziemi. Dziś zagadkę wiecznego śniegu prościej tłómaczymy. Ochronę daje mu własna jego barwa biała, która się pochłanianiu promieni słonecznych opiera. Na powierzchni Ziemi śniegi topnieją, skoro otacza je powietrze, rozgrzane przez zetknięcie z ogrzewającą się zwolna na wiosnę powierzchnią Ziemi; w górze wszakże powietrze wciąż chłodne pozostaje, przezroczyste bowiem dla promieni słonecznych nie zatrzymuje się zgłę, przedzieraniu się ich tamy nie stawia.

Gdy odkrycia geograficzne rozprzestrzeniły znajomość dalszych części świata, poznano, że granica śnieżna wznosi się coraz wyżej w miarę, jak zbliżamy się do okolic równikowych, a P i o t r B o u g u e r podczas słynnej podróży peruwiańskiej, którą wraz z towarzyszami z Akademii nauk w Paryżu przedsięwziął w r. 1735 dla zmierzenia stopnia południka tuż przy równiku, sądził, że granicę tę wykrył w wysokości, gdzie średnia temperatura roczna nie wznosi się ponad zero. Prostemu jednak twierdzeniu temu zaprzeczył S a u s s u r e, pierwszy badacz alpejski, gdy dostrzegł, że wpływ doniosły wywierają tu i różne inne okoliczności, jak natura gruntu, kierunki wiatrów panujących, rozkład ciepła. Rozmaitość tych przyczyn rozpoznał lepiej A l e k s a n d e r H u m b o l d t w krajach zwrotnikowych Ameryki Południowej, ale teraz dopiero, gdy pomiary dokładne sięgnęły i do gór dalekich, wiemy, jak znaczne różnice w położeniu linii śnieżnej zachodzić mogą pod jednaką szerokością geograficzną, w miejscach nawet niezbyt między sobą oddalonych. Gdy w Norwegii zachodniej granica śnieżna obniża się do wysokości tylko 1360 metrów nad poziomem morza, wzbija się pod tą samą szerokością w Syberyi aż do 3230 metrów.

Gromadzenie się tedy śniegów wiekuistych nie wymaga bynajmniej zbyt wysokich stopni zimna, niezbędnym natomiast ich warunkiem są obfite opady atmosferyczne, które z kolei zależą od

ilości pary wodnej w powietrzu i od rozpraszających je wiatrów. Na południowych stokach Himalajów, pomimo cieplejszego ich położenia, granica śnieżna przypada o 800 metrów niżej, aniżeli na chłodniejszej, północnej ich stronie, gdyż prądy powietrzne znoszą im sownie z zatoki Bengalskiej parę wodną, która się u gór tych w opad śnieżny zagęszcza. Wysokość zatem, gdzie w danej okolicy panuje średnia temperatura roczna 0° , nie oznacza bynajmniej granicy śnieżnej; w strefach równikowych, posiadających opady nader obfite, dolna granica śniegu wiecznego schodzi aż do izotermy $1,5^{\circ}$, w Alpach natomiast, gdzie chłodniejsze wody okoliczne nie zasilają powietrza tak wielką ilością pary, śniegi stateczne utrzymują się dopiero powyżej linii, która obejmuje średnią temperaturę roczną -4° C.

Utrzymywaniu wielkich zbiorowisk śniegu sprzyja także i sama budowa gór, gdy przedstawiają im dogodne schroniska w postaci zagłębień, kotlin nieckowatych. Temu zapewne przypisać należy, że lodników nie znajdujemy w Tatrach, posiadających turnie prostopadłe i trzon, licznymi przecięty szczytami, z których wiatry bez przeszkody zdmuchują zebrany śnieg i porywają go wysoko w górę, zasypując nim potem wąwozy i doliny. W licznych jednak pasmach górskich rozpościerają się lodniki, w mniejszym lub większym rozprzestrzenieniu, a typową ich zwłaszcza dziedziną są Alpy, w Szwajcaryi szczególnie. Lodniki alpejskie i stąd jeszcze zyskały ważne znaczenie, że dokoła nich rozsiadł się naród, który umiłowanie ziemi ojczystej nie tylko okazał w obronie jego niepodległości przeciw potężnym najeźdźcom, ale ujawnił ją także w gorliwej pieczołowitości około poznania i zbadania przyrody swego kraju. Szwajcarom też głównie znajomość lodników zawdzięczamy.

Lodniki, jak już powiedzieliśmy, powstają z przeobrażenia śniegu. Śnieg, padający na górach w znacznej wysokości, jest suchy, sypki i proszkowaty, jaki u nas następuje się tylko podczas bardzo mroźnych dni zimowych. Śnieżny pył taki, wzajem stłoczony, tając i marznąc kolejno, przechodzi w masę grudkowatą, złożoną z ziarn słabo spojonych, tak już różną od zwykłych płatków śnieżnych, że w Alpach niemieckich zyskała osobną nazwę firnu. Przy takiej zmianie stopniowej zachodzi też znaczne zagęszczenie, gdy bowiem, jak się o tem przekonał Richthofen, jeden metr sześcienny płatków śnieżnych waży tylko 85 kilogramów, takąż sama objętość śniegu grudkowego ma już ciężar 500—600

kilogramów. Im starszym śnieg się staje, tem bardziej wzmaga się jego gęstość, ziarna spajają się ściślej; zaokrąglone z początku ziarna przybierają postać wielościenną, a wreszcie powstaje lód zbity, którego metr sześcienny waży 900—1000 kilogramów, dorównywa zatem ciężarowi wody, chociaż zawiera jeszcze obficie pęcherzyki powietrzne, a stąd wydaje się białym. Jest to już lód lodnikowy, który wszakże z czasem, coraz bardziej przez osiadające na nim warstwy przytłaczany, okazuje oznaki coraz większej zbitości, staje się błękitnym, prawie przezroczystym, na pozór jednorodnym zupełnie, chociaż i nadal zachowuje pierwotną swą budowę ziarnistą, która występuje wyraźnie, gdy lód zostaje zabarwiony niebieskimi lub fioletowymi roztworami anilinowemi.

Gdy zbiorowisko śniegu, z którego się lodnik rodzi, mieści się w ochronnej kotlinie zagłębionej, powstaje lodnik właściwy, czyli lodnik rzędu pierwszego, który rozpościera się ku dołowi w dolinach, przystosowując się do nich postacią swą i wymiarami; w braku zagłębień takich płyty lodowe rozkładają się na płaskich choćby spadzistych stokach gór, tworząc lodniki rzędu drugiego, które wszakże nie schodzą daleko i kończą się najczęściej już w niewielkiem oddaleniu, poniżej granicy śnieżnej.

Zachowując byt trwałe, lodniki przedstawiają się jako część składowa skorupy ziemskiej, tworzą skałę odrębną, a podobieństwo do istotnej formacji geologicznej utrzymuje jej uwarstwowanie, spowodowane kolejnym spadkiem śniegu w różnych czasach. Warstwy coroczne wyróżniają się postępującą wciąż zbitością lodu, a rozgraniczenie ich wybitniej jeszcze wskazują osiadające w ciągu lata na powierzchni śniegu powłoki mułu i piasku. W wyższych obszarach alpejskich usypuje się przecięciowo w ciągu roku pokład śniegu na jakie pięć metrów wysoki, a chociaż następnie ulega stłoczeniu do grubości kilku cali zaledwie, to jednak góry musiały od tego przybytku lodowego wciąż narastać, gdyby nadmiar śniegu nie doznawał zarazem ubytku przez ciągłe stapanie i odpływ pochodzącej stąd wody, na takie zaś częściowe tajanie lodnika różne wpływają przyczyny. Na powierzchni topi się od napływającego z dolin powietrza cieplejszego, do czego przyczynia się też skraplanie zawartej w niem pary wodnej, przyczem oswobadza się utajone jej ciepło; działają dalej i deszcze cieplejsze, które przedzierają się do wnętrza lodników, dokąd zresztą w pewnej mierze przenikają i promienie słoneczne. Część pewna lodu, przez powolne ulatnianie na powierzchni, przechodzi bezpo-

średnio w parę, gdy znów na dnie swoim nadtapia się lodnik przez zetknięcie ze skalistym podłożem, dokąd ciepło napływa przez przewodnictwo od dolin rozgrzanych. W coraz niższych częściach lodnika topienie dokonywa się coraz energiczniej, a naj-silniej zachodzi na dolnym jego krańcu. Zależnie od okoliczności, różne lodniki ponoszą przez topienie ubytek rozmaity; niektóre lodniki alpejskie tracą na dolnym końcu 6 do 8 metrów rocznie.

Lodnik każdy wciąż się zasila świeżym przybytkiem śniegu i wciąż ponosi ubytek przez nadtapianie. Gdyby oba te działania zostawały w równowadze, lodnik zachowywałby objętość stałą. Tak wszakże rzadko się dzieje; najczęściej lodnik w ciągu pewnego czasu narasta, potem znowu zanika, posuwa się i cofa naprzemian, a to zależnie od panujących w pewnym okresie stosunków meteorologicznych, od temperatury i obfitości opadów.

Straty, jakie lodnik na dolnym swym krańcu ponosi, wynagradzają części, wciąż z góry się nasuwające, cały bowiem w bezustannym utrzymuje się ruchu. Górale i wędrowcy alpejscy wiedzieli o tem oddawna, przedmioty bowiem, wysoko w górze na lodniku pozostawione, znajdowali następnie w dolinach, jakby prądem rzeki zniesione. Zestawienie to ruchu lodników po zboczach górskich z biegiem wody rzecznej nie jest bynajmniej pozorne, podobieństwo sięga aż do szczegółów najdrobniejszych. Jak rzeka, zapełnia lodnik łożysko swe dokładnie; rozszerza się, gdy ściany doliny rozsuwają się między sobą; zwęża się w ciasnych wąwozach, dno swe kształtuje zupełnie według formy podłoża, a nawet, tak samo, jak rzeka, sunie prędzej na powierzchni, aniżeli na dnie, prędzej w pośrodku, aniżeli po brzegach. Kamyki na powierzchni w prostej linii poprzecznie ułożone, w miarę jak niżej schodzą, układają się w linię krzywą, wypukłością ku dołowi zwróconą.

Lodniki zatem, są to istne prądy lodowe i ulegają tymże samym prawom, według których płyną prądy rzeczne, szybkością tylko niesłychanie im ustępują. Przy pomocy drobiazgowych przyrządów mierniczych śledzono starannie przesuwanie się sygnałów, osadzonych w lodnikach w różnej ich wysokości, a drogą tą poznano, że szybkość lodników, na ich powierzchni i w linii środkowej, wynosi na dobę od 2 do 125 centymetrów, niektóre tylko lodniki grenlandzkie posuwają się znacznie prędzej, o kilka lub kilkanaście metrów w ciągu doby. Przecięciowo zatem szybkość środkowej linii lodników, przynajmniej w Alpach i w Norwegii, gdzie pomiary te prowadzono, wynosi 40 do 100 metrów

rocznie, co mniej więcej odpowiada szybkości, z jaką posuwa się koniec małej wskazówki zegarka; bystre rzeki toczą swe wody sto tysięcy razy prędzej.

III.

Ruch ten lodników jest to ich osobliwość, najbardziej zdumiewająca, narzuca bowiem istną zagadkę, w jaki sposób ciała stałe płynie jak woda, a przynajmniej jak smoła, lub inne ciała półpłynne. Gdy zaczęto się nad tem zastanawiać, chciano posuwanie się gleczerów wyjaśnić znaną własnością wody, że powiększa swą objętość, gdy w lód krzepnie; rozpościeranie się zatem lodnika miało być następstwem rozszerzania się wody, marznącej w jego szczelinach. Teorya ta wszakże jest błędną już z tego względu, że ruch lodnika wzrasta z temperaturą, jest żywszy w lecie i za dnia, aniżeli w zimie i w nocy, najsłabszy zatem w porach, które zamrażaniu wody najsilniej sprzyjają. Obecnie, gdy własności lodu lepiej poznano, ruch lodników przypisuje się pewnej, właściwej mu plastyczności, doświadczenia bowiem wykazały, że pod znacznym naciskiem lód wydłuża się i zgina; w lodnikach ciśnienie to sprowadza własny ich ciężar, pod działaniem zatem siły ciężkości przesuwa się po słabo nawet pochyłonych stokach. Zapewne, plastyczność lodu przypada mu w słabej tylko mierze, ale zrywanie jego ciągłości przy przesuwaniu powstrzymuje inna jego własność, regelacya, czyli przymarzanie, wskutek niej bowiem rozluźnione i rozkruszone cząstki tak szybko i ściśle się ze sobą spajają, że lód utłaczać możemy w formach i nadawać mu postać dowolną; dokonywa się zaś to najłatwiej w temperaturze, blizkiej punktu topliwości, jaka właśnie w lodnikach zwykle panuje, pękane zatem jego części, skoro przy zsuwaniu ze sobą się stykają, szybko znowu w jednolitą łączą się całość.

Ruch zresztą lodników, jest to objaw zawily, składają się nań i inne jeszcze względy. Ponieważ lód przy topieniu objętość swą zmniejsza, idzie za tem bezpośrednio, że pod obciążeniem topi się łatwiej; w głębszych zatem warstwach, gdzie lodnik doznaje ogromnego ciśnienia, ulega częściowemu stapianiu już w temperaturze od zera niższej, woda stąd pochodząca zostaje wyciśnięta, tworzy się zatem obszar pusty, dokąd zsuwać się mogą wyżej położone części lodnika. Z kolei woda usunięta ruguje z lodnika obficie w nim rozrzucone pęcherze powietrza, sama zajmuje ich

miejsce, a przechodząc pod mniejsze ciśnienia w warstwach wyższych, znowu krzepnie i w lód się zamienia, posiada bowiem temperaturę od zera niższą.

Chociaż w ten sposób potrafimy zdać sobie sprawę z przyczyn, utrzymujących ruch lodników, akta w tej kwestyi bynajmniej nie są zamknięte; owa zwłaszcza plastyczność lodu jest przedmiotem nieukończonych jeszcze dochodzeń. Eksperymentatorowie dawniejsi prowadzili swe doświadczenia po większej części przez zginanie prętów lodowych, w tym zaś razie objawy są zbyt zawile, by wpływ ciśnień na wydłużanie lodu dokładnie dał się ująć. Po raz pierwszy dopiero poddał lód wyciąganiu przez obciążanie turysta angielski Main w r. 1887 w szwajcarskiej wiosce St. Moritz, następnej zaś zimy rozpoczętą przez niego pracę podjęli dwaj inni anglicy, Mc Connel i Kidd, a rozpatrując lód rozmaitego pochodzenia, wykryli, że różne pręty lodowe nie zachowują się jednakowo; lód jednorodny, w całej swej masie jednolity, okazał się sztywnym zupełnie, lód natomiast różnorodny, złożony z ziarn, czyli oddzielnych brył krystalicznych, wydłuża się pod obciążeniem, jest zatem plastyczny. Według tego przyjęcia należało, że kryształy lodowe są same przez się sztywne, a pozorna plastyczność lodu zależy tylko od przesuwania się oddzielnych kryształów. Późniejsze jednak doświadczenia Mc Connela i Miggego, w r. 1890—1895, przekonały, że i same kryształy lodowe nie są zupełnie sztywne, dają się bowiem wyginać, ale w tym tylko razie, gdy obciążenie działa w kierunku głównej osi kryształu; lód pozostaje przytem przejrzystym i zachowuje zgięcie swe trwałe, ale może być wyprostowany, gdy obciążenie działa nań w kierunku przeciwnym. Co się zaś tyczy pojedynczego kryształu, daje się też odnieść do zbiorowiska ziarn krystalicznych, gdy osi ich w jednym kierunku przypadają, wtedy bowiem zrastają się w jedno większe ziarno jednolite. W lodnikach, zwłaszcza w wierzchnich ich częściach, ziarna lodowe zwracają swe osi krystaliczne bezładnie w różne strony, zwolna jednak pod ciśnieniem w lodniku panującym skręcają się tak, że główne ich osi krystaliczne układają się w kierunku tego ciśnienia, co rzeczywiście potwierdziły dawniejsze już spostrzeżenia, w takim zaś razie łatwo zrastać się mogą w wielkie ziarna jednolite, w których plastyczność ujawnia się, jak w przytoczonym doświadczeniu. W takim zaś razie i ściany kryształów zajmują położenia równoległe do powierzchni, do których lód jest naciskany, a oddzielne warstwy lod

nikowe przesuwają się jedno po drugich, ześlizgując się i nie tracąc swej łączności, jakby się to działo ze stosem kartek papieru, spojonych klejem niewysychającym.

Doświadczenia te i poglądy, jak widzimy, wybiegają już daleko poza właściwą kwestyę ruchu lodników i usprawiedliwiają nadzieję, przez Helmholtza niegdyś wyrażoną, że lód, posiadający znaną i do obserwacji łatwo dostępną budowę, dostarczyć może wskazówek do rozpoznania wielu trudnych zagadnień, dotyczących się własności materii. Jak znaczny wszakże udział w ruchu gleczerów na karb plastyczności lodu przypada, tego dziś jeszcze stanowczo powiedzieć nie można, a Eryk Drygalski, który podczas swej podróży do Grenlandyi 1891—1893 r. dobrze poznał lodniki tameczne, sądzi nawet, że wszelkie ich ruchy pochodzą wyłącznie od ciągłej zmiany stanu skupienia lodu, zatem od jego topienia się pod ciśnieniem i od przymarzania następnego. Może zresztą do rozjaśnienia istniejących dotąd wątpliwości przyczynią się podjęte w tym celu przez stowarzyszenia alpejskie wiercenia lodników tyrolskich.

W każdym razie plastyczność ta, czy ciągliwość lodu, nie jest dość znaczna, by opierać się mogła nagłym wstrząśnieniom, na jakie lodnik jest narażony, lub zbyt pośpiesznym jego ruchom, skąd powstają szczeliny poprzeczne lub podłużne, których w żadnym nie brak lodniku. Szczeliny poprzeczne tworzą się zwłaszcza, gdy lodnik zsuwa się po tarasowatym zagięciu podłoża; gdy spadek bardzo jest stromy, potok lodowy ulega zupełnemu skruszeniu i bryły lodowe opadają istną kaskadą. Po brzegach rozwijają się szczeliny w następstwie niejednakiej szybkości różnych części lodnika, ponieważ pas środkowy posuwa się prędzej, aniżeli oba brzegi, następują przerwy, rozszerzające się ku brzegom i przebiegające ukośnie. Każda taka szczelina brzeżna obraca się wraz z posuwaniem lodnika i wreszcie zamyka się znowu zwolna. Szczeliny podłużne otwierają się, gdy lodnik z ciasnego wąwozu przedostaje się do doliny rozszerzonej, gdzie bardziej rozpościerać się musi, ale rozdziera się także nieraz, gdy przeciska się przez zwężenia, wzbudzone bowiem stąd nadmierne ciśnienie wytłacza w górę jego części.

Przez szczeliny te spływa woda, z nadtapiania lodu pochodząca, która wszakże żłobi też własne swoje koryta na powierzchni, a często też strumień taki toruje sobie drogę w głąb lodnika i ruchem wirowym otwiera sobie szyb pionowy, zwany w Alpach

młynem lodnikowym; takie otwory pionowe schodzą niekiedy bardzo głęboko i wijąc się niżej w postać rury skręconej, docierają aż do podłoża, po którym woda dalej spływa, wydostając się wreszcie na dolnym końcu lodnika przez otwór rozszerzony, czyli przez „wrota lodnikowe“. Wyrwający się strumień unosi wodę mętną, obficie obładowaną zawieszonymi w niej drobnymi okruchami skalnymi, a białawą barwę zachowują i jeziora, wodą lodników zasilane. Gdzie się ten mętny strumień z uwięzi lodowej oswobadza, jest to już dolny kraniec lodnika, który przypada w różnej wysokości, tam mianowicie, gdzie utrata, jaką lodnik przez topienie ponosi, równoważy się z przybytkiem śniegu w górnej strefie, skąd bierze początek. Zależy to, oczywiście, od położenia geograficznego; w Ameryce Środkowej urywają się lodniki już w wysokości 4000 lub 5000 metrów, w okolicach biegunowych schodzą aż do poziomu morza.

IV.

Dotąd przedstawiał się nam gleczer jako bierny utwór przyrody, prawom jej ogólnym podległy; należy nam poznać go w czynnej jego roli, przyjrzeć się jego robocie geologicznej, która, wspólnie z innymi czynnikami, przyczynia się do powolnego przeobrażania oblicza Ziemi.

Przedewszystkiem więc następcza się nam jego praca przewozowa: jest on środkiem transportu geologicznego; sprowadzając z gór nadmiar śniegu w doliny, przenosi lodnik zarazem gromadzące się na nim nieustannie odłamy i okruchy skalne, wytwory ciągłej zagłady gór, nieustannej ich walki z niezmordowanymi napastnikami. Wznosząc wysoko dumne swe szczyty, są góry bez obrony wystawione na ciągłe ataki atmosfery, na chwiejność temperatury, na mrozy i upały, na deszcze i suszę, na działania chemiczne jej gazów, a pod naporem wszystkich tych wpływów kruszą się i rozpadają na swej powierzchni, ulegają wietrzeniu, odrywają się od nich wielkie głazy i kamyki drobne, a wszystkie te szczątki skalne spadają na lodniki i staczają się wraz z nimi z wolna ku dołowi, tworząc po obu ich bokach długie pasmo rumowisk, moreny boczne, dla których nazwę polską zwałów bocznych obmyślono. Pomiędzy obu temi pasmami pozostaje swobodna i niezasypana część środkowa lodnika, gdy wszakże jest wązka, cała jego powierzchnia pokryta jest gruzem.

Jeżeli dwa lodniki zbiegają się we wspólny prąd lodowy, schodzące się dwie ich moreny boczne tworzą morenę środkową, która na dłuższej jeszcze drodze zaznacza granicę obu dopływów prądu głównego. Gleczerzy złożone posiadają często kilka równoległe przebiegających moren, a z ich połączenia wytwarzają się niekiedy potężne zwały rumowisk, w kierunku podłużnym przebiegające. Drobne ciała barw ciemnych, jak piasek, kamyki, liście, rozgrzewają się szybko pod działaniem promieni słonecznych i przyspieszają topienie pokrytego niemi lodu; głązy jednak większe i grube warstwy gruzu, chociaż same rozgrzewają się na swej powierzchni, nie przeprowadzają wszakże szybko ciepła aż do pokładu lodowego, okrywają go przeto jakby osłoną i topienie jego opóźniają; gdy więc morena środkowa znaczny osiąga rozwój, zakryty nią pas lodnika sięga znacznie wyżej, aniżeli oba boki, wznosząc się ponad niemi na kilkanaście niekiedy metrów.

Stąd też wyrastają często na lodnikach utwory osobliwe, zwane stołami lodnikowemi, złożone z olbrzymiej płyty kamiennej, wspartej na wysokim trzonie lodowym, który pod jej osłoną uchronił się od stopienia, gdy lód okolny z wolna stajał. Trzon ten lodowy niknie wszakże stopniowo, szybciej po stronie słonecznej, aniżeli po stronie od Słońca odwróconej, płyta zatem pochyła się i wreszcie spada, by następnie znów na nowym trzonie wzbijać się w górę.

Zasób rumowisk, w morenach nagromadzony, wzmaga się na całej drodze lodnika i wraz z nim zbiega ku dołowi, a gdzie lodnik kres swój znajduje, składa tam wszystek swój transport, który tu pozostaje, jako morena krańcowa, czyli czołowa, w wał łukowaty zwykle usypana. Często wszakże przerywa ją strumień, z lodnika spływający, skąd po obu stronach roztaczają się pola, zasłane gruzem, który się miesza z piaskiem i mułem, ze strumienia lodnikowego opadającym.

Nietylko wszakże na powierzchni lodników utrzymują się zwały rumowisk, znaczna ich część przedostaje się przez szczeliny aż na podłoże skalne, gdzie napotyka okruchy skał, które już poprzednio na spodzie leżały, i wraz z niemi tworzy morenę podstawową, czyli zwał denny. Morena ta, zawarta między dnem lodnika a jego podłożem skalnem, składa się z cienkiej warstwy mokrego mułu i piasku, w którą wtłoczone są niezliczone kamyki, stoczone i porysowane. Rysami temi na kamykach ukazuje się nam lodnik w nowym swym charakterze pracownika geologicznego;

nie jest już tylko woźnicą, który ma sprawę transportu załatwiać, ale staje się i szlifierzem zarazem.

Ukazuje się to wyraźnie po usunięciu warstwy mułu; podłoże skaliste występuje wtedy wygładzone, wypolerowane, pokryte kresami prostolinijnemi, jakby je dłuto wryło. Lód sam bezpośrednio, ugniatając się wedle formy podłoża i zeslizgując się po niem, skały nie ściera i nie wygładza, ale działa jak szlifierz, który do polerowania kamieni i metali posługuje się proszkiem szlifierskim. Tym materiałem szlifierskim jest tu pokład żwiru i mułu, który lodnik, jak ręka szlifierza, do skały naciska i po niej przesuwają. Stąd wyrzynają się na skale rysy w kierunku ruchu lodnika, ponieważ wszakże lodnik w swej drodze ulega też i pewnym odchyleniom bocznym, rysy te krzyżują się i przecinają pod różnymi kątami. Toż samo wszakże dzieje się pomiędzy lodnikiem a bocznymi ścianami doliny, tam bowiem również dostaje się gruz skalny, a pod naciskiem prasy, nieustannie działającej, ulega zmiążdżeniu; ziarna, silniej się opierające, zaokrąglają się jak żwir rzeczny, ale przytem również pokrywają się krzyżującymi się rysami.

Całe to wreszcie zbiorowisko kamyków stoczonych, żwiru, piasku i mułu, schodzi ku dolnemu krańcowi lodnika i tam się łączy z jego moreną czołową; gdyby więc lodnik statecznie urywał się w jednym miejscu, gromadziłby się tu coraz wyższy wał rumowisk. Wiemy już jednak, że różne lata i różne okresy niejednako-wo rozwojowi lodników sprzyjają; kraniec lodnika posuwa się i cofa, a wraz z tem i krańcowa jego morena rozmaite koleje przechodzi. Gdy lodnik obniża się bardziej, spycha swą morenę krańcowa, pokrywa ją i dalej rozpościera. Skrajna granica moreny zaznacza kres najdalszy, do którego kiedykolwiek gleczer się posunął. Gdy lodnik się cofa, obnaża swej pracy wyniki; morena denna występuje ze wszystkimi swemi cechami, podłoże skalne ukazuje się wygładzone i ukształtowane w charakterystyczne garby zaokrąglone, a wśród rozdrobnionego mułu lodnikowego rozrzucone są głazy różnej wielkości, tworząc zbiorowisko odłamków wszystkich tych skał, między którymi lodnik drogę swą toczył; często kamienie te przeniesione są daleko od miejsca swego pochodzenia, i mają wtedy nazwę głazów narzutowych.

W łożyskach dawnych lodników napotykają się też często głębokie wydrążenia kuliste, wyłobione niewątpliwie działaniem potoków i strumieni lodnikowych. Gdy woda ruchem wirowym we wspomnianych wyżej młynach lodnikowych schodzi w głąb

lodnika i do podłoża jego dociera, wprawia też w obrót pochwycone kamienie i przy ich pomocy wierci dalej otwór w skale, którego ściana wygładza się również dokładnie, jak i powierzchnia samych głazów toczonych; wyźłobienia takie, czyli „kotły obrzymów“, mają niekiedy znaczne wymiary, a w nazwie ich wybija się może pozostałość dawnych wierzeń ludowych. W r. 1872 odkryto podobne zagłębienia w Lucernie, od wieków zasypane rumowiskami moren i późniejszymi warstwami gruntu rodzajnego; odkopano i oczyszczono starannie te zabytki wieków, dawno ubiegłych, a geolog szwajcarski, Heim, dodał tam urządzenia sztuczne, odtwarzające wiernie pełną działalność lodników. Największy z tych kotłów w „ogrodzie lodnikowym“ Lucerny, który dobrze jest znany licznym podróżnikom po Szwajcaryi, ma głębokości $9\frac{1}{2}$ metra przy średnicy 8 metrów; jest to w ogólności największe wśród znanych tego rodzaju zagłębień.

Ścierając proch przy wygładzaniu skał, lub ścinając ostre krawędzie kamyków toczonych, wywierają także lodniki pewną działalność erozyjną. Zapewne, gdy drobną ilość usuwanego przytem materiału zestawimy z potęgą erozyjną wód bieżących, które utorowały sobie drogę przez skały najtwardsze, rezultat ilościowy tej roboty lodników wydaje się nikłym zupełnie; przeczy jednak temu obfitość mułu i drobnego piasku, unoszonego przez strumienie lodnikowe i składanego w morenach krańcowych; jeżeli zaś lodniki dzisiejsze są to tylko karły w porównaniu z lodnikami epok ubiegłych, to i robota erozyjna tych lodników dawnych musiała być w odpowiednim stosunku rozleglejsza.

Rezultatem tej działalności jest może obfitość jezior, jaką znajdujemy w wielu obszarach, gdzie niegdyś lodniki były bardzo rozprzestrzenione, jak w Alpach południowych, w Bawaryi, Skandynawii, lub na pomorzu Bałtyckiem. Jest to jednak kwestya sporna jeszcze. Gdy niektórzy badacze uważają jeziora te za wyłączne dzieła erozyi lodnikowej, sądzą inni, że istniały one już poprzednio, zanim w okolicach tych rozprzestrzeniły się lodniki, a pokrycie lodowe uchroniło jedynie te zbiorniki wody od zagłady przez zasypanie osadami późniejszymi. Podobnież dzieć się musiało i z fiordami skandynawskimi, które utorować sobie mógł niegdyś spadek wód rzecznych, a potem głębiej i szerzej wyźłobiły lodniki. W każdym razie obfitość jezior i fiordów pozostaje niewątpliwie w ścisłej łączności z rozwojem lodników i zaliczoną być może do świadectw dawnego zlodowacenia tych okolic.

V.

Za dni naszych lodniki zajmują ograniczone tylko, mało dla nas dostępne obszary, usunęły się wysoko w góry lub daleko w okolicę biegunową, ale są to skąpe zaledwie pozostałości zlodowacenia, jakie objęło niegdyś rozległe na Ziemi przestrzenie. Olbrzymie glezery, które tłoczyły powierzchnię Ziemi, ustąpiły dawno, ale ślady swego istnienia pozostawiły dosyć wyraźne, by je odczytać zdołało bystre oko geologa. Głazy narzutowe, kamienie stoczone i porysowane, skały wygładzone, rozproszone szczątki dawnych moren, skupienie jezior, wszystkie te dowody działalności lodników, którą poznaliśmy wyżej, składają się na dostateczne i przekonywające świadectwo dawnego ich rozprzestrzenienia, a badaczowi dziejów Ziemi pozwalają odtworzyć obraz tej epoki minionej.

Pierwsze wskazówki tego „okresu lodowego“, któremu Ziemia uległa, ujawniły się w Szwajcaryi, tej dziś jeszcze klasycznej ojczyźnie glezerców. W r. 1821, mianowicie, dopatrywał się inżynier *V e n e t z*, że poza obecnymi morenami lodników alpejskich istnieją też podobne utwory, zdała od nich rozrzucone, skąd wywnioskował, że lodniki, dziś urywające się wysoko na zboczach gór, schodziły niegdyś niżej i rozpościerały się szerzej. Też same pomysły powziął w r. 1834 *J a n C h a r p e n t i e r*, górnik z *F r e i b e r g a*, gdy zobaczył skały wygładzone w kantonie *W a l l i s*, a gdy w kilka lat później *L u d w i k A g a s s i z*, po długich i wytrwałych badaniach, ogłosił wyborne swe studia nad lodnikami, wywołał tem powszechne zajęcie i zyskał uznanie dla całej nauki o okresie lodowym. Dalsze badania przeprowadził *A g a s s i z* na wyspach Wielkiej Brytanii, gdzie również wykryto głazy narzutowe i wygładzone zaokrąglenia na skałach, szczególnie zaś niewątpliwe dowody dawnego zlodowacenia dały mu pokłady gliny, wypełnionej mnóstwem porysowanych kamiaków stoczonych; a jak następnie dokładniej jeszcze rozpoznał *M a r t i n s*, warstwy takiej gliny, żwirem przejętej, utworzyć się musiały ze startych pod lodem rumowisk, tworzą zatem morenę denną dawnych lodników.

Odkrycia te dały podnieść do badań w różnych okolicach: wszędzie zajęto się gorliwym wyszukiwaniem śladów dawnego zlodowacenia, poznano je we wszystkich niemal krajach europejskich, zarówno jak na lądzie północno-amerykańskim. Uławicone

nawet pokłady żwiru i piasku, które uważano dawniej za osady wodne, okazały się szczątkami moren, które potem przez fale wodne przeniesione zostały i przesypane.

Z natury i rozkładu rumowisk, z biegu rysów na skałach i na głazach stoczonych, zdołano wykryć drogi, jakimi dążyły dawne prądy lodowe. Ze szczytów alpejskich zbiegało pięć wielkich lodników, które pokryły wokoło kraj cały, aż do równin lombardzkich, do Renu i do Dunaju. W Niemczech południowych wykryto siedm potężnych lodników, które rozpostarły się z różnych szczytów alpejskich, krzyżując się z innymi jeszcze potokami lodu, pochodzącymi z Dzikiego Alpu i z Czarnego Lasu.

I równina, którą teraz zamieszkujemy, rozległa nizina północno-europejska czyli niemiecko-sarmacka przedstawia niemniej liczne i nie mniej wyraźne ślady okresu lodowego. Przedewszystkiem zwróciła tu uwagę niezmierna obfitość głazów narzutowych czyli kamieni erratycznych, rozrzuconych na powierzchni, które rolnik z takim mozołem usuwał z niw swoich i które dały materiały na dawny bruk Warszawy i wielu innych miast polskich. Co znaczą te bryły różnej wielkości i niejednakiej barwy, kątownate i zaokrąglone, odłamki skał złożenia krystalicznego, granity i gnejsy, tak odrębne od gruntu, na którym są rozsiane, obce widocznie pochodzeniem? Skąd przebywają i jaka je tu siła przeniosła? Nie trzeba, zaiste, być geologiem albo zainiżowanym obserwatorem przyrody, by pytanie to żywo zaciekawić mogło. Gdy przypomniemy sobie, że tego rodzaju okruchy skalne rozproszone są także w obszarach gleczerów alpejskich, analogia łatwo nasuwa domysł, że transport głazów narzutowych równin naszych dokonał się także za pośrednictwem lodów. Nie przybyły tu wszakże z Alp; według ich składu, ich natury mineralogicznej, wniesć można było, że wzięły początek w Skandynawii i sąsiadujących z nią wyspach; nie z południa, ale z północy do nas się dostały.

Nie wyobrażano sobie jednak, by działo się tu tak samo jak w Alpach, by lodniki rozpostrzeć się mogły po obszarach tak wielkich i tak dalekich od północnego swego źródła, a według teorii Lyella z r. 1835, która do ostatnich czasów powszechnie miała uznanie, przewóz tych rumowisk w inny tłómaczono sposób. Cała Europa północna, południowo-wschodnia część Anglii, Holandya, Dania, Niemcy północne, Polska, aż do Rosyi południowej, rozległy ten obszar lądu dzisiejszego, miał być pokryty płytkiem morzem, po którym płynęły, prądem północno-południowym unoszo-

ne ogromne odłamy północnych lodników skandynawskich, góry lodowe, obładowane gruzem ze skał tamicznych oderwanym i startym. Gdy zwolna lodowce te tajały i wody swe z morzem mieszały, obciążający je ładunek na dno morskie opadał. Dno to wszakże wznosiło się zwolna, jak to i teraz jeszcze dzieje się z wybrzeżami Szwecyi, morze ustępowało, a gdy wreszcie dno morskie stało się lądem, po którym dziś stąpamy, wynurzyły się też na jego powierzchnię w długim biegu czasów zatopione głązy.

Prosta ta teoria nie była jednak bez trudności; podejrzenie budziły zwłaszcza warstwy gliny, przepełnione kamykami wygładzonymi i porysowanymi, w znacznej części pochodzenia skandynawskiego. Jeżeli miały to być osady morskie, uderzał w nich brak skamieniałości, szczątków zwierząt morskich, muszel zwłaszcza, w które tak przecież obfitują warstwy złożone przez morze. Lyell odpierał ten zarzut, odwołując się do warunków niekorzystnych, jakie dla rozwoju życia przedstawiać musiało morze krą lodową tak niesłychanie przepełnione. Jednakże już w r. 1864 wykazał O. Torell pochodzenie lodnikowe tej gliny, gruzem stoczonym przejętej; nie jestto bynajmniej osad rozrzucony przez nieprzeliczone lodowce, ale morena denna lodników, które się rozpościerały ze Skandynawii daleko na południe, do linii biegnącej przez Calais, Kraków, Lwów i dalej na wschód aż do obszarów rzecznych morza Czarnego. Wszędzie na tej rozległej przestrzeni występują ślady wyraźnej działalności lodników, wszędzie napotykają się cechy moreny niewątpliwej. Pogląd ten, poparty pracami Crednera, Pencka i innych badaczy, zyskał rychło powszechne uznanie i usunął poprzednią hipotezę gór lodowych, a jeżeli jeszcze pozostawała wątpliwość, czy całe obszary lądowe mogły być tak potężną powłoką lodową pokryte, to bliższe poznanie Grenlandyi ukazało nam kraj, dziś jeszcze w podobnych warunkach pozostający, bo zapełniony pokładem lodu wysokości 2000 – 3000 metrów. Gdy Nordenskjöld przedarł się 1883 r. daleko w głąb tej ziemi zlodowaciałej, a Frithjof Nansen przekroczył nawet ten olbrzymi pokład lodu tak wysoko sięgający, że gdziekolwiek zaledwie wyzierają z niego oddzielne szczyty górskie, „nunatakry“ eskimosów, wtedy utrwaliło się przekonanie, że również na rozległych obszarach Europy, Azji i Ameryki północnej rozpościerać się mogła podobna powłoka lodowa. Ślady takiego zlodowacenia, lubo w mniejszych rozmiarach, dostrzeżono zresztą i na lądach południowych.

W obec tej teoryi lodnikowej upada hipoteza morza, które w okresie lodowym zalewać miało Europę północną; dzisiejsze najsze niziny już w owym czasie musiały być lądem stałym. Owszem, jeżeli po nich rozpościerał się prąd lodowy, zbiegający z gór Skandynawii, musiało istnieć połączenie lądowe, miejsce zaś Bałtyku i morza Północnego zajmować musiał wtedy ląd stały, chyba, że dzisiejsze te morza były dosyć zmarznięte i zakrzepłe, by po ich powierzchni sunąć mogły prądy lodowe, zbiegające daleko na południe.

Staranne badania rozkładu głazów narzutowych i całej w ogólności dawnej moreny doprowadziły nawet do wniosku, że rozróżnić należy dwa odrębne peryody rozwoju lodników, przedzielone okresem pośrednim, interglacyalnym, od lodów wolnym. Podczas zlodowacenia pierwszego, w dawniejszym okresie lodowym, prąd lodnikowy miał kierunek wprost z północy na południe; w okresie późniejszym lodniki napływały bardziej od wschodu, a przytem i obszar zajęły mniejszy. Granica drugiego zlodowacenia nie dosięga już Krakowa, ale przebiega w ogólności równoległe do granicy lodników okresu poprzedniego. Drugie zlodowacenie wydaje się słabszem, a pewne wskazówki świadczą, że niektóre wyniosłości, poprzednio lodem zasnutę, sterczały wtedy ponad powłoką lodową, jak dzisiejsze nunatakry greulandzkie.

Wyróżnienie wszakże takie dwóch okresów lodowych tyczy się głównie niziny niemiecko-sarmackiej; geolog Nikitin wykryć zdołał w Rosyi europejskiej ślady jednej tylko moreny lodnikowej, nie sądzi zatem, by tam dwukrotne zlodowacenie miejsce mieć mogło; Geikie natomiast, na podstawie swych badań w Anglii i Szkocyi, skłania się do wyróżnienia w okresie lodowym aż pięciu epok odrębnych. Są to zapewne wzmożone objawy podobnego posuwania się i cofania, jakie i dzisiejsze lodniki w mniejszych rozmiarach kolejno przedstawiają.

VI.

Już w r. 1841 wykazał Charpentier, że rozległe zlodowacenie Europy nastąpiło dopiero po wyniesieniu gór Alpejskich, a wszelkie badania późniejsze słuszność wniosku tego potwierdziły. Ponieważ zaś Alpy, jak zresztą wogóle najwynioslejsze szczyty i najznacześniejsze góry naszej bryły ziemskiej, powstały dopiero w trzeciorzędowym okresie geologicznym, epoka tego zlodowace-

nia przeto, jak to zaznaczyliśmy już wyżej, przypada na najnowsze czasy geologiczne, na okres dyluwialny; jestto okres bieżący dziejów Ziemi, jakby nieukończony, świat bowiem organiczny w ciągu tego czasu istotnemu nie uległ jeszcze przeobrażeniu.

Oziębienie klimatu, wybijające się tak wyraźnie w nadmiernym rozroście lodników, okazuje się niemniej jasno w zmianie ówczesnej fauny i flory europejskiej, jak to poznajemy ze szczątków przechowanych w torfowiskach, w warstwach gliny, w wapiennych osadach wód lądowych, a zwłaszcza w jaskiniach, które z czasu tego przetrwały. Na równinach rosła brzoza karłowata i wierzba podbiegunowa; renifer żerował u stóp Alp i Pirenejów, z dalekiej północy przywędrował tu mamut, czyli słoń włosem gęstym i wełnistym pokryty; dziś już wymarłe niedźwiedzie i hyeny jaskiniowe przewyższały wielkością i siłą dzisiejszych swych potomków; w obfitej ilości zamieszkiwał Europę środkową wielki łoś, który przetrwał do naszych czasów, oraz tur, który najdłużej utrzymał się na Mazowszu, istniał tu bowiem jeszcze w wieku piętnastym.

Człowiek był już świadkiem okresu lodowego; przekonywają o tem kości jego znajdowane w jaskiniach, które wydzieriał zapewne władającym niemi poprzednio zwierzętom drapieżnym; był prawdopodobnie najbliższej spokrewniony z dzisiejszymi eskimosami, lapończykami i samojedami, a narzędzia swe i oręż wyrabiał z kamienia łupanego. W dziejach rozwoju człowieka pierwotnego, przedhistorycznego, czas ten ma nazwę okresu paleolitycznego; schodzi się, jak widzimy, z geologicznym okresem dyluwialnym, z okresem napływów dawnych.

Kiedy więc działo się to wszystko, jakież odstęp czasu dzieli nas od tej epoki zamierzchłej, jak się wyraża w skali chronologicznej lat i stuleci?

Na pytanie to odpowiedzieć może Geologia ze słabem zaledwie przybliżeniem; chronologia ścisła jest ciężkim dla niej szkopułem, nie posiada chronometrów, któreby dozwalały mierzyć dokładnie długość jej okresów niesłychanych, obejmujących całe setki tysiącoleci.

W r. 1828 pisał Mickiewicz do doktora Siemiaszki, „przedsiębiorcego podróż naukową do Azyi w przedmiocie historii naturalnej“:

I stań się biografem naszego planety;
 Niech cię nie trwoży zmudne latopismo świata,
 Z warstw Ziemi, jak ze zmarszczków, policzysz jej lata.

Pół stulecia jednak minęło, zanim Geologia podjęła badania chronologiczne według rady poety, dla oznaczenia bowiem długości swych okresów, rozpatruje rzeczywiście warstwy Ziemi, obliczając bądź przeciąg czasu, potrzebny do utworzenia pewnego pokładu, bądź szereg lat, konieczny do jego zniszczenia. Tych też metod użyto, by ocenić czas, jaki upłynął, odkąd minęło ostatnie zlodowacenie Ziemi, a do obliczeń podobnych nastęrczyły znowu sposobność obserwacye dokonane w Szwajcaryi.

Przebiegając przez jezioro Genewskie, składa na dnie jego Rodan znaczną ilość mułu, który sprowadza ze źródeł swoich, wpływających z lodnika w Alpach berneńskich. W okresie dyluwialnym lodnik ten schodził na niziny, rzeka powstała dopiero po cofnięciu się jego w góry. Forel obliczył tedy ilość mułu, jaka od tego czasu spoczęła na dnie jeziora, i z otrzymaną w ten sposób liczbą zestawił ilość mułu, jaką teraz Rodan corocznie tam znosi, a rachunek wykazał, że nagromadzenie zebranych dotąd w kotlinie jeziora osadów rzecznych wymagało 12 000 lat. W takiż sam sposób skorzystał Heim z jeziora Czterech Kantonów. Wpływające tam rzeki Reuss i Muota składanym przez siebie mułem i żwirrem budują deltę, rozciągającą się aż do wielkiej moreny, która przetrwała w kotlinie Gersauskiej jeziora od czasów dyluwialnych; ponieważ rozległość tej delty jest znana, a ilość materyału, doprowadzanego corocznie przez rzeki, dała się dokładnie oznaczyć, miał stąd Heim dane dostateczne do obliczeń, z których wypadło, że na usypanie całej delty w dzisiejszych jej wymiarach łożyły rzeki 16 000 lat. Podobnie obliczył Steck, że wiek delty, która dzieli jeziora Thun i Brienz, wynosi 20 000 lat, rzeka zaś Aar, na usypanie napływów, które składa, wdzierając się do drugiego z tych jezior, potrzebowała 14 do 15 000 lat.

Od liczb, taką drogą wysnutych, nie można zapewne żądać ścisłości zbyt wielkiej, są wszakże dostatecznie między sobą zgodne, by je z pewnem zaufaniem przyjąć. Można więc podzielić pogląd Heima, że od czasu ustąpienia olbrzymich lodników, które okres lodowy znamionowały, upłynęło co najmniej 10 000, a co najwyżej 50 000 lat. W każdym razie od epoki tej nie dzieli nas setki tysięcy, ale dziesiątki tysięcy lat tylko.

Słabiej ugruntowaną wydaje się podstawa, na której oparł

rachunki swoje geolog amerykański, Warren Upham, chcąc oznaczyć trwanie samego okresu lodowego. Ocenił mianowicie, że lodnik Muir w górach Alaszki, skutkiem erozyi, którą wywiera na swe podłoże, ściera z niego w ciągu stulecia warstwę grubości 1,75 metra. Jeżeli lodnikom dyluwialnym Ameryki północnej przyznamy grubość dzisiejszych lodników grenlandzkich, wynoszącą 3200 metrów, i wymiary ich oraz ich działalność zestawimy z wielkością i pracą przytoczonego lodnika Alaszki, rachunek prowadzi do wniosku, że przebieg czasu wielkiego zlodowacenia Ziemi w okresie dyluwialnym wynosić mógł 10 do 20 000 lat. W porównaniu z długotrwałością poprzednich peryodów geologicznych, jest to czas nader krótki, chwilowy zaledwie ustęp dziejów Ziemi; ale wypływa to i stąd także, że w ciągu okresu dyluwialnego świat organiczny uległ nieznacznym zaledwie zmianom, nie zdążył przebyć przeinaczeń tak rozległych, jakie wyczytujemy ze skamieniałości napotykanych w starych pokładach Ziemi.

VII.

Tak osobliwe rozprzestrzenienie się lodów na powierzchni Ziemi, tak znaczne obniżenie temperatury, oziębienie się klimatu, wszystko to uderza nas jako nagła przerwa w statecznej dotąd ciągłości rozwoju Ziemi; z przyczyn wszakże, które zmianę taką spowodowały, sprawy zdać sobie dokładnie nie umiemy. Czy było to zjawisko wyjątkowe tylko, jednorazowe, jakby przypadkowe; czy jest to raczej objaw peryodyczny, powtarzający się w pewnych odstępach czasu; czy działały tu wpływy ziemskie jedynie, czy raczej przyczyny dopatrywać należy w Słońcu, lub też w położeniu Ziemi względem tej gwiazdy dziennej, tego nie wiemy stanowczo.

Ci, co szukali ziemskich jedynie źródeł okresu lodowego, odwoływali się do przypuszczalnie znaczniejszej wysokości gór w owej epoce, jak Charpentier; do większej obfitości pary wodnej w powietrzu, do odmiennego, niż obecnie, rozkładu mórz i lądów, jak Lyell; do innego kierunku prądu zatokowego; czyli golfstromu, który teraz wpływ tak dobroczynny na klimat Europy wywiera. Wszystkie te jednak poglądy nie dają się dostatecznie uzasadnić, a jeżeli zważymy, że objawy oziębienia klimatu w okresie dyluwialnym nie ograniczają się do naszej tylko części świata, ale ślady ich nastręczają się na całej Ziemi, wydaje się rzeczą bardziej prawdopodobną, że działały tu przyczyny ogólniejsze. Przyjmowa-

no więc, że w pewnej epoce nastąpiło obniżenie promieniowania słonecznego, może wskutek obfitego rozwoju plam na powierzchni Słońca, ale jest to domysł, dowolny zupełnie, któremu brak jakiegokolwiek poparcia, podobnie jak przypuszczeniu, że Ziemia, wraz z całym układem słonecznym, przesuwając się mogła przez zimniejsze obszary wszechświata. Daleko lepiej natomiast uzasadnioną jest inna teoria, która odwołuje się do wielkich okresów astronomicznych, wskazana najpierw przez J. Herschla w r. 1830, a następnie rozwinięta i udoskonalona przez Adhémara, Crolla i Pencka.

Okresy, o których tu mowa, tyczą się zmienności mimośrodu drogi ziemskiej, oraz obiegu jej punktu przysłonecznego. W punkcie przysłonecznym swej drogi, czyli po prostu najbliższej Słońca, znajduje się obecnie Ziemia w tym czasie, gdy na półkuli północnej panuje zima, a na południowej lato; po tej zaś części swej drogi, która przypada bliżej Słońca, Ziemia bieży prędzej, aniżeli po części, bardziej od Słońca oddalonej; wypada stąd zatem, że półrocze zimowe dla półkuli północnej trwa nieco krócej, aniżeli letnie, gdy dla półkuli południowej stosunek jest wręcz przeciwny. Korzystne to wszakże położenie półkuli północnej nie jest niezmiennie, punkt bowiem przysłoneczny przesuwa się po ekliptyce, i na jej obieżenie potrzebuje około 21 000 lat; po upływie zatem połowy tego okresu, za lat 10 500, półkula południowa doznawać będzie przyjaźniejszych warunków klimatycznych, a po dalszych 10 500 latach będzie znowu na rzecz półkuli północnej.

Sama nadto postać drogi ziemskiej ulega powolnemu przeinaczeniu w ciągu długich okresów, staje się silniej wydłużoną, lub też bardziej kołową; obecnie jest elipsą, niewiele tylko od okręgu koła odstupującą i w ciągu jakich 24 000 lat zbliżać się będzie jeszcze bardziej do postaci kołowej, poczem znowu zmiana dokonywać się będzie w kierunku przeciwnym. Ponieważ Słońce mieści się w jednym z ognisk elipsy, odległość tedy punktu przysłonecznego i odsłonecznego drogi ziemskiej od Słońca nie jest stateczną; gdy obecnie na półkuli północnej jest półrocze letnie o sześć dni dłuższe, aniżeli zimowe, a na półkuli południowej o tyleż dni krótsze, zachodzić mogą przypadki, gdy różnica ta aż 36 dni dosięga. W epokach zatem tak wielkiej eliptyczności drogi ziemskiej pomiędzy półkulą północną a południową występują różnice klimatyczne daleko wybitniejsze, aniżeli je dostrzegamy obecnie przy

kołowej prawie postaci drogi ziemskiej. Półkula, na której tak długie zimy panują, przedstawia warunki, sprzyjające rozwojowi lodników tak dalece, że wytwarzać się tam mogą istne okresy lodowe. Po następnym przebiegu tego długiego peryodu, podobne warunki powtarzają się dla półkuli drugiej.

Według tej zatem teorii astronomicznej, okres lodowy nie obejmował całej naraz Ziemi, ale przypadał naprzemian na półkuli północnej i południowej, nie był zjawiskiem przypadkowym, jednokrotnym, ale każda półkula przechodzić już musiała cały szereg podobnych okresów lodowych. Dostrzeżono też rzeczywiście pewne ślady podobnych objawów w najdawniejszych nawet formacjach skorupy ziemskiej, chociaż dowody te nie mogą oczywiście być dosyć przekonywające.

W ten sposób znajdujemy wyjaśnienie peryodycznych zmian klimatu; nie idzie jednak zatem, by każdy powrót okresu zim długotrwałych sprowadzać miał niezbędnie tak potężny rozwój lodów, do tego bowiem potrzeba odpowiedniego zbiegu czynników meteorologicznych i orograficznych, jak to miało miejsce podczas okresu dyluwialnego. Jakkolwiek przyczyna powtarza się peryodycznie, mówi Penck, to jednakże objawy okresu lodowego niekoniecznie w statecznych odstępach czasu ujawniać się muszą.

Najnowszą wreszcie teorię okresu lodowego wysnuli w 1902 r. podróżnicy P. i F. Sarasin, z objawów, spowodowanych przez wybuch wulkanu Krakatau 26 sierpnia 1883 r. Straszliwy ten wybuch wyrzucił taką moc cząstek wody i pyłu, że powstałe stąd obłoki w okolicach zwrotnikowych zakrywały zupełnie Słońce rano i wieczorem, o nawet osłabiały promienie Słońca, wysoko w południe wzniesionego. Pył, rozproszony w górnych warstwach atmosfery, przez lat kilka wywoływał pamiętne objawy łun zmierzchowych, które czerwienią płomienistą oblewały niebo wieczorne. Förster przekonał się, że te obłoki przytłumiały istotnie promienie słoneczne, zmniejszały ich działalność cieplikową i świetlną, pył zaś, rozrzucony w powietrzu, sprzyjał rozwijaniu się chmur i powstawaniu opadów wodnych.

Skoro zaś już krótkotrwały wybuch jednego tylko wulkanu sprowadzić mógł tak wyraźne zakłócenie warunków meteorologicznych w ciągu lat kilku, to zapewne długa działalność wulkaniczna w czasach pliocenicznych i pleistenicznych, czyli na rozdrożu okresu trzeciorzędowego i czwartorzędowego, o której świadczą liczne dostrzeżenia geologiczne, wywołać musiała objawy po-

dobne w mierze daleko znaczniejszej. Liczne owych czasów wulkany otoczyły zapewne Ziemię powłoką niesłychanej ilości materiałów wybuchowych, popiołu, pary wodnej i gazów, a idące za tem, choćby nieznaczące obniżenie temperatury średniej, oraz wzmożenie się wilgotności i opadów, wystarczyć może do wyjaśnienia silnego rozwoju lodników i ich rozpostarcia się w dolinach. Ślady ogólnego zlodowacenia Ziemi napotkano także i w formacji permskiej, ale wykryto tam również dowody rozległych trzęsień i potężnych wybuchów wulkanicznych w tejże samej epoce; obie więc te kategorie objawów wspierają się nawzajem i upoważniają do wniosku ogólnego, że okresom ogniowym Ziemi towarzyszą okresy lodowe, jako następstwa ich konieczne.

Widzimy z tego, że w kwestyi okresu lodowego na nadmiar raczej, aniżeli na brak wyjaśnień, uskarżać się możemy; teoryi wszakże stanowczej i bezspornej dotąd nie posiadamy.

W toku całego zresztą opowiadania naszego wiele jeszcze innych napotkaliśmy wątpliwości i niepewności. Obawiam się, bym nie usłyszał zarzutu, że rozwijałem tu rzeczy, których dobrze nie znamy. Czytelnicy „Biblioteki Warszawskiej“ wybaczą mi zapewne. Wiedzą przecież dobrze, jak często i jak dobrze różnią się historycy w ocenie zdarzeń, zgoła niedawnych, chociaż opierają się na zeznaniach tychże samych świadków naocznych i na jednakich dowodach urzędowych. O ileż większe trudności nastęrczać się muszą przy rozważaniu dawnych, tak bardzo już zamierzchłych dziejów Ziemi, gdy jedynie kamyk stoczony lub odłam skamieniałości zwierzęcej, zamiast świadectw piśmiennych, dawać mogą podstawę do wysnuwania wniosków. Historykowi Ziemi moc wnioskowania daje znajomość niezłomnych praw przyrody, a im coraz głębiej i lepiej te prawa rozumieć będziemy, tem też rzetelniej spisać się dadzą dzieje planety, która jest siedliskiem naszym.

X.

STULECIE GALWANIZMU.

I.

Początki.

W roku 1899 sto lat minęło od chwili wynalazku stosu galwanicznego. Na samym przełomie wieku XVIII-go i XIX-go zrodził się galwanizm, a stulecie, które niedawno do schyłku dobiegło, świadkiem było olbrzymiego jego rozwoju.

Stulecie nie jest wprawdzie jednostką czasu naturalną, jak doba, lub rok, które bezpośrednio z obiegu Ziemi wypływają, ale system liczenia dziesiątkowy tak ściśle zjednoczył się ze zwyczajami i nałogami naszymi, że na przejściu od jednego wieku do następnego mimowolnie kopców granicznych upatrujemy. Takie kopce graniczne nie istnieją w rzeczywistości, wiedza bowiem rozwija się stopniowo, a wraz z nią pojęcia nasze i poglądy powolnemu i statecznemu ulegają przeobrażeniu. Zmiany te mijają koło nas niespostrzeżenie, jak nie dostrzegamy drobnych przeinaczeń skorupy ziemskiej, mnożących się marszczeń na jej powierzchni, ciągłego wznoszenia się i zagłady gór, co dopiero w sumie ogólnej w następnym chyba okresie geologicznym mogłoby się ujawnić. Ale w stosunku do życia naszego, do istnienia całego nawet rodu ludzkiego, sto lat jest już okresem dostatecznie długim, by godziło się drobne te przyrosty wiedzy i te stopniowe zmiany pojęć zebrać i zsumować w pełny obraz historyczny.

Ktokolwiek taki rys nauki wieku XIX-go w myśli swej roztoczyć zechce, uwagę jego niewątpliwie zatrzyma przedewszystkiem prąd galwaniczny, wytrysnął bowiem w początkach stulecia, a w ciągu tego okresu rozpostarł się tak szeroko, jak gdyby wszystkie objawy przyrody chciał „z góry objąć i zgarnąć pod siebie“.

Skłania to do zatrzymania uwagi czytelnika wśród turkotu chwili bieżącej i odwrócenia wzroku jego wstecz, dla rozpatrzenia drogi, przez prąd galwaniczny dotąd przebieżonej.

Historyk lubi nieraz poszukiwać analogii zdarzeń, długimi odstępami czasu rozdzielonych. Jak w widmach pierwiastków powtarzają się pewne grupy linii w porządku peryodycznym, lubo w odmiennem występują zabarwieniu, tak też zachodzą często podobieństwa w biegu spraw ludzkich, a niekiedy następują się i w dziejach nauki. Tak początek galwanizmu przypomina nam w sposób uderzający nie mniej doniosłego znaczenia początek dynamiki w wieku XVI-tym. Mechanika dawna, której twórcą istotnym był Archimedes, ograniczała się do Statyki wyłącznie, umiała badać prawa i warunki równowagi tylko, a w ograniczonym tym zakresie rychło wyczerpać się musiała; nieruchomością jedynie zaprzątnięta, sama w nieruchomości utknęła. Poruszył ją dopiero Galileusz i do rozwoju dalszego przygotował, skoro badaniom objawy ruchu poddał, gdy ukazał kołysanie się wahadła i bieg ciał spadających. Zwrot ten genialny zrodził Mechanikę, dał początek Fizyce nowej.

Podobnie i elektryczność pierwotna statyczną była tylko: umiano ją na przewodnikach gromadzić, ale jej w ruchu nie znano. Zapał, z jakim niedawno jeszcze trzask iskry elektrycznej witano, ochłódł już znacznie w końcu wieku XVIII-go; machina elektryczna z nieodłączną od niej butelką lejdejską nie dawała już objawów nowych: przycichła wrzawa, która doświadczeniom tym w świecie towarzyszyła, i tylko w zaciszu pracowni naukowych, przy pomocy przyrządów mierniczych, elektrometrów Volty i wagi skręcenia Coulomba, starano się wyczytać prawa ilościowe działań elektrycznych. W tej właśnie chwili wyczerpania, na tej samej ziemi włoskiej, skąd tylokrotnie wiało odrodzenie, nietylko sztuki, ale i nauki, z żaby Galvaniego, jak niegdyś Dynamika z wahadła Galileuszowego, wydobyło się nowe źródło elektryczności poruszanej, płynącej, elektryczności dynamicznej, która ruch nauce całej nadała i potężnym swem technieniem do potężnego życia w wieku XIX-tym zbudziła.

Mówią, że odkrycie Galvaniego przypadkiem było, że słynna jego żaba, na haku miedzianym uczepona, zadrgała, gdy przypadkiem żelaznej kraty balkonu dotknęła, a tem chcą chwale jego przytłumiać i zasługę osłabiać. W jaki atoli sposób mogliśmy do galwanizmu dotrzeć, gdyby nam wejścia przypadek nie

odsłonił? Czyż mogła ją wysnuć najgenialniejsza choćby dedukcyja filozoficzna, czyż mógł ją wyprowadzić najbystrzejszy rachmistrz metafizyczny? O wzbudzeniu elektryczności przez tarcie wiedzieli już cokolwiek starożytni, ale o objawach galwanicznych nikt nigdy nie słyszał, nikt ich nie przewidywał, nie przeczuwał,—przypadek jedynie mógł źródło ich ujawnić. Nietylko purpura i szkło fenicyan są dziełem przypadku, daje się on wysledzić w każdym odkryciu doniosłem. Ale jak w życiu zwyczajnem powodzenie jest udziałem tych przedewszystkiem, co z przypadku korzystać i wyzyskać go potrafią, tak też i w nauce chwała tym jest należną, co przypadek dostrzedz umieją, nie przechodzą obok niego obojętnie, zatrzymują się, śledzą, badają. Taka właśnie zasługa przypada Galvaniemu, a doniosłość jego odkrycia uznano, skoro wyrosły stąd nowy dział Fizyki nazwiskiem jego oznaczono.

Luigi Galvani urodził się dnia 8 września 1737 r. w Bolonii, od roku 1762 był w mieście rodzinnem profesorem Medycyny, od r. 1775 profesorem Anatomii praktycznej i zajmował się przeważnie Anatomią porównawczą oraz Fiziologią. Przy jednym ze swych doświadczeń umieścił on żabę spreparowaną na stole, na którym znajdowała się maszyna elektryczna; żaba złożona była dosyć daleko od konduktora maszyny, a gdy w warunkach tych ktoś z obecnych zbliżył ostrze noża ku nerwom udowym żaby, mięśnie wszystkich jej członków uległy gwałtownemu skurczowi, jak gdyby doznała napadu nagłych konwulsyj. Ktoś inny zauważył, że objaw ten następuje tylko w chwili, gdy konduktor wydaje iskrę; nowość tego zjawiska uderzyła go i zwrócił na nie uwagę Galvaniego, który doświadczenie to sprawdził i zajął się jego badaniem. Kiedy doświadczenie po raz pierwszy dokonaniem zostało, niewiadomo. Galvani bowiem nie zaznaczył daty w opisie swych doświadczeń, ogłoszonym w roku 1791: „De viribus electricitatis in motu musculari commentarius“. Konwulsyjne wstrząśnienia żaby były następstwem nieznanego jeszcze wówczas „uderzenia powrotnego“, gdy elektryczność, wzbudzona w ciele żaby i związana wpływem ładunku konduktora maszyny, oswobadzała się nagle przy przebiegu iskry, czyli przy wyładowywaniu konduktora. Wbrew też rozpowszechnionym opowiadaniom, Galvani nie sądził bynajmniej, by dostrzeżeniem tem odkrył już nowy rodzaj elektryczności; widział on w tem jedynie wpływ ze znanego źródła pochodzącej elektryczności na mięśnie zwierzęce, i sta-

rał się usilnie wpływ ten dokładnie wyświecić. Stwierdził, że wstrząśnienia miały rzeczywiście miejsce przy wyładowywaniu konduktora, ale następowały tylko przy dotykaniu nerwów dobrym przewodnikiem dostatecznej wielkości; połączenie mięśni drutem z ziemią sprzyjało doświadczeniom, iskry elektryczności ujemnej działały również silnie, jak iskry elektryczności dodatniej, iskry elektrofora tak samo, jak iskry maszyny elektrycznej. Po tych i innych jeszcze próbach, zapragnął Galvani poznać, czy jednaki też wpływ wywierać będzie naturalna iskra elektryczna, czyli błyskawica; w tym celu uda żaby przyczepił za pośrednictwem nerwów do długiego drutu, schodzącego od dachu domu, gdy inny drut, przyczepiony do nóg żaby, prowadził do wody studni, znajdującej się w dziedzińcu. Ilekroć przebiegała błyskawica, zawsze w tejże samej chwili mięśnie ulegały silnym i wielokrotnym skurczom, współcześnie z blaskiem, poprzedzając i zwiastując uderzenie grzmotu. I bez błyskawic zresztą wstrząśnienia te występowały, gdy tylko niebo zasnutę było chmurami burzliwymi. Nasuwało się więc pytanie dalsze, czy i normalna elektryczność atmosferyczna jest w stanie wpływ na mięśnie wywierać, a Galvani dostrzegł rzeczywiście skurcze żaby, gdy hak żelazny, przechodzący przez jej rdzeń kręgowy, przytwierdzony był do żelaznej kraty ogrodu. Wyobrażał więc sobie w pierwszej chwili, że to elektryczność atmosferyczna gromadzić się mogła w mięśniach żaby, a gwałtowne jej występowanie następowało, gdy zachodziło zetknięcie z kratą. Domysł ten wszakże wypadło mu rychło zarzucić, gdy doświadczenia podobne z równem powodzeniem wykonał w izbie zamkniętej, gdy je powtarzał w różnych godzinach doby, przy rozmaitych warunkach atmosferycznych, przy użyciu drutów z różnych metali. Wtedy dopiero wzbudził się w nim domysł, że źródło elektryczności w samej tkwi żabie, że ma tu do czynienia z elektrycznością zwierzęciu wrodzoną.

Z doświadczeń dalszych okazała się analogia uderzająca między zachowaniem się żaby a butelką lejdejską. Gdy, mianowicie, Galvani trzymał w jednej ręce żabę na haku, przez jej rdzeń przechodzącym, a współcześnie nogi jej dotykały krążka srebrnego, żaba ulegała wstrząśnieniom za każdym razem, gdy ręką drugą zbliżał pręcik srebrny do powyższego krążka. Zdumiewające to doświadczenie urozmaicił Galvani jeszcze w ten sposób, że jedna osoba trzymała żabę na haku ponad krążkiem, inna zaś krążka tego dotykała; zjawisko skurczów wtedy nie występowało, powta-

rzało się dopiero za każdym dotknięciem, gdy obie osoby, ująwszy się za ręce, tworzyły łańcuch zamknięty. Krążek srebrny okazał się zresztą zbyt cichym; do wywoływania wstrząśnień wystarczyło, gdy łuk metaliczny łączył nerw jednego uda z mięśniem; osobliwym zaś było przytem, że gdy łuk wyrobiony był z jednego tylko metalu, wstrząśnięcia najczęściej były słabe lub zgoła miejsca nie miały, a wzmagaly się natomiast, skoro w łuk ten wtrącano krążek z innego metalu, z miedzi lub srebra.

Na ten ostatni szczegół Galvani dostatecznej nie zwrócił uwagi, a to niedopatrzenie nie dozwoliło mu do pomyślnego końca doprowadzić tak długiego szeregu pięknych i wytrwale dokonanych doświadczeń. Jedyne źródło objawiającej się tu elektryczności w samej żabie widząc, przyjął Galvani, że mięsień jest siedliskiem obu rodzajów elektryczności, dodatniej i ujemnej. Każde oddzielne włókno mięśniowe uważać można jakby za drobną butelkę lejdejską, której konduktorem jest nerw, cały więc mięsień przedstawia skupienie mnóstwa drobnych butelek. Przyjmując taką teorię „elektryczności zwierzęcej“, która mu dozwalała odkryte przez niego zjawiska tłumaczyć, oświadcza Galvani zarazem, że gotów jest hipotezę swą zarzucić, skoro inni uczeni lepsze w tej rzeczy wytworzą pojęcie.

Niedługo też, zaiste, wypadło na nie czekać, skoro między badaczami, który doświadczenia jego powtarzali, znalazł się i Volta. Aleksander Volta urodził się 19 lutego 1745 roku w Como; w roku 1779 otrzymał katedrę Fizyki w uniwersytecie w Padwie. Elektrycznością zajmował się już oddawna; w roku 1769 ogłosił pierwszą swą rozprawę: „De vi attractiva ignis electrici“, następnie wynalazł elektrofor, zbudował elektrometr ze słomkami, który, po połączeniu z kondensatorem, okazał się przydatnym do badań nader słabych źródeł elektryczności; pistolet elektryczny i eudiometr należą również do słynnych wynalazków Volty. Skoro zaś ukazała się wspomniana wyżej rozprawa Galvaniego, zajął się bezzwłocznie powtórzeniem jego doświadczeń i pierwsze swe prace opisał w liście do pewnego lekarza medyolańskiego, dnia 4 kwietnia 1792 roku, a w tymże samym roku w dwu jeszcze rozprawach, ogłoszonych w „Giornale fisico-medico“ Brugnatellogo. Dla podwyższenia wrażliwości żab pokrywał obnażone ich nerwy udowe cynfolią, co zresztą robił i Galvani, ale wkrótce poznał, że rezultaty są najkorzystniejsze, gdy powłoki obu nerwów są z metali różnych, jedna z ołowiu lub cyny, druga ze złota, sre-

bra, mosiądzu lub żelaza; gdy zaś powłoki są z metalu jednakowego, to niezbędną przynajmniej jest różnica w sposobie ich nałożenia. Również i łuk metaliczny, służący jako konduktor, winien być złożony z dwu metali; jeżeli zaś doświadczenia udają się i przy łuku z jednego metalu, to zapewne pręcik metalowy nie jest w całej swej długości jednaki. W warunkach takich żaba okazuje się najczulszym elektroskopem i ulega wstrząśnięciu przy tak słabym ładunku butelki lejdejskiej, jakiego nie zdradza już żaden inny elektrometr.

W pierwszych swych rozprawach dzieli Volta pogląd Galvani o elektryczności zwierzęcej, coraz nowe jednak doświadczenia usuwają go z wolna z tej drogi. Pewne objawy elektryczne dają się wywołać i bez udziału żaby. Tak poznaje Volta, o czem zresztą pisał już w roku 1752 Sulzer w dziele: „Des plaisirs des sens“, że dwie różne powłoki metaliczne na języku przy przejściu materji elektrycznej, zamiast wstrząśnień, wzbudzają w pewnych razach osobliwsze wrażenia smaku. Gdy na końcu języka złożony jest czysty listek cynfolii, w innem zaś miejscu moneta złota lub srebrna, to skoro obie te powłoki zostaną z sobą zetknięte, powstaje żywe wrażenie smaku kwaśnego; gdy powłoki zmieniają swe miejsce, tak, że srebrna przypada na końcu języka, cynowa zaś mieści się dalej, za zetknięciem daje się na końcu języka uczuć smak zgoła inny, gorzki raczej, aniżeli kwaśny, ostry, alkaliczny. Jedną z tych powłók metalicznych przeniósł następnie Volta z języka na gałkę oczu, a wtedy innego znów doznał wrażenia, za każdym bowiem zetknięciem metalicznym w oku wznicał się objaw światła, jakby blask nagłej błyskawicy.

W zjawiskach powyższych biorą jeszcze udział substancje zwierzęce, ale można się bez nich obejść zupełnie. Przebieg bowiem elektryczności następował i w tych razach, gdy łuk, z dwu metali złożony, wprowadzał Volta w zetknięcie z przedmiotami zwilgocionemi, z papierem, skórą, sukniem, a lepiej jeszcze wprost z wodą. Wszystko to świadczy, że metale są tu nie tylko przewodnikami elektryczności, ale że raczej w nich samych źródło jej się mieści; materya elektryczna nie wzbudza się przez siłę żywotną w organach zwierzęcych, ale powstaje skutkiem różnicy dwu metali, choćby różnica ta była zgoła nieznaczną; z galwanicznej elektryczności zwierzęcej pozostaje chyba tylko dobre przewodnictwo nerwów i ich nadmierna wrażliwość, skutkiem czego stają się wybornemi elektrometrami. Nie z elektrycznością zwie-

rzącą, ale z elektrycznością metaliczną jedynie mamy do czynienia.

Teorię tej elektryczności metalicznej sformułował Volta ostatecznie w roku 1794. Przez zetknięcie różnych metali rozkłada się elektryczność w ten sposób, że jeden z nich otrzymuje elektryczność dodatnią, drugi zaś ujemną; gdy więc przez wprowadzenie przewodnika pośredniego obieg zamknięty zostaje, wytwarza się w nim nieprzerwany prąd elektryczny. Wtedy też już ułożył Volta szereg metali tak dobranych, że siła prądu tem jest znaczniejsza, im dalej w szeregu przypadają zetknięte z sobą metale. Gdy zaś w obronie swej teorii przypomniał Galvani, że wstrząśnienia żaby wzbudzają się i przy użyciu łuku z jednego tylko metalu, przytoczył znów Volta, że w razach tych metal nie jest zupełnie jednorodny; gdy zaś łuk metalowy nie jest w stanie drgań żaby sprowadzić, można mu moc tę nadać, jeżeli dwie jego połowy rozmaicie się ogrzeje lub zahartuje, albo też w rozmaitym stopniu utleni.

I na tym jeszcze punkcie walki stronnicy elektryczności zwierzęcej nie uznali się pokonanymi. Skoro Volta za najistotniejszy warunek doświadczeń przyjmował udział metali, starali się oni zupełnie je z doświadczeń swych usunąć. Powiodło się to też rzeczywiście Aldiniemu, siostrzeńcowi Galvaniego, gdy zdołał w roku 1794 wywołać wstrząśnienia żaby przez zamknięcie obwodu, złożonego z samych tylko części zwierzęcych, bez jakiegokolwiek drutu metalowego. By wszelkich zresztą zarzutów uniknąć, zaczął Galvani żaby swe preparować nożami szklanymi, a i w tym razie dostrzegał wstrząśnienia, gdy nerwy i mięśnie ud żabich wprowadzał w zetknięcie bezpośrednie; ale i ten fakt, uderzający niewątpliwie, zwycięstwa mu nie zjednał, a nawet uwagi należytej nie ściągnął, już bowiem w roku 1795 oznajmił Volta, że przy pomocy kondensatora swego wykazać może bezpośrednio i mierzyć elektryczność, wzbudzoną przez zetknięcie metali, bez wszelkiego udziału mięśni zwierzęcych. I ci tedy, co uporczywie przy elektryczności zwierzęcej obstawali, uznać też musieli i elektryczność metaliczną.

Tryumf swój wreszcie uwieńczył Volta budową stosu. Jak zapewnia w liście, pisanym 20 marca 1800 roku do Józefa Banksa, prezydenta Royal Society, pierwszy swój stos urządził w roku 1799. Stos ten składał się z pewnej liczby krążków srebrnych lub miedzianych, takiejże liczby krążków cynkowych, oraz zwilgoco-

nych krążków papierowych, skórzanych lub sukiennych; przedstawił go Volta na dwu posiedzeniach francuskiego Instytutu narodowego w Paryżu, dnia 7 i 21 listopada 1800 roku. Stos wywierał też same działania, co i ogniwo pojedyncze, sprowadzał wstrząśnienia, wzbudzał wrażenia smaku i światła, wszystko to tylko w daleko wyższej mierze. Spotęgowanie to działań przez zsumowanie ogniów wyjaśnił Volta teorią swego stosu.

Przez zetknięcie dwu metali, posiadających różne przewodnictwo, jak srebro i cynk, zakłóca się równowaga zawartych w nich elektryczności; w miejscu zetknięcia płynie elektryczność dodatnia ze srebra do cynku, nawzajem zaś ujemna gromadzi się na srebrze. Gdybyśmy więc złożyć chcieli ogniwa tylko ze srebra i cynku, bez żadnego pośrednictwa, to każda płyta cynkowa znajdowałaby się w zetknięciu, od góry i od dołu, z dwiema płytami srebrnymi, a działania ich znosiłyby się nawzajem. Swobodnie tedy mogłyby w tym razie działać tylko płyty krańcowe, dolna srebrna i górna cynkowa, pośrednie zaś zachowywałyby się jedynie jako przewodniki elektryczności, a cały stos działałby zaledwie, jak jedno ogniwo, z dwu metali złożone. Aby więc działania sumować się mogły, winna każda płyta cynkowa z jedną tylko płytą srebrną w zetknięciu pozostawać, a to osiąga się przez wtrącenie krążków zwilgoconych, co przerywa zetknięcie metali, nie tamując drogi elektryczności. Dlatego też połączenie przewodników metalowych i ciekłych jest niezbędne, jeżeli budowa stosu uwielokrotnić ma działanie ogniwa pojedynczego.

Jak widzimy, w tłumaczeniu tem niema zgoła mowy o działaniach chemicznych; samo zetknięcie metali było dla Volty jedynym źródłem elektryczności. Budowę stosu zakończył zresztą Volta pamiętną działalność swoją; w dalszem jego udoskonaleniu, w nowych odkryciach, do których stos ten doprowadził, udziału już nie brał. Wynagrodzony wielkim medalem złotym przez Instytut francuski, mianowany przez Napoleona senatorem królestwa włoskiego, syt chwały i sławy, zmarł 5 marca 1827 roku w rodzinnem swem Como. Pokonany jego współzawodnik nie był tak szczęśliwy; gdy w roku 1797 odmówił przysięgi na wierność nowej republiki Cypalińskiej, pozbawiony został katedry profesorskiej, i odzyskał ją dopiero na krótko przed śmiercią, która nastąpiła 4 grudnia 1798 roku. Potomność oceniła go słuszniej i łaskawiej, aniżeli współcześni, gdy poznano, że nie mylił się on zupełnie co do istnienia elektryczności zwierzęcej. Wy-

kazał on ją niewątpliwie, ale, nią wyłącznie zaprzątnięty, nie dostrzegając, że obok niej w starannych jego doświadczeniach istniało inne jeszcze, potężniejsze źródło elektryczności. Jeżeli błędna i niedostateczną jej teorię podał, niechżeż go tłumaczy, że i dotąd jeszcze, w ciągu stulecia, fizyolog nie uporał się z kwestyą elektryczności zwierzęcej.

Stos Volty natomiast otworzył nową dziedzinę odkryć i rozległe pole działalności praktycznej. Nie odrazu wszakże oceniono doniosłość tego wielkiego wynalazku. Gdy Mickiewicz we 22 lata później wznosił na cześć wielkich sił natury toasty, w których przebija się może pamięć pierwotnych jego studyów przyrodniczych, wiwat elektryczności mógł palnąć jeszcze z dawnej butelki lejdejskiej, — chwały jej stos galwaniczny nie zaćmił jeszcze. Wrzawa wojenna, która rozbrzmiewała po całej Europie w początkach stulecia, tłumiała rozgłos badań naukowych. Napoleon a zajął żywo wynalazek stosu, ale uwagę świata ówczesnego on sam wyłącznie ścigał. Dlatego-to może pierwsze swe tryumfy odniósł stos galwaniczny w Anglii, która od wielkiego traktu wydarzeń ówczesnych najbardziej była oddaloną.

II.

Fundamenty galwanizmu.

Moc swoją ujawnił stos galwaniczny najpierw na polu działań chemicznych, które zresztą zdradzały przytoczone już osobliwe wrażenie smaku, powodowane przez płytki metalowe, na języku złożone. Wspomnieliśmy wyżej, że o wynalazku swym zawiadomił Volta Towarzystwo królewskie w Londynie, a według opisu tego lekarz Carlisle i inżynier Nicholson zbudowali bezzwłocznie stos, z siedmnastu ogniw złożony, który nietylko dawał objawy przez Voltę przytoczone, ale rychło i do nowego doprowadził odkrycia. Gdy, mianowicie, Carlisle, by ustalić ściślejse zetknięcie drutu ze stosem, puścił kroplę wody na górną płytę cynkową, dostrzegł, że za każdym zanurzeniem w niej drutu, woda ulega wzburzeniu, a gaz uchodzący wydał mu się wodorem. Urządził więc doświadczenie to dokładniej, wprowadziwszy druty, od biegunów stosu wiodące, do rurki, zatkanej korkami i wypełnionej wodą, a wtedy przekonał się, w kwietniu 1800 roku, że pod

działaniem prądu galwanicznego woda ulega rozkładowi na gazowe swe pierwiastki, przyczem tlen gromadzi się przy biegunie dodatnim stosu, wodór zaś przy ujemnym. W tymże samym roku jeszcze poznano, że i inne ciecze podobnemuż ulegają losowi, a w szczególności roztwory soli rozrywają się pod działaniem prądu na kwasy i zasady; ze szczególnem zwłaszcza powodzeniem prowadził badania te dalej Humphrey Davy, niedawno jeszcze skromny uczeń u aptekarza, a teraz już słynny profesor Chemii w londyńskiej Royal Institution. Wówczas, w epoce poczynającej się dopiero Chemii, pojęcia zasadnicze były jeszcze chwiejne, a ci, co według dawnych wyobrażeń wodę uważali za element niezłożony, obstawali przy tem, że działaniem prądu nie ulega ona bynajmniej rozkładowi, ale że raczej przeobraża się przy jednym biegunie w tlen, a przy drugim w wodór. Davy wykazał dowodnie błędność tego poglądu; jeżeli zaś przy rozkładzie wody występowały i obce ciała, jak kwasy, lub metale, pochodziło to jedynie z zanieczyszczeń, w wodzie przypadkowo zawartych; w dalszym zaś ciągu swych dochodzeń, w roku 1807, gdy użył stosu ze stu ogniw zbudowanego, zdołał rozłożyć potaż i sodę i wydobył utajone w nich, nieznane jeszcze, metale. Domyślano się już wprawdzie poprzednio, że alkalia te nie są pierwiastkami, środki wszakże, jakimi wówczas chemik rozporządzał, były jeszcze tak słabe, że możność rozkładu tych ciał przekazywano odległej zaledwie przyszłości; wiadomość tedy, że zadanie to spełnionem już zostało, przyjęto na lądzie stałym z niedowierzaniem, ale nieufność ta szybko ustąpić musiała, bo już w roku 1808 rozłożył Davy i ziemie alkaliczne, — barytę i wapno.

Prace Davy'ego wykazały potęgę nowego czynnika fizycznego, galwanizmu; stos galwaniczny stał się łącznikiem między Fizyką a Chemią, starą gałąź wiedzy zespolił z latoroślą nową; wzmógł dzielność chemika, fizykowi zalecił nową dziedzinę badań, którą on lekcewał dotąd. Elektryczność i powinowactwo chemiczne nie mogły już istnieć w pojęciach, jako objawy odrębne stanowczo, jako zgoła różne między sobą siły natury, należało im przyznać pewną wspólność. Rozumiał to więc Davy w ten sposób, że przyciągania elektryczne i chemiczne przez jedną powodowane są przyczynę, która wszakże w pierwszym razie działa między masami całemi, w drugim między ich atomami tylko. Pogląd ten, który wyraził Davy w r. 1806, zanim jeszcze rozłożył alkalia, wydał się wówczas dosyć zadawalającym, by zjednać auto-

rowi wielką nagrodę Instytutu francuskiego, ustanowioną przez Napoleona za najlepsze doświadczenia z płynem galwanicznym. Trudniejszą jeszcze do rozstrzygnięcia zagadkę nastęrczała osobliwa wędrówka pierwiastków i w ogólności ciał, wydzielających się pod wpływem rozkładu elektrolitycznego; gdy prąd galwaniczny przez wodę przebiega, tlen i wodór nie wywiązują się na całym jego przebiegu, ale każdy z tych gazów skupia się oddzielnie, u właściwego sobie bieguna, jeden zdala od drugiego. Wydawało to się zgoła niezrozumiałem, a dla ominięcia tego szkopułu, jak widzieliśmy, zaprzeczano zgoła rozkładowi i przyjmowano, że przetwarza się ona ryczałtem u biegunów w tlen i wodór, ale już w roku 1805 zadawalające wyjaśnienie podał Grotthus. Według tłumaczenia tego, cząstki wody pod wpływem prądu galwanicznego układają się, porządkują, obracają i rozrywają tak, że atomy wodoru dążą do pociągającego je bieguna ujemnego, atomy zaś tlenu do dodatniego, ale w biegu tym napotykają się nawzajem, chwytają i łączą znowu w cząsteczki wody; oswobodzić się więc mogą krańcowe tylko atomy całego szeregu cząsteczek, a proces ten wciąż się powtarza, dopóki prąd przebiega. Toż samo dzieje się i z rozkładem innych substancyj; wędrówka części składowych jest pozorna tylko, albo raczej jest to proces wewnętrzny, utajony, którego rezultaty jedynie dostrzedz się dają na krańcach.

Pierwotne pomysły Davy'ego i Grotthusa stały się podstawą dalszych teoryj elektrochemicznych, które się rozwijały i doskonaliły, naginając się do coraz większej obfitości i zawiłości faktów poznawanych. I dziś przyjmujemy, że w cieczy, działaniu prądu elektrycznego poddanej, zachodzi ciągle rozrywanie się i wiązanie cząsteczek, ale nie dokonywa się to skutkiem przyciągania przez bieguny czyli elektrody wywieranego. Cząsteczki soli lub jakiegokolwiek innej zresztą substancji, rozpuszczonej w wodzie, nie czekają dopiero prądu, by się rozszczepić na składowe swe części, czyli, według terminologii powszechnie przyjętej, na swe jony, ale jony te już obficie w roztworach istnieją. Cząsteczki soli rozpuszczonej nie są już w równowadze tak statecznej, w jakiej się znajdowały, dopóki sól ta była stała, skryształizowana; rozproszone w cieczy cząstki te po części rozpadają się i wymieniają między sobą swe jony, które odbiegają wciąż od jednych i wiążą się z innymi, tak, że w każdej chwili jest w roztworze pewna ilość cząsteczek rozszczepionych, a tem samem odpowiedna im ilość jo-

nów swobodnych, ilość zależna od temperatury, od stopnia rozcieńczenia roztworu, od samej natury cząsteczek wreszcie. Beładne ruchy tych jonów, miotających się swobodnie między cząsteczkami, porządkują się natychmiast, skoro prąd elektryczny przez ciecz przebiega; jony przyjmują ładunek elektryczny i przenoszą go po drodze, przez bieg prądu wskazanej, stają się same ruchliwymi przewodnikami elektryczności. Prąd elektryczny nie rozrywa cząsteczek, ale nadaje tylko kierunek rozszczepionym ich składnikom. Dotykając wszakże teorii roztworów, zbyt już wkraczamy w najnowszy okres nauki.

W czasie, gdy galwanizm pierwsze swe działania chemiczne ujawniał, powątpiewano jeszcze, czy jest on tą samą elektrycznością, która się gromadziła na konduktorach maszyn elektrycznych i którą ładowano butelki lejdejskie, nie widziano bowiem iskry, którą przyzwyczajono się uważać za najistotniejszy objaw elektryczności, za cechę jej najwybitniejszą; jak to i teraz często się zdarza, wietrzono w galwanizmie nową siłę natury. Skoro jednak budować zaczęto stopy większe, dające działania potężniejsze, dostrzeżono rychło, że druty metaliczne rozgrzewają się i rozżarzają pod wpływem przebiegającego je prądu, przy rozdzielaniu zaś zetkniętych z sobą drutów ukazała się i iskra, która usunęła wszelkie powątpiewanie o tożsamości elektryczności dawnej i nowej, chociaż iskra galwaniczna rozpała się w odmiennych nieco warunkach, aniżeli iskra maszyny elektrycznej. Ta ostatnia bowiem przeskakuje już z pewnej odległości między konduktorami, ładunkiem elektrycznym opatrzonemi, gdy iskra galwaniczna występuje dopiero przy rozsuwaniu drutów, poprzednio już końcami swemi zetkniętych. Odrywające się wtedy od rozgrzanych drutów cząstki tworzą jakby pomost, po którym prąd galwaniczny z mozołem się przedzieira, a w walce z tym oporem żar ich podsyca i do jasności je rozpała. Zrozumiano więc, że do otrzymywania silnych iskier najlepiej służyć może materiał, którego cząstki łatwo odrywać się mogą, i który przytem posiada w pewnej mierze zdolność przeprowadzania elektryczności. Materiałem takim jest już zwykły węgiel drzewny, a gdy D a v y na końcach drutów, z biegunami stosu połączonych, osadził pręciki węglowe, rozpałił między niemi oślniewające światło elektryczne.

Do rozporządzenia swego posiadał D a v y od roku 1810 stos galwaniczny, z dwu tysięcy ogniw złożony, przez miłośników nauki Instytucji królewskiej w Londynie ofiarowany; powierzchnia

każdej płyty tego stosu wynosiła cztery decymetry kwadratowe. O doświadczeniach ze stosem tak potężnym opowiada Davy w swych „Zasadach Filozofii chemicznej“ (1812): „Bateria ta sprawdza szereg zjawisk świetnych i uderzających. Gdy bryłki węgla drzewnego, o długości cala, w obieg prądu wtrącone, zbliżone były między sobą na odległość $\frac{1}{40}$ cala, występowała jasna iskra i pręty węglowe rozżarzały się w połowie przeszło do białości. Gdy następnie rozsuwano końce węgla, następowało między nimi, wskroś rozgrzanego powietrza, aż do odległości przynajmniej czterech cali, stateczne wyładowanie elektryczne w nadzwyczaj błyszczącym łuku świetlnym, postaci stożkowej, ku górze wygiętym. Każda substancja, do łuku tego wprowadzona, rozżarzała się natychmiast; platyna topniała w nim tak szybko, jak wosk w płomieniu zwykłej świecy; kwarc, szafir, magnezya, wapno, stawały się ciekłymi... Gdy bieguny baterji umieszczone zostały w powietrzu rozrzedzonym, powiększała się odległość, do której wyładowanie miało jeszcze miejsce; gdy rozrzedzenie posunięto tak daleko, że ciśnienie wynosiło tylko $\frac{1}{4}$ cala słupa rtęci, a bieguny rozsunięto do odległości 6 lub 7 cali, wyładowanie następowało nader pięknym, purpurowym prądem światła“.

Uderzające to odkrycie nie wywołało wszakże zajęcia tak żywego, jak to dziś sobie wyobrazić można. Oczy ówczesne nie łaknęły jeszcze widocznie światła tak silnego, jakie dziś jest dla nas konieczne; gaz ledwie co zapłonął po raz pierwszy na moście londyńskim, świeca stearynowa była jeszcze zbytkiem, a nawet i zwykły kominek do lampy nową był jeszcze rzeczą, technika oświetlania sztucznego była w zarodku dopiero; blask olśniewający łuku voltaicznego doniosłości praktycznej nie mógł jeszcze przedstawiać. Same te doświadczenia nadto wymagały stosu potężnego, złożonego z mnóstwa ogniów, a przy skromnych swych środkach fizycy ówczesni kosztów tak znacznych ponosić nie mogli.

Już z tego względu daleko większe zajęcie wzbudziło inne odkrycie, które każdy sprawdzać mógł najprostszymi środkami, starczyło bowiem do tego choćby pojedyncze ogniwo galwaniczne. Powszechne to zajęcie było zresztą zupełnie usprawiedliwionem, nowe bowiem spostrzeżenie okazało się rychło zdobyczą niesłychanej doniosłości, już nietylko dla galwanizmu i dla Fizyki całej, ale nawet, ze względu na wielkie wynalazki, jakich stało się źródłem, zyskało znaczenie epokowe w ogólnych dziejach kultury ludzkiej. Mówimy tu o początkach elektromagnetyzmu.

W roku 1820 profesor Fizyki w Kopenhadze, Jan Chrystyan Oersted, podobno w czasie prelekcji, dostrzegł, że pod wpływem sąsiedniego prądu galwanicznego swobodnie zawieszona igła magnesowa odchyła się z położenia swego południkowego, jakie w warunkach zwykłych zajmuje, obraca się i usiłuje przybrać kierunek prostopadły do linii, po której się prąd posuwa. W doświadczeniu tem prąd galwaniczny ujawnia moc swoją na zewnątrz własnego swego przebiegu i zagnęła do posłuszeństwa obcą sobie potęgę magnetyzmu.

Jakkolwiek niespodzianem wydawało się to odkrycie działań magnetycznych prądu, nie było ono zgoła nieprzygotowanem, śledztwo bowiem historyczne wykryło tu i owdzie wzmianki o podobnych dostrzeżeniach, żadne z nich jednak nie było jasnem i wyraźnem, żadne uwagi baczniejszej ściągnąć nie zdołało. Jak też działo się niegdyś z Galvanim, chciano i chwałę Oersteda przytłumić zarzutem, że odkrycie jego dziełem tylko przypadku było, jednakże Oersted dawno już uderzony był pewną analogią objawów elektrycznych z magnetycznemi; pomysły swe w tym względzie wypowiedział w rozprawie przed kilkunastu już laty ogłoszonej, a łączność przeczuwaną usilnie się starał uchwycić. Przypadek służy zawsze tym tylko, co go przygotować umieją.

Rozgłos odkrycia Oersteda szybko się rozbiegł. Odchyłaniu igły magnesowej przyglądali się fizycy ze zdumieniem, z niedowierzaniem nieledwie, niejeden z niechęcią zapewne, fakt bowiem nowy szcerbił wyłom w poglądach ustalonych na istotę sił natury. Co innego przecież był magnetyzm, a co innego elektryczność; jakżeż różne te fluidy, odrębne płyny nieważkie wzajem potracać się mogły, oddziaływać jeden na drugi? Hypotezy, tak dobrze w umysłach fizyków ugruntowane, chwiać się zaczynały, przeobrażenie zagrażało Fizyce całej; magnetyzm ulega elektryczności, traci swą niezależność, schodzi z pola jako potęga samodzielna, a zagłada jednego wstrząsa całym gmachem hypotetycznym, z nieważników zbudowanym. Taką podniętą do dalszych badań sprowadza niewątpliwie odkrycie Oersteda, co mu nadaje znaczenie drogowskazu na rozstajnych drogach Fizyki; zanim jednak nieważniki ustąpiły doszczętnie, trzeba było przedewszystkiem załatwić się z tym pierwszym, który się zachwiał. Rzeczywiście też otrzymał on odprawę bardzo rychło, genialnemi badaniami Ampère'a pokonany.

Andrzej Marya Ampère, mąż rozległej i wszechstron-

nej wiedzy, który we wczesnej już młodości przeczytał starannie wszystkie dwadzieścia tomów wielkiej Encyklopedyi d'Alémber-ta i Diderota, potem studyował Botanikę, poetów łacińskich, Chemię, był wtedy profesorem Matematyki w Szkole politechnicznej w Paryżu. Umysłowi tak żywemu dało odkrycie Oersted a nową podnieję; przedmiot ten pochłaniał go wprawdzie przez siedm lat za ledwie, ale krótki ten przeciąg czasu starczył Ampère'owi, by Fizykę obdarzył nowym i wykończonym działem Elektrodynamiki.

Pierwszym obserwowanym okazywała się igła magnesowa w ruchach swoich zamęt, zależnie bowiem od położenia swego względem prądu odchyłała się już to w jedną, już w drugą stronę, ale wzajemnej łączności tych ruchów ująć nie umiano. Bezład ten usunął dopiero Ampère, skoro przeniósł się myślą w obieg samego prądu; ze stanowiska tego zбочenia igły okazały się zupełnie prawidłowe, i już w kilka miesięcy po odkryciu Oersted a ogłosił Ampère słynną swą regułę, która odtąd fizykom tak dobrze służy. Zrozumiał też Ampère, albo przeczuł raczej, że wpływ prądu na igłę magnesową nie może być faktem odosobnionym i wyrwanym; skoro dwa zwykłe ładunki elektryczne przyciągają się lub odpychają, czyż-by i elektryczność płynąca podobnych działań dynamicznych ujawniać nie mogła? Rychło też, zaiste, pomysł ten dojrzał, bo już we wrześniu tegoż samego, pamiętnego w Fizyce roku 1820, mógł Ampère obwieścić, że jednokierunkowe prądy galwaniczne przyciągają się nawzajem, odpychają się zaś, jeżeli biegną w strony przeciwne. Te druty, rozmaicie pogięte, i podstawy, na których je zawieszał, by ruchy swobodne prądom przebiegającym zapewnić, pozostaną na zawsze ozdobą gabinetów fizycznych. Szczególniej wszakże uderzającym było zachowanie się drutów szrubowo skręconych; takie szruby elektro-dynamiczne czyli solenoidy, jak je Ampère nazwał, ujawniają najzupełniejsze podobieństwo do magnesów, są to magnesy istotne; tak samo podległe są wpływowi Ziemi i układają się swoją w kierunku południkowym, tak samo posiadają dwa bieguny, któremi się przyciągają lub odpychają, któremi tak samo też działają na bieguny magnesów zwykłych. Czyż więc potrzeba odwoływać się jeszcze do odrębnych płynów magnetycznych, skoro wszelkie własności magnesów wysnuć się dają z prądów, dokoła ich cząstek równoległe między sobą krążących; czyż dla wyjaśnienia magnetyzmu ziemskiego trzeba jeszcze mieścić wzdłuż osi ziemskiej jakiś potężny ma-

gnes stalowy, gdy wszelki jego objaw odtworzyć mogą prądy, obiegające Ziemię w kierunku równikowym, a których powstawanie łatwiej przecież zrozumieć się daje. Jak w obronie potęgi padającej, stronnicy ustalonego w Fizyce ładu nie skąpili wysiłków, by ocalić istnienie samodzielne płynów magnetycznych, przewidując, że usunięcie tych jednych nieważników zagraża przewrotem i w innych działach Fizyki; ale pomysły, jakie podawali dla wyjaśnienia faktów nowopoznanych, okazały się niedostatecznymi, a teoria *Ampère'a* wszelkie następczące się trudności prędko przemogła. Dalsze jednak wnioski, jakie z nowych swych doświadczeń wyprowadzał, napotkały silniejszą niechęć fizyków, a to może powstrzymało go na otwierającej się przed nim drodze do odkryć donioślejszych jeszcze. Odtąd zajął się *Ampère* już tylko opracowaniem matematycznym zasad Elektrodynamiki, które, wraz z dochodzeniem jego doświadczalnem, daje tak wytworny i pełny wóz badania fizycznego, że zjednało mu to nazwę *Newtona* elektryczności.

Obok *Ampère'a* zajmuje też miejsce w dziejach elektryczności i kolega jego z Akademii nauk, *Franciszek Arago*, który wiedzę nie tylko posuwać, ale i szerzyć umiał, a zarazem i w politycznej swego kraju historii nazwisko swe upamiętnił. Nowe odkrycia tak usilne znajdowały z jego strony poparcie, że nazwano go wielkim mistrzem wynalazków, a w rozwoju ich zawsze żywy brał udział. Ledwie o odkryciu *Oersteda* usłyszał i pierwsze jego doświadczenia powtórzył, dostrzegł, że opiłki żelazne przez drut, po którym prąd galwaniczny płynie, przyciągane są jakby przez magnes, uczepiają się dokoła niego i pod wpływem prądu widocznie same się magnesami stają. W istocie rzeczy przeto już w spostrzeżeniu tem mieści się odkrycie elektromagnesów czyli magnesów przewodnich, chwilowych, które wraz z przebiegiem prądu własności magnetyczne przybierają, i tracą je natychmiast za jego przerwaniem. Sześć lat wszakże jeszcze upłynęło, zanim zbudowano elektromagnes istotny, to jest pręt albo podkowę żelazną, otoczoną skrętami spiralnemi drutu, jedwabiem oprzędzonego. Elektromagnes przedstawiał wprawdzie spotęgowanie tylko selenoidu *Ampère'a*, ale w nowej tej formie wywołał zdumienie, usprawiedliwione zupełnie. „Graniczy to z czarodziejstwem,— pisze jeden z fizyków ówczesnych — gdy, stykając druty obwodu galwanicznego, widzimy, jak w tejże chwili zostaje przyciągnięta kotwica żelazna wagi ośmiu lub więcej funtów, w znacznem od-

daleniu umieszczona, i jak odpada natychmiast, skoro obwód przerywamy⁴. Wynalazek ten rozpościerał moc człowieka na obszary nieprzejrzone, z odległości setek i tysięcy mil mógł on oddać ruchami bryły żelaznej dowolnie rozporządzać; rozbudziły się nadzieje wielkie, którym też przyszłość niedaleka urzeczywistnienie dała.

Głośnem też było inne jeszcze odkrycie A r a g a. Igła magnesowa, z normalnego swego położenia wyprowadzona, waha się przez czas pewien, kołysze w jedną i drugą stronę, zanim się znowu do równowagi ułoży. Otóż A r a g o dostrzegł w roku 1824, że ruchy igły hamują się i uspokajają prędej, gdy poniżej niej umieszcza się krąg lub pierścień miedziany; jeżeli zaś płyta miedziana, znajdująca się pod igłą uspokojoną, wprawioną zostaje w obrót, porywa z sobą igłę, odchyła ją, a nawet do zgodnego ze swym własnym ruchu wirowego ją zagnęła. Takiż sam wszakże wpływ na igłę wywierał-by i magnes pod nią umieszczony, skąd wniósł A r a g o, że i w wirującej płycie metalowej, pod wpływem sąsiedniej igły magnesowej, wzbudza się pewien szczególny rodzaj magnetyzmu — magnetyzm obrotowy. Tłómaczenie to polegało na błędnem wyobrażeniu wielu fizyków ówczesnych, że w każdym przewodniku metalicznym tkwi już pewien zaród magnetyzmu obojętnego, który w odpowiednich warunkach do działalności ożywiony być może; nie magnetyzm wszakże płyty miedzianej tu działał, ale wzbudzone w nim prądy elektryczne, i uprzedzenie tylko, tak zawsze w dochodzeniu prawdy niebezpieczne, nie dozwoliło ich dojrzeć badaczowi. Jak tedy niedawno A m p è r e, tak teraz A r a g o zatrzymał się u wrót już uchylonych, a chwała odkryć dalszych po raz drugi wymknęła się francuzom. Uchylone te wrota na oścież roztworzył dopiero w następnym dziesięcioleciu Michał F a r a d a y.

Syn biednego kowala, w młodości terminator u introligatora, z Encyklopedy brytańskiej i z kilku innych książek, które mu przypadkowo w ręce wpadły, nauczył się F a r a d a y Chemii i Fizyki, a powtarzając opisane tam doświadczenia skromnymi środkami, nabrał w nich biegłości tak znacznej, że D a v y dał mu miejsce w pracowni Instytucyi królewskiej. Tam zdumiewający ten człowiek, z pośród samouków najgenialniejszy, a z eksperymentatorów największy, rozwinął swą działalność, tak w dziejach nauki pamiętną, coraz rozleglejszą, coraz potężniejszą. Rozpoczął od prac chemicznych: skropleniem chloru i kilku innych gazów

stanął na pograniczu Chemii i Fizyce wspólnem, a potem je przekroczył i głównie w tej ostatniej już przebywał dziedzinie, usilność swą zwracając zwłaszcza do rozszerzenia i udoskonalenia wiedzy naszej o elektryczności. W ciągu dwu z górą dziesięcioleci wszelkie na tem polu postępy związane są z nazwiskiem Faradaya. W starym organie Towarzystwa królewskiego „Philosophical Transactions“ ogłosił od 1831 do 1855 roku 30 seryj swych badań: „Experimental researches in electricity“, obejmujących 3000 przeszło paragrafów, — rozprawy, faktami a nie słowami pisane. Pierwsza już seryja tych poszukiwań zawiera odkrycie indukcji galwanicznej.

Ładunek elektryczny, na jakimkolwiek przewodniku nagromadzony, przez wpływ swój wywołuje elektryczność na przewodniku sąsiednim; skoro zaś tożsamość elektryczności galwanicznej i statycznej jest już niewątpliwie stwierdzona, dczegóż-by nie miał podobnie zachowywać się i prąd galwaniczny, dczegóż-by i on nie miał działać przez wpływ swój na drut sąsiedni i w nim prądy rozbudzać? Tak sądził Faraday i, myślą tą powodowany, do nowych przystąpił doświadczeń. Dwa długie druty miedziane, oprzodem jedwabnym otoczone a tem samem między sobą izolowane, nawinął, jeden obok drugiego, na walcu drewnianym, i końce jednego z nich połączył ze stosem o dziesięciu ogniach, końce zaś drugiego z galwanometrem. Napróżno jednak oczekiwał Faraday ruchu igły magnesowej tego galwanometru; chociaż prąd przebiegał skrety drutu pierwszego, w drugim nie zjawiał się zgoła prąd żaden, który-by istnienie swe zdradził natychmiast odchyleniem igły. Napróżno też wzmagął Faraday natężenie prądu i liczbę ogni w aż do 120 powiększył,—w drucie obocznym ani śladu nie było elektryczności pobudzonej. Wytrwałość wszakże tylko do celu prowadzi, a przy dalszych doświadczeniach ukazał się wreszcie oczekiwany prąd wzbudzony, indukcyjny. Nie występuje on wszakże w ciągu całego przepływu prądu pierwotnego, głównego, ale tylko w chwili jego przerywania i zamykania, „podobny raczej do fali elektrycznej, wrywającej się z butelki lejdejskiej, aniżeli do istotnego prądu stosu Volty. Krótkotrwałe te prądy przebiegają naprzemian w jedną i drugą stronę, występują zaś nie tylko przy przerywaniu i zamykaniu prądu pobudzającego, ale także przy przesuwaniu drutów, przy zbliżaniu i oddalaniu wzajemnem obu zwojów. Według zaś teoryi Ampère'a, sprowadzającej objawy magnetyczne do działania prądu, można było wnosić,

że obok powyższej „elektroindukcyi“, czyli „woltaindukcyi“, istnieć też winna i „magnetaindukcyja“, że i magnes też posiadać musi zdolność pobudzania prądów elektrycznych. Rychło też mógł Farada y sprawdzić istotnie, że w zwoju drutu, jak przez zbliżanie i oddalanie prądu, tak też przez podobne ruchy magnesu wywołane być mogą prądy indukcyjne, które też powstają nawet pod wpływem magnetyzmu ziemskiego, przy każdej zmianie w położeniu zwoju indukcyjnego; w objawach tych zyskały również wyjaśnienie i zagadkowe objawy magnetyzmu obrotowego Araga.

Nowe te odkrycia zespoliły ściślej magnetyzm z elektrycznością, a teorii Ampère'a dalsze dały poparcie. Ponieważ zaś prądy indukcyjne zjawiają się jedynie w następstwie pewnego ruchu, dawały tem samem dowód ściślej łączności objawów elektrycznych z pracą mechaniczną, a dalej otwierały widok na horyzonty szersze, na których wybijały się wzajemne związki wszelkich czynników przyrody, zdolność przeobrażania jednych w drugie i ich równoważność. Pomimo chwilowej tylko swej trwałości i przemiennej wciąż kierunku, posiadają prądy indukcyjne wszelkie własności prądów statecznych, a dając się odwracać i sumować, okazują się do tychże samych robót zdadne. Doniosłe ich znaczenie fizycy odrazu ocenili i z powszechnym powitali je zachwytem.

III.

Rozwój dalszy.

Odkryciem indukcyi wykończone zostały ostatecznie fundamenty galwanizmu, których budowa zajęła okres trzydziestoletni; dały one podstawę, na której rozwinęły się wszystkie działy nowej gałęzi Fizyki; złożyły ramy, w których pomieścić się mogły wszystkie, dalej poznawane fakty, szczegóły, spostrzeżenia. Sama wszakże obfitość tych faktów nie dozwala dalej prowadzić opowiadania historycznego i zmusza do nakreślenia kilku ledwie rysów wybitnych, wydobywających się z tła bogatego.

Po badaniach Davy'ego, dalszy rozwój Elektrochemii wypłynął z pracowni Faradaya, skoro on ująć zdołał ściśle prawa, którym działania elektrolityczne ulegają; głośniejsz jednakże brzmiała wówczas walka między dwiema spornymi teoryami o samo źródło

dło prądu galwanicznego, między teorią zetknięcia a teorią chemiczną. Na objawy chemiczne, w obrębie stosu zachodzące, Volta uwagi zgoła nie zwracał; za jedyne źródło elektryczności uważał on zetknięcie metali; ciecze, w skład stosu wchodzące, miały dla niego znaczenie biernych tylko przewodników. Rychło jednak poznano, że ciecze te bynajmniej nie zachowują się obojętnie, ale następują zawsze metale i sprowadzają ich przeobrażenia chemiczne, a to wzbudziło domysł, że w tych procesach właśnie poszukiwać należy istotnego źródła elektryczności. Ledwie też przebrzmiała walka między Galwanim a Voltą, rozwinął się spór nowy, bardziej długotrwały i bardziej zacięty, do rozstrzygnięcia doświadczalnego trudny, a stąd przechodzący często w szermierkę gołosłowną tylko; zanim zaś ukończył się rzeczywiście, zaginął w rozwijającym się pojęciu zachowania energii. Wciąż tryskającym źródłem prądu elektrycznego samo zetknięcie być nie może, bez nakładu bowiem, bez ubytku równoważnego dawało-by energię, dostarczało możności pracy. Jeżeli więc nawet zetknięcie metali sprowadza pierwszą podniecię do różnicy w napięciu elektrycznym, to tem też rozbudza zarazem działalność chemiczną stosu, a z nią dopiero wiąże się siła elektrowzbudzająca, która się wyczerpuje, gdy procesy chemiczne zamierają; energię prądu elektrycznego zyskuje się kosztem przeobrażeń chemicznych, w stosie zachodzących. Według poglądu tego teorię stosu galwanicznego opracował dopiero Helmholtz.

Chociaż nie pozostawił dobrej po sobie pamięci, spór o źródło prądu galwanicznego nie był zupełnie bezpłodnym, gdyż zmusił do najdokładniejszego rozpoznania dokonywających się w stosie rozkładów i składów chemicznych; skoro zaś zrozumiano przyczynę, dla której działalność pierwotnego stosu Volty szybko słabnie i wyczerpuje się zupełnie, osiągnięto też środki pokonania tych wpływów szkodliwych, a pierwsze stopy stateczne, o działaniu niesłabnącem, powstały w ciągu 1836—1840 roku. Słabnięcie działania stosu stąd właściwie pochodzi, że na płytach metalowych stosu gromadzą się substancje, z rozkładu pochodzące, a dążąc do ponownego połączenia, wytwarzają prąd, pierwotnemu wręcz przeciwny i przeciwdziałający. Tak „spolaryzowane“ zatem płyty przygotowane są już do wywiązywania prądu nowego, posiadają ładunek kosztem prądu pierwotnego nagromadzony, i dają się złożyć w stos wtórny, polaryzacyjny, inaczej akumulatorem zwany. Pierwszy stos tego rodzaju zbudował już w roku 1803 Ritter,

w ostatnich wszakże dopiero czasach zyskały akumulatory znaczenie praktyczne, dając dogodną w wielu razach łatwość przechowywania ładunku elektrycznego i zużytkowania go dowolnego w razie potrzeby. Stały się one rywalami stosów właściwych, które zresztą monopol swój, jako dostarczycieli prądu, utraciły też skutkiem rozwoju przyrządów elektro-indukcyjnych.

Elektromagnesy, które z początku zaciekawiały fizyków jedynie potęgą swoją, w rękach Faradaya powiodły z kolei do dalszych odkryć niespodzianych, gdy okazało się, że magnetyzm nie jest wyłączną właściwością żelaza, ale że magnesom, dostatecznie silnym, ulegają wszystkie w ogólności ciała, nie tylko stałe, ale i lotne nawet. Jedne z nich, które Faraday nazwał paramagnetycznymi, zachowują się jak żelazo i są przez magnes przyciągane, gdy inne natomiast, dyamagnetyczne, doznają od biegunów magnetycznych odpychania, ale sprzeczność ta w teorii Faradaya wyjaśnia się wpływem powietrza otaczającego, które samo jest magnetycznym. W związku z powyższymi badaniami pozostaje niemniej zdumiewające odkrycie Faradaya, że siły magnetyczne i na światło wpływ wywierają; magnesowanie światła, jak objaw ten nazwał Faraday, ujawnia się mianowicie pewną zmianą w przebiegu przez środki przezroczyste spolaryzowanego promienia światła. W uderzającym tem zjawisku widział Faraday wpływ bezpośredni sił magnetycznych na eter, na ową substancję hypotetyczną, której drgania rozprawdzają światło; inni natomiast fizycy sądzili, że wpływ ten na światło wywiera się raczej za pośrednictwem cząstek ciała przezroczystego, przez które promień przebiega.

Fizycy bowiem, którzy nie szczędzili uznania i uwielbienia wielkiemu badaczowi, teoretycznych, filozoficznych jego poglądów nie dzielili wcale. Wielki samouk, któremu na studia matematyczne czasu nie starczyło, myśli swych, duchem matematycznym głęboko przejętych, w formę matematyczną nie przybierał, nie mógł też być łatwo przez współczesnych zrozumianym. Wszystkie jego prace, wszystkie dochodzenia doświadczalne wiązały się z samodzielnem i oryginalnem pojęciem siły, różnem od wyobrażeń, w nauce panujących. Żadna siła w pojęciu Faradaya działać nie może bezpośrednio na odległość, wszystkie zaś siły przyrody ulegać mogą przeobrażeniom wzajemnym, i w istocie rzeczy są to tylko odmienne formy jednej, jedynej siły. Siła nie skupia się w jednym punkcie, z którego się jej działanie rozbiega; jest

ona raczej osią, albo linią siły, która istnieje wszędzie, gdzie się działanie siły wywiera. Trzeba było kilku dziesięcioleci, by pomyśleli Faradaya za pośrednictwem Thomsona, Tynalla, Maxwella zwłaszcza, mogły się do nauki przedrzeć i w niej ustalić.

Uwagę ogółu zaprzętał elektromagnes z tego głównie względu, że wydawało się rzeczą możebną potęgę jego, jak prężność pary, do poruszania machin zastosować. W samej rzeczy, skoro przez przepuszczanie i przerywanie prądu można w kotwicy żelaznej magnetyzm wzbudzać i usuwać, a przez samą zmianę kierunku prądu położenie biegunów przemieszczać, można tem wywoływać przyciąganie i odpychanie sąsiednich magnesów statecznych i w ciągłym je ruchu utrzymywać. Pierwszy taki motor elektromagnetyczny, czyli krócej elektromotor, zbudował Salwator dal Negro w roku 1830, a w roku 1838 podziw powszechny wzbudził Jacobi łodzią na Newie, utrzymywaną w biegu podobną machiną; do zasilania magnesów służył stos, złożony z 320 ogniw Volty, rozstawionych wzdłuż ścian statku, na którym pozostawało miejsce dla dwunastu osób. Wprowadzono następnie do konstrukcyi elektromotorów liczne zmiany i ulepszenia; zapał wszakże, z jakimi je początkowo witano, ustąpił rychło, skoro zrozumiano, że praca ich, utrzymywana działaniem stosów galwanicznych, opłaca się znacznie drożej, aniżeli obsługa dogodniejszych motorów parowych. Do pracy mechanicznej dał się prąd galwaniczny nagiąć dopiero za pośrednictwem machin, na zasadach indukcyi polegających.

Przez odkrycie indukcyi nastęczyło się wszakże przedewszystkiem zadanie odwrotne, — wytwarzanie prądów galwanicznych nakładem pracy mechanicznej za pośrednictwem magnesów, bez wszelkiego udziału stosów. W zwoju drutu wirującym w pobliżu bieguna magnesu, tak, że naprzemian doń się zbliża i od niego usuwa, rozbudzają się wciąż, jak w pierwotnem doświadczeniu Faradaya, prądy chwilowe, krótkotrwałe wprawdzie, ale bezustannie jedno za drugimi następujące; w urządzeniu tem więc mamy już zaród maszyny magnetoindukcyjnej, albo magnetoelektrycznej; wytwarzającej prądy kosztem pracy, na obrót zwoju łozonej. Chwilowe te prądy przebiegają wprawdzie naprzemian w jedną i drugą stronę, przy pomocy wszakże odpowiednio wtrąconego kommutatora nadać im można kierunek jednaki, tak, że sumują się w prąd ciągły, działający jak prąd stateczny, przez

stosy galwaniczne wytwarzany. Takie maszyny magnetoelektryczne otrzymały różną bardzo, często zawiłą konstrukcję, a że napięcie dostarczanych przez nie prądów zawiśło od potęgi pobudzających, indukujących magnesów, trzeba je było uzbroić w liczne i silne magnesy, wprawiane w obrót działaniem motorów parowych. Maszyny takie dawały rzeczywiście prądy dostatecznie silne do wytwarzania światła elektrycznego w latarniach morskich, zbyt wszakże wiele jeszcze miały niedogodności, zbyt były kosztowne, by w tej formie rozleglejsze zyskać mogły zastosowanie.

Obok tych maszyn magnetoelektrycznych dla innych celów okazały się użyteczne maszyny elektroindukcyjne, w których prądy indukcyjne wzbudzają się nie przez magnesy, ale przez prądy elektryczne stosów galwanicznych. Zmiana prądów już gotowych na prądy inne wydawać się może rzeczą zbyteczną, ale te nowe, pobudzone prądy wyróżniają się pewnymi cechami. Stan elektryczny danego ciała, mianowicie, zależy nietylko od ilości rozłożonej na niem elektryczności, ale także od sposobu jej rozmieszczenia, od jej skupienia i wynikającego stąd napięcia. Tak daną ilość wody rozprzewodzić możemy bystrym strumieniem przez wązkie koryto, albo też skupić ją w zbiorniku, gdzie na dno, na ściany, znaczne wywierac będzie ciśnienie. Po drucie, bieguny stosu galwanicznego łączącym, przepływa znaczna ilość elektryczności, ale prąd ten, choć znacznej siły, napięcie posiada słabe; na konduktorze natomiast maszyny elektrycznej, na gałce butelki lejdejskiej, niewielka ilość elektryczności, w silnem skupieniu zagęszczona, posiada napięcie wielkie, zdradzające się nagłym przeskokiem iskry trzaskającej. Przyrządy elektroindukcyjne są to „transformatory“, które prąd znacznej siły stosu galwanicznego przetwarzają w prądy indukcyjne znacznego napięcia; dzieje się to w ten sposób, że prąd główny, pierwotny, przebiega po nielicznych zwojach drutu grubego, prądy zaś wtórne, indukcyjne, wzbudzają się w obiegu, złożonym z nader licznych skrętów drutu cienkiego. W ten sposób otrzymane prądy indukcyjne okazują objawy podobne, jak wyładowanie butelki lejdejskiej, ale w znacznem spotęgowaniu. W wielkim przyrządzie R u h m k o r f f a, którego zwój indukcyjny utworzony jest ze 100 000 metrów drutu, na $\frac{1}{3}$ milimetra zaledwie grubego, iskry, między końcami tego zwoju przeskakujące, dochodzą długości prawie połowy metra. Szczególniej zaś zasłynęły przyrządy elektroindukcyjne, gdy użyto ich do badań nad przebiegiem wyładowania elektrycznego przez przestrzeń,

gazami rozrzedzonymi zajętą. W miejsce nagłej iskry występują wtedy wspańiałe objawy światła uwarstwowanego, które znów ulegają przeobrażeniu zupełnemu, w miarę, jak wzrasta się stopień rozrzedzenia. Z katodu, czyli z bieguna ujemnego, wydzierają się „promienie katodalne“, same niewidzialne, ale do żywej fosforescencji pobudzające ściany w miejscach, które uderzają. Promienie te za „materję promienistą“ przez Crookesa uważane, dotąd zagadkowe, w pewnych warunkach dają początek osobliwszym jeszcze „promieniom Röntgena“, które zarówno zdumiewającymi własnościami, jak i szczególnymi zastosowaniami, tak silnie w latach ostatnich uwagę ogółu przykuły. Promienie Röntgena nie zjawiły się nagle, ale są następstwem stopniowo rozwijającego się szeregu odkryć poprzednich. Dzieje nauki tworzą genealogię faktów.

IV.

Udział rachunku.

Gdy nowa dziedzina zjawisk przed wzrokiem naszym się odsłania i dostępną staje, samo rozpatrywanie obszaru, dotąd nieznanego, zadawała nas i uwagę całkowicie pochłania; pierwotny ten wszakże zachwyty rychło się wyczerpuje i coraz bardziej ustępuje miejsca badaniu ilościowemu: nauka nie poprzestaje na odkrywaniu zjawisk, dotąd utajonych, ale dąży do ujęcia liczebnego zachodzących między nimi związków. Przy pierwszych już doświadczeniach galwanicznych dostrzegali fizycy, że działalność stosu galwanicznego zmienia się wraz z liczbą, wielkością i uporządkowaniem ogniw, a prócz tego zależy od wymiarów drutu, łączącego bieguny, na zawiłość tę wszakże uwagi istotnej nie zwracali; rozjaśnił je dopiero w roku 1827 Ohm przez rozważania matematyczne, oparte na analogii prądu galwanicznego do istotnego strumienia, do przebiegu wody płynącej. Analogia bowiem daje pomoc niezbędną przy każdym badaniu, przy każdym dochodzeniu teoretycznym; od rzeczy znanych i dostępnych przenosi myśl badacza do pojęć dalszych i bardziej nam obcych, ona pierwsza uchyla wrota, szczelnie jeszcze przywarte. Przepływ więc wody przez rurę, łączącą dwa naczynia, w których się ona na niejednakim znajduje poziomie, nastęrczył uzmysłowiony obraz prądu elektrycznego. Bieg wody tem jest bystrzejszy, tem więcej przepływa

jej przez rurę, im znaczniejsza jest różnica obu poziomów, ale zarazem też obfitość przepływu zawisła i od swobody, z jaką się woda przez rurę przeciskać może, od średnicy rury zatem, jako też i od stopnia jej wygładzenia, od tego, czy chropowatości jej, szorstkości, mniejszy czy też większy opór ruchowi wody stawiają. W uzmysłowieniu tem różnica obu poziomów wody daje obraz różnicy elektrycznej biegunów, różnicy ich poziomów elektrycznych, albo według wyrażenia ściślej matematycznego, różnicy ich potencjałów; różnica ta jest więc źródłem prądu galwanicznego, stanowi siłę elektrowzbudzącą. Bystrości zaś strumienia wody odpowiada natężenie prądu galwanicznego, które się tedy mierzy ilością elektryczności w danym czasie przepływającej, a prąd jest tem silniejszy, im większa jest różnica poziomów elektrycznych, im jest większa siła elektrowzbudząca danego stosu lub jakiegokolwiek innego źródła elektryczności. Podobnie też, jak ilość przepływającej wody od wymiarów i natury rury zależy, i prąd elektryczny będzie tem słabszy, im większy opór w drucie napotyka, im drut ten jest cieńszy i dłuższy, im gorsze jest przewodnictwo materiału, z którego jest wyrobiony. Ostatecznie tedy natężenie prądu jest tem większe, im większa jest siła elektrowzbudząca, tem mniejsze zaś, im większy jest opór, zarówno zewnętrzny, jak i wewnętrzny, który prąd w obrębie samego ogniwa napotyka, a według takiego uzasadnienia daje się natężenie prądu wyrazić przez ułamek, znany pod nazwą prawa $O h m a^1$).

Gdzie więc dotąd ślepo błędził fizyk, przez mozolne i jałowe często próby dochodząc, jak ma doświadczenie swe urządzić, by cel zamierzony osiągnął, tam prawo $O h m a$ dawało mu z góry wskazówki nieomyślne. Zależnie od tego, jaki się opór zewnętrzny nastrecza, czy mamy światło elektryczne rozpalić, czy też rozkład chemiczny wywołać, prawo $O h m a$ uczy, jakiego w każdym razie użyć należy źródła elektrycznego, jak niem rozporządzić; wskazuje też, jak prąd elektryczny rozprowadzać, dzielić, jak z niego wydobywać odgałęzienia boczne, z których każde ma daną pracę wykonać. W czasie wszakże, gdy $O h m$ zasadę swą ogłosił, nie były to jeszcze sprawy pilne, zadania te praktycznego nie miały jeszcze znaczenia, a zasługa $O h m a$ po kilkunastu dopiero latach ocenioną została.

¹⁾ Patrz Szkic VI: O rozwoju sztuki mierzenia; str. 189.

Prawo Ohma stało się też podstawą, na której oparto układ miar, albo raczej mierniczych jednostek elektrycznych. W ocenie wielkości elektrycznych zachodziła długo dowolność i różnaitość, przypominająca zamęt, jaki panował, gdy w różnych krajach posługiwano się rozmaitemi łokciami i funtami, aż wreszcie kongres elektryczny 1881 roku w Paryżu uchwalił miary jednolite, które powszechnie przyjęte zostały. Na cześć wielkich mężów, którzy budowali fundamenty wielkiego gmachu wiedzy elektrycznej, jednostki te, służące do oceny ilości elektryczności, natężenia prądu, oporu, siły elektrowzbudzającej, pojemności elektrycznej, otrzymały nazwy: kulomb, amper, om, wolt, farad. Wyrazy te już teraz często rozlegają się dokoła nas, a w miarę, jak prąd galwaniczny przedzierać się coraz bardziej będzie do stosunków życia zwyczajnego, wypadnie się z niemi oswoić, jak z łokciem lub funtem.

Praktyczne te jednostki elektryczne wiążą się zresztą ściśle z łokciem i funtem, albo raczej z centymetrem i gramem, do czego też dodać należy i sekundę jeszcze. Przebiegając bowiem myślą cały obszar zjawisk fizycznych, rozpatrując wszelkie wielkości, jakie się nam przy badaniach tych nastroczają, poznajemy łatwo, że wszelkie oceny sprowadzają się jedynie do pomiaru długości, masy i czasu. Z temi trzema tylko wielkościami mamy do czynienia, czy to mierzymy siły mechaniczne, czy ilości ciepła, czy też objawy energii elektrycznej i chemicznej. W pomiarach naukowych przyjęto za jednostkę długości centymetr, za jednostkę masy gram, za jednostkę czasu sekundę, a na podstawie tej oparty układ miar bezwzględny, oznaczony krótko głoskami cgs, dozwala wyrażać liczebnie wszystkie objawy i działania, jakie nam cały obszar Fizyki i związanych z nią gałęzi wiedzy przedstawia. Nie pochodzi on zresztą z czasów najnowszych dopiero, już bowiem Gauss przy swych pomiarach magnetycznych wprowadził układ miar absolutnych, a następnie Wilhelm Weber zastosował go do pomiarów elektrycznych, utrwalił się wszakże i rozpowszechnił w ciągu ostatnich dwu dziesięcioleci. Przy takim wspólnym układzie miar wybija się wyraźnie łączność różnorodnych na pozór objawów fizycznych, odsłaniają się analogie, torujące drogę do dalszych badań, nauka i technika porozumiewają się dokładniej ¹⁾.

¹⁾ Porównaj Szkic VI: O rozwoju sztuki mierzenia, str. 192.

V.

Elektrotechnika.

Nauka i technika w bizkiem między sobą pozostają pokrewieństwie, nigdzie jednak tak ścisły nie zadzierzgnął się między niemi węzeł, jak na polu zastosowań elektrycznych; tu niepodobna zgoła oznaczyć granicy, gdzie się kończy jedna, a zaczyna druga, tak się bowiem splatają szczelnie, że obu dziedzin rozdzielić niepodobna. Nazwa Elektrotechniki powstała wprawdzie dopiero podczas pierwszej wystawy elektrycznej 1881 roku w Paryżu, połączonej z kongresem elektryków, początki jej wszakże zrodziły się wraz z galwanizmem. Dopóki znano tylko elektryczność statyczną i umiano gromadzić ją w silnem skupieniu, by ją naraz wyładować, postępowano tak, jakby na przebiegu rzeki stawiano tamę wyniosłą i usuwano ją po spiętrzeniu wody do znacznej wysokości. Zniszczenie raczej, aniżeli dobrodziejstwa, szerzyć mógł spadek fali tak olbrzymiej. Przy statecznym i spokojnym natomiast przepływie strumień wody obraca młyny, pędzi statki, do pracy nagiąć się daje. Podobnie ciągły przepływ elektryczności daje nam prąd galwaniczny i stąd podatnym się staje do tych prac potężnych i nieprzeliczonych, których dziś świadkami jesteśmy. Taką pożyteczność prądu galwanicznego oceniono rychło, a dwa działy Elektrotechniki nawet już przed schyłkiem pierwszej połowy stulecia osiągnęły stopień pełnej dojrzałości. Mówimy tu o galwanoplastyce i telegrafii.

Początek galwanoplastyce dały spostrzeżenia Daniella i De la Rive'a, że miedź, wydzielająca się z roztworu swej soli działaniem prądu galwanicznego i osiadająca na elektrodzie ujemnym, daje się od elektrodu tego w zbitej masie oddzielić i tworzy wierny jego odcisk. Odkrycie to szybko zyskało zastosowanie praktyczne, już bowiem w roku 1837 wskazał Jacobi, że drogą tą otrzymywać można dokładne kopie metalowe jakichkolwiek form, na biegunie ujemnym stosu osadzonych; niezależnie też od niego, w tymże roku podobny pomysł powziął i inny jeszcze wynalazca, Spencer. Metody postępowania zostały szybko udoskonalone, a około 1840 roku zastosowano też prąd galwaniczny do pokrywania powłoką metalową wyrobów z innych metali, w szczególności zaś do złocenia i srebrzenia.

Na ten także czas przypada początek telegrafii elektrycznej, jakkolwiek pierwsze jej pomysły poprzedzają nawet o wiele sam początek galwanizmu, już bowiem w połowie wieku XVIII-go próby wykazały, że objawy elektryczności statycznej, jak iskry, lub przyciąganie lekkich kulek, dają się wywoływać w znacznej odległości od maszyny elektrycznej przy pomocy drutów, należyście długich. Maszyna elektryczna wszakże nie okazała się dostatecznie posłuszna, i dopiero prąd galwaniczny pragnieniom tym dał nową podniechęć, a odkrycie Oersted'a wskazało nawet pożądaną system sygnalizacyi przez ruchy igły magnesowej, ulegającej wpływowi prądu, zdała przesyłanego. Zanim jednak telegrafia igielkowa wykiełkować z pierwszych zarodków istotnie zdołała, daleko dogodniejszym okazał się elektromagnes, zastosowany do celu tego przez amerykańnika Morse'a. Malarz z powołania, bawiąc w Europie w ciągu 1829—32 roku, zaciekał się ówczesnymi odkryciami, sam powtarzał doświadczenia elektromagnetyczne, i podczas podróży powrotnej do Ameryki obmyślił całe urządzenie telegrafu elektromagnetycznego, ale dopiero w roku 1835 przyrząd swój rzeczywiście wykończyć zdołał. Był to jeszcze aparat niezgrabny, a sam jego elektromagnes ważył 158 funtów; minęło też lat kilka, zanim dostatecznemu uległ uproszczeniu, i zanim z sygnalizowanych kropek i kresek alfabet złożono, a pierwsza linia telegrafu Morse'a dopiero 24 maja 1844 roku otwartą została między Waszyngtonem a Baltimorem. Do rozwoju telegrafii przyczyniło się też w znacznej mierze dawniejsze już spostrzeżenie Steinheila, że zamiast drutu powrotnego, odprowadzającego prąd do stosu, użyć można pośrednictwa ziemi, tak, że do połączenia dwu stacyj jeden tylko drut wystarcza. System telegrafii Morse'a zaprowadzony został w Europie około 1850 roku i odtąd też rozpoczyna się potężny jej rozwój; jak dalej udoskonalone zostały przyrządy, jak przybyły telegrafy skazówkowe, drukujące, piszące, telegrafy podmorskie,—jest to historia długa i zawiła.

Gdy w ten sposób chwałę elektryczności już po całej ziemi telegraf roznosił, światło elektryczne, rozpalone po raz pierwszy przez Davy'ego, nie rozpowszechniało się zgoła, jaśniało chyba wyjątkowo na przedstawieniach teatralnych lub na wspaniałych iluminacyach publicznych. Jeżeli wszakże zwlekano z zaprowadzeniem oświetlenia elektrycznego w miastach i nie rozpalano lamp elektrycznych w fabrykach, to opieszałość tę łatwo wybaczyć możemy, stopy bowiem galwaniczne nie były tu dostatecz-

nem źródłem elektryczności. W telegrafii, w galwanoplastyce działa już skutecznie prąd, dostarczany przez jedno ogniwo galwaniczne, lub przez stos, z niewielu tylko ogniw złożony. We włóknie wszakże węglowem, do białości rozpalonem, w świetlnym łuku Davy'ego, prąd elektryczny napotyka opór znaczny, a do pokonania go posiadać winien odpowiednie natężenie, winien być dostatecznie silny, do wytworzenia zaś takiego prądu złożyć trzeba stos z wielkiej liczby ogniw, co jest rzeczą zarówno kosztowną, jak zmuzną. Dla elektrotechnika też dzisiejszego stosy przypominają tylko okres dziecienny rozwoju elektryczności stosowanej; prądy potężne, jakich wymaga, otrzymuje już nie ze stosów, ale zdobywa je bezpośrednio nakładem pracy mechanicznej, kosztem węgla, spalanego w motorach parowych. Są to więc prądy indukcyjne, wzbudzone wpływem magnesów w wirujących zwojach drutu.

Budowano już, jak widzieliśmy, wielkie maszyny magnetoindukcyjne, czyli magnetoelektryczne, które służyły wprawdzie do rozpalania latarni morskich, ale potęga ich tem już się ograniczała, że przeciw liczbie i sile magnesów tylko do pewnej granicy można było wzmacniać. Wilde więc w roku 1866 używane dotąd trwałe magnesy stalowe zastąpił daleko silniejszymi elektromagnesami, w których magnetyzm wzbudzały prądy, nadsyłane przez inną, mniejszą maszynę elektromagnetyczną. W tej ostatniej, rzecz jasna, użyte były magnesy trwałe, ale w tymże samym jeszcze roku 1866 Werner Siemens okazał, że zupełnie usunąć można tę maszynę mniejszą z jej magnesami trwałymi, która miała dawać pierwszą podniecie elektromagnesom maszyny większej. W ogólności bowiem każda bryła żelazna posiada pewien ślad zarodkowy magnetyzmu, wywołany choćby wpływem magnetyzmu ziemskiego, a drobny ten zarodek wystarcza już jako podniecia do wzbudzania prądu elektrycznego w induktorze czyli w wirującym zwoju drutu. W takiej maszynie zatem zwoje drutu induktora łączą się wprost ze skretem drutu, obiegającego jądro żelazne elektromagnesu; zarodkowy zaledwie magnetyzm tego jądra wzbudza w induktorze słaby najpierw prąd elektryczny, który podsyca z kolei magnetyzm pierwotny, a przyrost ten magnetyzmu staje się znowu źródłem następnego wzmocnienia prądu, by proces ten dalej się powtarzał, aż do granicy, zależnej od wymiarów i od innych warunków budowy maszyny. Ponieważ maszyna taka bez magnesów trwałych zupełnie się obywa, nie jest już w istocie rze-

czy machiną magnetoelektryczną, i zasłynęła pod nadaną jej przez Siemens a nazwą maszyny dynamoelektrycznej. Jak zresztą tylokrotnie już w dziejach elektryczności, i tym razem, niezależnie od Siemens a, kilku innych wynalazców, Wheatstone zwłaszcza, powzięli wspólnie pomysł podobnej zasady elektrodynamicznej, dając tem jeden dowód jeszcze, że wynalazek każdy, każde odkrycie, wyrasta jedynie w porę właściwą, na gruncie dobrze przygotowanym. Podobnie i wprowadzenie innego jeszcze, ważnego ulepszenia zawdzięcza maszyna magneto-elektryczna dwóm różnym wynalazcom: Pacinottemu i Gramme'owi, a mianowicie nadanie induktorowi postaci pierścienia, w miejsce dawniejszej formy podkowy, czem usuniętą została chwiejność i niestateczność wytwarzanych przez maszynę prądów, jako złożonych z ciągu oddzielnych uderzeń indukcyjnych. W wielu maszynach nowszej konstrukcyi wreszcie, dla wzmoczenia ich działalności, wydłużano pierścieniowy zwój drutów induktora w kierunku osi, skąd induktor przybrał postać walca czyli bębna.

W ogólności nowe maszyny dynamoelektryczne tak daleko są już ulepszone, że z pracy, wydatkowanej na utrzymywanie ich w ruchu, 85 do 90 odsetek zużytkować się daje korzystnie w postaci energii elektrycznej prądów wzbudzanych, skąd łatwo ocenić można wyższość praktyczną tych maszyn ponad stosami galwanicznymi. W stosie galwanicznym rozpuszcza się zawsze w kwasie cynku, stanowiący elektrod ujemny; każda ilość energii elektrycznej, dostarczana przez ogniwo galwaniczne, wytwarza się spalaniem równoważnej ilości cynku w kwasie siarczanym. W maszynie dynamo-elektrycznej, natomiast, prądy elektryczne wzbudzają się przez pracę, na obrót induktora łożoną, ostatecznie zatem przez spalanie węgla w motorze parowym. Zupełne utlenienie czyli spalanie kilograma cynku wytwarza 550 jednostek ciepła czyli ciepłostek, a wszystka prawie ta ilość ciepła w stosie galwanicznym przetwarza się w elektryczność. Spalenie kilograma węgla wytwarza wprawdzie daleko znaczniejszą ilość ciepła, około 8000 ciepłostek, ale z ciepła tego motory parowe przeobrażają w pracę zaledwie 6 odsetek, co znaczy 480 ciepłostek, a z tych 480 ciepłostek 10 odsetek jeszcze zużywa się na pokonywanie tarcia i inne ubytki nieprodukcyjne w maszynie dynamo-elektrycznej, tak, że tylko 430 ciepłostek przechodzi na użyteczne wytwarzanie prądu elektrycznego. Kilogram cynku dostarcza przeto w prądach elektrycznych ilość energii równoważną 450 ciepłostkom; gdy dla kilogra-

ma węgla ilość ta odpowiada 430 ciepłostkom; cena wszakże cynku jest około 15 razy wyższa od ceny węgla, ostatecznie zatem za pośrednictwem machin dynamoelektrycznych energia prądu galwanicznego otrzymuje się 13 razy taniej, aniżeli działaniem stosów.

Dlatego to machina dynamoelektryczna dopiero wywołać mogła rozwój tych działów Elektrotechniki, które wymagają prądów znacznego natężenia, a więc przede wszystkim oświetlenia elektrycznego. Jakby czekało tylko hasła umówionego, światło elektryczne zajaśniało wszędzie. Lampy łukowe zostały w krótkim czasie udoskonalone, chwiejne ich migotanie ustąpiło i blask rozlewają już stateczny. Obok nich zapłonęły lampy żarowe Edisona (1879 r.), dające światło przez rozżarzenie włókna węglowego w próżni. Rozwiązano trudne zadania, tyżące się podziału prądu, tak, by ze wspólnego wybiegając źródła, każdą lampę zasilać mógł oddzielnie; obmyślono systemy takiego ich rozmieszczenia, by każda dała się zapalać i gasić bez zakłóceń w blasku lamp sąsiednich. Tak nagły postęp podsycza wszakże pragnienia dalsze; dzisiejsze sposoby otrzymywania światła elektrycznego nie zadawalają nas już w zupełności, a odkrycia lat ostatnich pozwalają przewidywać, że ulegną one jeszcze znacznym udogodnieniom i uproszczeniom.

Oświetlenie jest dotąd naczelnym działem Elektrotechniki, ale obok niego coraz większego znaczenia nabiera i zadanie przenoszenia energii, które również w maszynie dynamoelektrycznej rozwiązanie swe zyskało. Widzieliśmy, że odkrycie prądów indukcyjnych dało podniętę do budowy dwojakiego rodzaju przyrządów, mających przeznaczenie wręcz przeciwne, magneto-elektrycznych i elektro-magnetycznych, czyli elektromotorów; w pierwszych szło o wytwarzanie prądów elektrycznych nakładem pracy mechanicznej, drugie miały na celu wykonywanie pracy przez prądy elektryczne. W istocie rzeczy każdy przyrząd indukcyjny daje się w dwojaki sposób stosować, służyć może do spełniania jednego lub drugiego z dwu zadań powyższych; w najwyższej mierze wszakże zdolność do takiego odwracania posiada maszyna dynamo-elektryczna. Gdy induktor jej wprawiamy w obrót, w zwojach drutu wytwarzają się prądy elektryczne; gdy, natomiast, przez zwoje te przesyłamy prąd z innego źródła, induktor wiruje, a ruch jego daje się na jakąkolwiek maszynę przenieść, i do wykonania pracy żądanej zużytkować. Maszyna dynamo-elektryczna mieści w sobie zarazem i dawną maszynę magneto-

elektryczną i elektro-magnetyczną, może być użyta i jako generator elektryczności, i jako motor elektryczny.

Według więc zasady tej elektryczność służyć może do przenoszenia energii za pośrednictwem dwu machin dynamo-elektrycznych; pierwszą z nich wprawia w obrót machina parowa, a wytworzony stąd prąd galwaniczny przepływa do drugiej, nadaje jej ruch i odtwarza zdala pracę, na obrót pierwszej wyłożoną. Druga ta machina, machina wtórna, czyli robocza, może więc dźwigać w górę ciężary, lub tylko drobne przyrządy na warsztacie rzemieślnika w ruchu utrzymywać, a gdy na osi jej osadzone będą koła, mogące się toczyć po szynach, machina sama się przesuwająca i szereg wozów za sobą ciągnie; jest to więc kolej elektryczna, po raz pierwszy w r. 1879 w ruch puszczona. Zasilający ją prąd otrzymuje z drutu, rozciągniętego w powietrzu, za pośrednictwem kółka, które się po drucie tym wraz z biegiem pociągu przesuwają, albo też prąd ten dopływa do niej po szynach.

Przenoszenie elektryczne energii odsłania nam wszakże widoki o wiele dalej sięgające, ukazuje horyzonty rozległe i olśniewające. Gdy pierwsza z dwu machin dynamo-elektrycznych, drutami połączonych, stanie tuż obok odległej kopalni węgla, oszczędzi to koszt przewozu materiału opałowego; zasób energii, w węglu złożony, da się dogodniej przenosić w formie prądów elektrycznych, gotowych do wytwarzania światła, ciepła, pracy mechanicznej. W podobny sposób da się też zapewne zużytkować korzystnie energia przez samą przyrodę w wodospadach górskich, lub w prądach powietrznych złożona, a dotąd mało dostępna i słabo wyzyskiwana. Przenoszenie elektryczne energii jest teoretycznie w ogólności rozwiązane, praktycznie wszakże idzie o usunięcie strat energii, z przenoszeniem tem połączonych. Pod tym względem olbrzymi ten dział Elektrotechniki przechodzi dopiero pierwsze stopnie swego rozwoju.

Rozwinięty już natomiast i wydoskonalony system przenoszenia energii przedstawia telefon. Słaba energia mechaniczna głosu ludzkiego, wprawiając w drgania płytkę żelazną, pod wpływem magnesu zostającą, wzbudza prądy indukcyjne, które w odległości ruch podobnej płytki wywołują, i drganiem jej mowę wysyłaną wiernie odtwarzają. Powstawanie tonów przy objawach elektrycznych dostrzegł Page w roku 1837, a Reis już w roku 1860 zbudował telefon, który przenosił melodyę muzyczną. Na doświadczenia te wszakże uwagi należytej nie zwrócono, a niko-

mu nawet nie świtała myśl, by prądy elektryczne zdolne były do przeprowadzenia urobionej, artykułowanej mowy ludzkiej. Cel ten osiągnął wszakże w roku 1876 Graham Bell w Ameryce, i to środkami uderzającej prostoty, gdy współcześnie rodak jego, Elisha Gray, ubiegał się o patent na podobny przyrząd, ale konstrukcyi bardziej zawilej. Telefon Bella działa zgoła bez pomocy stosów; przy ich udziale słaby głos zyskać może nawet znaczne wzmocnienie, a wtedy przyrząd staje się mikrofonem, jakby mikroskopem akustycznym.

Po tych powodzeniach usprawiedliwione zapewne jest pytanie, czy prąd elektryczny przydatnym się też okaże i do przeprowadzania wrażeń świetlnych, czy obok telefonu posiadać będziemy i „telefot“? Niewątpliwie, — ale nie dziś jeszcze. W roku 1873 dostrzeżono, że selen, pierwiastek pod względem chemicznym do siarki zbliżony, jest co do własności elektrycznych wrażliwy na światło; w ciemności stawia przebiegowi prądu opór bardzo znaczny, skoro zaś padają nań promienie światła, staje się przewodnikiem elektryczności. Jeżeli więc w obieg prądu wtrąconą zostanie bryłka selenowa, promieniami przerywanemi oświetlana, powoduje to w natężeniu prądu chwiejność, która zdradzić się może drganiami głosowemi płytki telefonu. Z osobliwej tej własności selenu skorzystał Bell, by zbudować fotofon, przyrząd, pozwalający telefonować bez udziału drutu, dwie stacye łączącego. Głos osoby mówiącej wprawia tu w drganie drobne i lekkie zwierciadko, odrzucające skupioną wiązkę promieni światła na zwierciadło wklęsłe, w pewnej odległości ustawione; w ognisku drugiego tego zwierciadła znajduje się bryłka selenowa, połączona drutem ze stosem lokalnym i z telefonem. Drgający pod wpływem mowy wysyłanej promień, chwiejnem natężeniem oświetla brylkę selenu, a to w doświadczeniach Bella wystarczyło do odtworzenia tej mowy w telefonie, na jakie trzysta metrów oddalonym.

Ciekawe te doświadczenia, naukowego zresztą raczej, aniżeli praktycznego dotąd znaczenia, nasunęły też pomysł, czy-by podobną drogą, przy pośrednictwie prądu galwanicznego i płytki selenowej, nie dały się przenosić na odległość objawy świetlne, obrazu przez ciemnię optyczną, przez latarnię czarnoksięską rzucane. Zadaniu temu nie sprostali wszakże wynalazcy; nie sprostała mu też zapewne i bryłka selenowa. Wynalazcy nie zadawali sobie zgoła trudu dokładniejszego zbadania własności fizycznych selenu, ale poprzestawali na rysowaniu projektów, w których nawet nie

ujawniała się pomysłowość zbyt oryginalna. Dużo wrzawy narobił zwłaszcza niedawno podobny wynalazek *Szczepanika*; był to jednak wynalazek na papierze, i — jak łatwo można było przewidzieć — na papierze pozostał. Wielkie to zadanie wymaga środków innych, których nauka dotąd nie posiada, ale które w przyszłości zdobędzie zapewne. Chwiejność oporu elektrycznego w bryłce selenu do celu tego nie wystarcza.

Wszystkich zresztą usług elektryczności wyliczać niepodobna, Elektrotechnika bowiem nie jest bynajmniej osobnym, zamkniętym działem techniki, ale raczej przedziera się do każdej jej gałęzi, każdej dać umie poparcie, każdą wzmacnia i przekształca. Elektryczność jest to rzetelny, sprawny i bystry pośrednik w obrazowaniu różnych form energii, jednych w drugie, i w jej przenoszeniu. Korzystać z niej może zarówno astronom przy swych dostrzeżeniach, jak i chemik w swej pracowni; służy ona tak dobrze na warsztacie rzemieślnika, jak i w wielkich zakładach przemysłowca; przedziera się do gospodarstwa publicznego i formy życia codziennego przeinacza; elektryczność usuwa granice dostępnej dla nas przestrzeni, przy jej pomocy zmysły nasze sięgają dalej, rozluźnia krępujące człowieka więzy przyrody.

Łoskot machin dynamo-elektrycznych nie przytłumił badań teoretycznych nad istotą elektryczności, które w pomysłach *Faradaya*, w rozważaniach matematycznych *Maxwella* i w doświadczeniach *Hertza* wykazały łączność objawów elektrycznych i świetlnych, złożyły dowód, że podobnie, jak promienie światła, i działania elektro-magnetyczne drogą falowań się rozchodzą. Badania te wszakże stanowić muszą przedmiot rozważań oddzielnych; tu dodać chyba wypada tylko, że fale elektryczne dały podnetę do doświadczeń z telegrafowaniem bez drutu, a próby z powodzeniem dokonane zostały. I z tak oderwanych przeto, czysto teoretycznych badań, Elektrotechnika korzyść wyciąga. To jest bowiem wielkie błogosławieństwo nauki, że każda jej zdobycz nagina się i do celów praktycznych, służy zarówno wymaganiom duchowego, jak materialnego życia naszego.

XI.

ATOM ELEKTRYCZNY.

I.

Drobiazgi mają byt wytrwały. Pyłek, bujający w powietrzu, który staje się widocznym jedynie, gdy połyka w smudze wdzierającego się światła słonecznego, jest niewyciężony; nie mamy mocy, by go z mieszkań naszych usunąć. Bakteryja, z jednej komórki ledwie złożona, zarazę i zagładę szerząca, groźniejszym jest wrogiem człowieka i trudniej wytępić się daje, niżeli czworonogi drapieżne i węże jadowite. Można-by powiedzieć, że wytrwałość tę i oporność przejął też atom, najdrobniejszy utwór wyobraźni ludzkiej; w pojęciach naukowych ugruntował się tak silnie, że nie zdołała go z nich wytrącić żadna inna hipoteza, a teraz zyskał sprzymierzeńca w postaci drobiazgu dalszego rzędu, wobec którego sam jest olbrzymem, a który wystąpił, jako atom elektryczny.

Atom po raz pierwszy zrodził się wprawdzie w młodzięcym jeszcze okresie nauki, powstał w myśli filozofa w czasach, gdy ludzono się jeszcze, że jedno dowolne założenie ogólne, jeden wyraz szczęśliwie dobrany zdoła ująć całą prawidłowość świata i wszelką jego zagadkę rozwikłać; do ścisłej wszakże wiedzy przyrodniczej przedostał się dopiero za pośrednictwem wagi chemika, skoro poznano, że ciała, wstępując między sobą w związki, łącząc się mogą jedynie w stosunkach statecznych, dających się ująć liczebnie. Na podstawie podobnych pomiarów wziął początek i nowy atom elektryczny; aby jednak pochodzenie jego zrozumieć, trzeba nam rozejrzeć stopniowy rozwój faktów, które jakby zwiaśtunami jego narodzenia były.

Sięgnąć nam tu właściwie wypada do początków Elektrochemii, miałem jednak niedawno sposobność o rzecz tę potrącić

w „Bibliotece Warszawskiej“¹⁾. Już pierwsze rozkłady chemiczne, wody, potażu, sody, wapna, dokonane potęgą stosu galwanicznego, wykazały ścisłą łączność elektryczności z powinowactwem chemicznym, a dla wyjaśnienia tych objawów trzeba było obmyślać teorye elektrochemiczne i naginać je do coraz większej obfitości i zawiłości faktów poznawanych. W czasach, gdy w Chemii panował pogląd dualistyczny, gdy rozumiano, że łączyć się mogą jedynie dwa pierwiastki w związki rzędu pierwszego, a znów dwa takie związki w połączenia dalsze, rzędu drugiego, nastęrczało się łatwo zestawienie z dwojaką też elektrycznością, dodatnią i ujemną, a według tej analogii powiązał Berzelius ściśle dwoistość elektryczności z dualizmem związków chemicznych, i ogół pierwiastków rozdzielił na dwie kategorie, na pierwiastki elektrododatnie i elektro-ujemne, przypisując pierwszym w stanie wolnym pewien ładunek swobodnej elektryczności dodatniej, drugim podobny ładunek elektryczności ujemnej. Według tego, łączenia i rozkłady chemiczne można było pojmować, jako następstwo przyciągań elektrycznych, tem łatwiej, że rozmaite pierwiastki, albo raczej ich atomy posiadać mogły niejednakie ładunki elektryczne, a od wielkości takiego ładunku zależeć miała dzielność chemiczna.

Poglądów swoich nie starał się bynajmniej Berzelius poprzeć pomiarami elektrycznymi, a zresztą pierwiastki i ich związki zachowaniem się swoim nie ujawniają bynajmniej swobodnych ładunków elektrycznych, każdej chwili do działania gotowych. W istocie też teorya ta nie dawała wyjaśnienia fizycznego sił, tu działających. Berzeliusowi szło głównie o uzasadnienie dualizmu w całym obszarze Chemii, a dwojaka elektryczność służyła mu tylko jak obraz dogodny, ułatwiający takie pojmowanie i przedstawienie rzeczy.

Aby wykryć istotną łączność działań elektrycznych i związanych z niemi objawów chemicznych, należało jedne i drugie poddać ilościowej ocenie. Badania takie przeprowadził Faraday i ogłosił je w piątej i siódmej seryi epokowych swych sprawozdań: „Experimental researches in electricity“, w roku 1834. Przekonał się wtedy, że gdy woda poddana zostaje wpływowi prądu galwanicznego, to ilość jej, ulegająca rozkładowi, jest zawsze proporcjonalna do ilości elektryczności przepływającej; gdy zaś po-

¹⁾ „Stulecie galwanizmu“, patrz artykuł poprzedzający.

równał rozkłady różnych substancyj, czyli różnych elektrolitów, okazało się, że jednakie ilości elektryczności wydzielają zawsze równoważne chemicznie ilości części składowych.

Przewodnictwo elektryczności w cieczach łączy się zawsze z działaniem chemicznem; gdy elektryczność przebiega w elektrolitach od jednego bieguna do drugiego, przenoszą się zarazem i cząstki substancyi, przez rozkład z niej wydzielone. Przebieg ten jest wspólny, wydobywające się zatem ze związków atomy i złożone z nich rodniki posiadają ładunki elektryczne, a tak elektrycznie naładowany atom, czy też cząsteczka ciała, jest to „jon“, według nomenklatury Faradaya. Pierwiastki i rodniki nie są już uprzednio naładowane elektrycznością, jak sądził Berzelius, ale dopiero, gdy po połączeniu rodnika dodatniego z ujemnym cząsteczka utworzonego związku rozszczepia się na składowe swe części, rodniki te w odpowiednich warunkach wydzielac się mogą w stanie naelektryzowanym, jako jony, przyczem rodniki dodatnie (wodór, potas) naładowane są dodatnio, a rodniki ujemne (tlen, chlor) posiadają ładunek ujemny.

Ładunek elektryczny, który jon taki z sobą unosi, nie zależy bynajmniej od natury rodnika, od jego dzielności chemicznej; potas lub fluor są to pierwiastki, wywierające bardzo żywe działanie chemiczne, srebro lub jod działają słabo, niemniej jednak dodatni jon potasu równie silnie naładowany jest elektrycznością, jak dodatni jon srebra, a ujemny jon fluoru posiada ładunek taki sam, jak ujemny jon jodu. Stopień więc działalności chemicznej danego pierwiastku nie zawisł bynajmniej, jak to sądził Berzelius, od wielkości ładunku elektrycznego, ale raczej od wytrzymałości, od mocy, jaką ten ładunek jest związany; dlatego jodek srebra już przez słabą siłę elektrowzbudzającą rozszczepia się na swe pierwiastki składowe, gdy fluorek potasu rozpaść się może dopiero pod wpływem nader znacznej podniety elektrycznej.

Nietylko wszakże stopniem swej potęgi chemicznej, żywością powodowanych przez siebie działań, wyróżniają się między sobą pierwiastki chemiczne; posiadają też i niejednaką wartość, czyli niejednaką chciwość chemiczną; do nasycenia swego głodu wymagają różnej liczby atomów innych pierwiastków, a z podobnie różną chciwością zachowują się i względem ładunków elektrycznych, z którymi się wiążą. Co więc mówiliśmy wyżej o równości tych ładunków, tyczy się jedynie pierwiastków jednowartościowych, to jest pierwiastków, których atomy wiążą się

z jednym tylko atomem wodoru; pierwiastki dwuwartościowe lub trójwartościowe, których każdy atom łączy się z dwoma, lub trzema atomami wodoru, utrzymują też ładunek elektryczny dwukrotnie lub trzykrotnie większy, aniżeli atomy jednowartościowe.

Poznaliśmy tu jony, jako wytwory rozkładu, dokonywanego się pod wpływem działania elektrycznego; cząsteczki wszakże soli lub jakiegokolwiek innej substancji nie czekają dopiero prądu galwanicznego, by się rozszczepić na składowe swe części czyli na jony, ale jony te i bez udziału prądu obficie w roztworach istnieją. Aby to zrozumieć, zwrócić się winniśmy do teorii roztworów, która rozwinęła się w czasach najnowszych.

II.

Co się dokoła nas wciąż dzieje, na co bezustannie patrzymy, zaciekawienia naszego nie podnieca. Na zjawisko tak powszednie, jak rozpuszczanie się bryłki soli lub cukru w wodzie, uwagi nie zwracamy, ale i nauka mało się niem troszczyła, a o jakiegokolwiek teorii roztworów nie myślano zgoła. Wysnuł ją dopiero w roku 1884—87 van t' Hoff z podobieństwa, jakie dostrzegł w zachowaniu się roztworów i gazów. W istocie, jak gaz zapełnia całkowicie obszar, w którym rozprzestrzeniać się może, wywierając przytem ciśnienie na ograniczające go ściany, tak też rozpuszczająca się substancja rozpada się na cząstki, które rozbiegają się na wszystkie strony i jednostajnie w cieczy rozdziela, a na ściany naczynia wywierają również ciśnienie, nazwane osmotycznym, najwyraźniej bowiem dostrzedz się daje przy osmozie, czyli przy przenikaniu cieczy przez błony. Analogia jest to dla badacza nagły błysk światła, rozjaśniający mu w ciemnościach drogę, która ma go do celu pożądanego doprowadzić: od rzeczy bowiem znanych i prostszych przenosi myśl jego do spraw utajonych i bardziej zawiłych. Skoro jest ujęta, staje się odrazu dla wszystkich jasną i dostępną; by ją jednak uchwycić, trzeba genialnej bystrości oka, a to zestawienie roztworów z gazami należy niewątpliwie w dziejach nauki do najwybitniejszych i najpiękniejszych przykładów zastosowania analogii. Podobieństwo nie jest tu bynajmniej ogólnikowe tylko, ale sięga do szczegółów wszelkich, byleby roztwór był dostatecznie rozeińczony, inaczej bowiem cząstki zbyt skupione, wzajem na siebie oddziaływając, tracą swobodę i niezależność, cechującą stan lotny materji. Jak, według prawa

Mariotte'a, ciśnienie, przez daną ilość gazu wywarte, jest tem większe, im w mniejszej objętości jest gaz ten zamknięty, im bardziej jest skupiony, zgęszczony, tak też ciśnienie osmotyczne wzrasta proporcjonalnie do stężenia roztworu, do jego zgęszczenia, do ilości rozproszonych w nim cząstek. Substancya rozpuszczona znajduje się w warunkach takich, jakby rzeczywiście przybrała postać gazu w tejże samej objętości, jaką posiada w roztworze, byle-by przytem i temperaturę niezmienną zachowała, jak bowiem dla gazów, tak też i dla roztworów, służy prawo Gay-Lussac'a, według którego ciśnienie wzrasta się z temperaturą.

Prawa Mariotte'a i Gay-Lussac'a, wyrażając zależność objętości gazu od ciśnienia, pod jakim pozostaje, i temperatury, do jakiej jest ogrzany, dają pełny obraz własności stanu lotnego; wiąże się jednak z niemi jeszcze trzecia zasada, zwana prawem Avogadra, według której jednakie objętości różnych gazów, jeżeli w jednakich pozostają warunkach ciśnienia i temperatury, zawierają jednakie ilości cząsteczek. I ten więc wniosek bez żadnej zmiany daje się odnieść do roztworów. Pod jednakim ciśnieniem osmotycznym i w jednakiej temperaturze równe objętości najrozmaitszych roztworów zawierają jednaką ilość cząsteczek, i to takąż samą, jaka się mieści w równej objętości gazu, zostającego pod takim-że samem ciśnieniem i posiadającego takąż samą temperaturę.

Słuszności wszakże zasady Avogadra, w odniesieniu do roztworów, nie potwierdzało doświadczenie tak stanowczo i powszechnie, jak tego wymaga niezłomność praw natury; roztwory soli, różnych zasad i kwasów wyłamują się z posłuszeństwa, wywierają ciśnienie osmotyczne większe, aniżeli wskazuje teoria. Odstępstwa podobne dawniej już zresztą napotymano i w gazach; chlor silnie ogrzany wzrasta nadmiernie swe ciśnienie, jakby w wysokiej temperaturze nagle powiększała się jego gęstość, jakby zatem w zajętem przezeń obszarze przybrała liczba nagromadzonych, skupionych w nim cząsteczek. Znaczy to zatem, że skutkiem podsyconego żaru cząsteczki chloru rozpadają się, rozszczepiają na składowe swe atomy, a stąd uwielokrotnia się liczba drobin oddzielnych i gęstość gazu wzrasta. Toż samo więc wyjaśnienie zastosował Arrhenius do roztworów, a tą drogą teorię ich uzupełnił i ugruntował.

Cząsteczki soli rozpuszczonej nie są już w równowadze tak statecznej, w jakiej się znajdowały, dopóki sól była stała, skrysta-

lizowana; rozproszone w cieczy, rozbijają się na prostsze swe składniki, które odbiegają wciąż od jednych i wiążą się z innymi, skąd w każdej chwili znajduje się w roztworze pewna ilość cząstek rozszczepionych, a tem samem odpowiednia im ilość składników swobodnych, zależna od temperatury, od stopnia rozcieńczenia roztworu, od jego natury wreszcie. Wzmoczenie się ciśnienia osmotycznego jest następstwem przyboru liczby cząstek luźnych, swobodnych.

Następuje tu wszakże jeden jeszcze szczegół uderzający: ciała, mianowicie, które okazują tak nadmierne ciśnienie, należą wszystkie do kategorii elektrolitów, ulegają rozkładowi pod wpływem prądu galwanicznego. Widzieliśmy zaś, że rozkład taki połączony jest z przewodnictwem elektryczności, z przenoszeniem ładunków elektrycznych przez znane nam już jony, powstałe z rozszczepienia cząstek soli lub innych związków. Skoro elektrolity są przewodnikami elektryczności, a ciecze jedynie za pośrednictwem jonów przenosić się mogą, przyjąć więc należy, że rozszczepione w roztworach cząstki jako jony występują. Domysł ten potwierdza doświadczenie; im bowiem bardziej wzrasta ciśnienie osmotyczne, im większa jest zatem ilość jonów wyswobodzonych, tem znaczniejszem też staje się przewodnictwo elektryczne roztworu. Beładne ruchy tych jonów, miotających się swobodnie między cząsteczkami nierozłożonemi, porządkują się natychmiast, skoro prąd elektryczny przez ciecz przebiega; jony przenoszą ładunek elektryczny po drodze, przez bieg prądu wskazanej, stają się same ruchliwemi przewodnikami elektryczności. Prąd elektryczny nie rozrywa cząsteczek ciała, ale nadaje tylko kierunek rozszczepionym już ich składnikom. Z oznaczonego zatem ciśnienia osmotycznego i przewodnictwa elektrycznego danego roztworu teoria pozwala obliczyć, w jakim stosunku ogólna ilość wszystkich zawartych w nim cząsteczek uległa rozbiciu.

Teoria ta odbiega jednakże daleko od powszednich naszych wyobrażeń o istocie roztworów i łatwo budzić może nieufność. Według niej bowiem w najzwyczajszym roztworze soli kuchennej, która jest związkami chloru i sodu, obok nierozłożonych cząstek chlorku sodu, występować też swobodnie mają wydzielone atomy chloru oraz sodu, a wszakże sod ten nie sprowadza rozkładu wody, ani też chlor nie nadaje jej barwy zielonej i nie rozpościera drażniącej swej woni. Na zarzut ten wszakże odpowiedzieć można, że składniki soli kuchennej, w wodzie rozproszone, nie są to ato-

my pierwiastków w tem znaczeniu, jakie im zwykle przypisujemy, ale jony, czyli atomy, ładunkiem elektrycznym obdarzone. Z własności chemicznych chloru wypływa, że najdrobniejsza jego cząsteczka, w stanie wolnym istniejąca, jest już skupieniem dwu atomów, Cl_2 w symbolicznem notowaniu chemika, gdy w roztworze soli kuchennej występują oddzielne atomy chloru, z ładunkiem elektrycznym związane. W bryłce soli kuchennej nikną przecież charakterystyczne własności chloru i sodu, jest to ciało odrębne zgoła od obu swoich składników; podobnież i w jonach utajają się własności atomów i cząsteczek, mamy tu bowiem jakby pewnego rodzaju związki atomów z elektrycznością. Doświadczenia zręcznie przeprowadzone wykazały rzeczywiście, że gdy jony pozbawione zostają swego ładunku elektrycznego, atomy odzyskują normalne swe własności i powodują zwykłe, właściwe sobie działania chemiczne.

III.

Występując w jonach w związku z materią zwykłą, elektryczność sama przybiera charakter pewnej substancyi, materyi, a jeżeli przypomnimy sobie, że w połączeniach tych znajduje się zawsze w stosunkach stałych i wielokrotnych, prowadzi nas to już łatwo do pojęcia „atomu elektrycznego“; dzieje się tu bowiem, jak w zwykłych związkach chemicznych, których części składowe zespolone są również według stałych stosunków liczebnych. Prawo to, tak olbrzymiej doniosłości, byłoby dla nas zupełnie zagadkowe, w teoryi zaś atomistycznej okazuje się zupełnie zrozumiałem i przedstawia się nawet jako konieczne jej następstwo. Podobnież, wyobrażając sobie elektryczność jako podzieloną na atomy wielkości niezmiennej, zdajemy sobie sprawę, dlaczego rozmaite pierwiastki wiążą oznaczone i stateczne ładunki elektryczne; było-by zaś to zgoła niepojętem, gdybyśmy przyjmowali elektryczność, w sposób ciągły rozpostartą.

W istocie rzeczy, i w dawniejszych teoryach występowały nieraz drobne masy, cząstki elektryczne, pozostające w spoczynku lub w ruchu i nawzajem się przyciągające, lub odpychające; miały wszakże charakter matematyczny jedynie, rachunkowy, bez ściślej określonego znaczenia fizycznego, jakie zyskały atomy elektryczne, których pomysł po raz pierwszy rzucił Helmholtz w 1881 roku, w mowie wypowiedzianej na cześć Faradaya.

Takim atomom elektrycznym nadał Stoney w roku 1891 nazwę „elektronów“, dziś powszechnie przyjętą. Oprócz więc zwykłych pierwiastków, przyjęć według tego wypada dwa pierwiastki dalsze, utworzone z elektronów dodatnich i ujemnych, które znamy wprawdzie tylko, gdy w połączeniu z atomami materialnymi jako jony występują, ale którym zaprzeczyć też nie można istnienia swobodnego. Gdy bowiem w cieczy, rozkładowi elektrolitycznemu poddanej, wędrujące jony dobiegają do biegunów czyli elektrodów, odstupują im swoje ładunki elektryczne i wydzielają się jako atomy obojętne, skupiające się przy tych elektrodach. Przebieg ten jest wprawdzie szybki, nie dokonywa się przecież nagle; choćby więc przez chwilę nader krótką mają być niezależny. Dają się wszakże wyszukać i w innych objawach.

Aby jednak uprawnione zajął w nauce stanowisko, winien się elektron nadawać do pomiarów, które dozwoliły-by go ocenić liczebnie. Nie przedstawia to trudności. Na podstawie teorii mechanicznej ciepła znamy liczbę cząteczek gazu, zawartych w objętości jednego centymetra sześciennego; jeżeli więc przez tę liczbę podzielimy ilość elektryczności, potrzebną do wydzielenia przez rozkład wody jednego centymetra sześciennego wodoru, otrzymamy ilość elektryczności na oddzielny elektron przypadającą, a dokładność tej liczby potwierdzają badania innych objawów.

Możemy bowiem elektrony rozpoznać i w przewodnictwie elektrycznem gazów. W warunkach normalnych nie są wprawdzie gazy dobrimi przewodnikami elektryczności, ale przewodnictwo ich wzrasta, gdy są silnie ogrzane lub też wystawione na działanie pozafioletowych promieni widma, a występujące przytem szczegóły dają się dobrze wyjaśnić jedynie przypuszczeniem, że elektryczność przenoszą w gazach cząstki wędrujące, podobnie jak jony w elektrolitach, jakkolwiek cały przebieg nieco się tu inaczej dokonywa. Z pewnych różnic w zachowaniu się cząteczek dodatnio i ujemnie naelektryzowanych wnosi J. J. Thomson, że cząstki ujemne są to elektrony swobodne, gdy ładunki dodatnie pozostają związane z atomami gazów. Taki atom naładowany dodatnio wraz z elektronem ujemnym tworzą obojętną cząsteczkę gazową. Podobne różnice między elektronami dodatnimi i ujemnymi wszędzie wogólności występują; pierwsze są jakby do miejsca przywiązane i utajone, drugie przedstawiają żywioł ruchliwy i obecność swoją wyraźniej ujawniają. Okazuje się to zwłaszcza w promieniach katodalnych, które w ostatnich czasach zyskały

rozwłós powszechny, z nich to bowiem zrodziły się słynne promienie Röntgena, stanowiące dotąd przedmiot żywego zaciekania.

IV.

Objawy, obejmowane nazwą promieni katodalnych, występują pod wpływem wyładowania elektrycznego, gdy to ma miejsce w przestrzeni napełnionej gazami rozrzedzonymi. Do doświadczeń tych służą najdogodniej rury Geisslera, czyli naczynia szklane różnej postaci, dla urozmaicenia zjawisk często w osobliwy sposób powyginane i skręcone, które w dwu końcach lub w jakichkolwiek innych punktach swych ścian posiadają szczelnie wtopione dwa druciki, czyli elektrody, platynowe lub glinowe, do doprowadzania prądu służące. Do opróżniania rur tych z powietrza używa się pompy rtęciowej, która działa o wiele skuteczniej, aniżeli zwykła pompa pneumatyczna.

Gdy rura Geisslera połączoną zostaje za pośrednictwem wspomnianych drucików z biegunami zwoju indukcyjnego lub maszyny elektrycznej influencyjnej, przebiegają przez nią wyładowania elektryczne, których objawy zmieniają się zależnie od stopnia rozrzedzenia w niej powietrza. Dopóki gęstość powietrza niewiele odbiega od warunków normalnych, przez rurę przeskakuje tylko ciągły prąd iskier; przy obniżeniu ciśnienia wraz z iskrami występuje przy biegunie dodatnim światło, które przy dalszem zmniejszaniu ciśnienia, po zupełnem ustąpieniu iskier, wypełnia całą prawie rurę, rozciągając się aż do elektrodu ujemnego czyli katodu. Przy znaczniejszem jeszcze rozrzedzeniu powietrza w świetle tem występuje uwarstwowanie, światło rozpada się na smugi, podzielane między sobą warstwami ciemnymi i pozostające widocznie w bezustannem drzeniu, co wszakże jest następstwem jedynie tego, że przebieg elektryczności czyli jej wyładowanie dokonywa się tu w sposób przerywany. Barwa tego prądu światła, rozpościerającego się od elektrodu dodatniego czyli anodu, jest zresztą różna, zawisła przedewszystkiem od rodzaju gazu, wypełniającego rurę w stanie rozrzedzonym, ale pozostaje też w zależności od średnicy rury, ulega nadto przeinaczeniu wraz ze zmianą natężenia prądu elektrycznego.

Żywa ta gra barw jaśniejących należy do najokazalszych zjawisk świetlnych, jakie wywołać umiemy, i utrwała się niewąt-

pliwie w pamięci każdego, kto miał sposobność widzieć to powszednie zresztą dziś doświadczenie. Nas wszakże obchodzą teraz raczej objawy występujące przy elektrodzie ujemnym, przy katodzie, które, z początku skromne i niepozorne, okazują charakter wybitniejszy przy dalszem jeszcze rozrzedzeniu gazu w rurze. Opisał je po raz pierwszy Hittorf w r. 1869, następnie badał je Goldstein, a doświadczenia Crookesa w r. 1879 nadały im znaczny rozgłos.

Już i przy ciśnieniu normalnem, gdy przy wyładowaniu elektrycznem przebiegają iskry tylko, występuje przy katodzie połysk niebieskawy, który rozpościera się na nim coraz szerzej, w miarę jak rozrzedzenie coraz dalej postępuje; następnie połysk ten skupia się coraz bardziej na zewnętrznej, ku anodowi zwróconej stronie katodu; idąca za nią przestrzeń ciemna coraz się dalej rozprzestrzenia, a w tejże samej mierze i uwarstwowane światło dodatnie cofa się ku anodowi. Przy najsilniejszym wreszcie rozrzedzeniu, jakie za pomocą pomp rtęciowych osiągnąć można, występuje smuga światła, wybiegająca ze środkowych punktów katodu i przedzierająca się przez otaczający go połysk niebieskawy, przez przestrzeń ciemną, a nawet i przez światło dodatnie. Ta właśnie wiązka światła otrzymała nazwę „promieni katodalnych“.

Szczególną, charakterystyczną właściwością tych promieni katodalnych jest ich przebieg prostolinijny; rozchodząc się z katodu, dążą po liniach prostych, nie troszcząc się zgoła o położenie anodu, niezależnie zgoła od kierunku prądu elektrycznego. W punktach, gdzie uderzają o szklaną ścianę rury, wywołują jej świecenie, fosforescencyę czyli raczej fluorescencyę, barwa zaś światła tak wzbudzonego zależy od chemicznego składu szkła. Podobną fluorescencyę wzniesają promienie katodalne i w wielu innych ciałach, gdy je na drodze swej napotykaają; ciała te świecą wprawdzie i pod działaniem promieni słonecznych, ale pobudzone przez nie światło fluorescencyjne jest słabsze, chociaż barwy są w obu razach jednakowe. Same przez się zresztą promienie katodalne nie świecą zgoła; w powietrzu wprawdzie są niebieskie, ale przy znaczniejszem rozrzedzeniu posiadają blask nader słaby, a w ogólności dostrzegać się dają jedynie skutkiem wywołanej przez nie fosforescencyi. Wzniesają nadto świecenie w tych tylko warstwach danego środka, do których najpierw dobiegają, ulegając w nich pochłonięciu; im gaz jest gęstszy, tem krótszą przebyć w nim mogą drogę, dla tego to zapewne przy słabem rozrzedzeniu powietrza

w rurze światło katodalne ograniczone jest do bezpośredniego tylko sąsiedztwa katodu.

Doświadczenia z promieniami katodalnymi miały przed dwudziestu laty rozgłos znaczny, ale nie mniej głośną była i teoria, którą Crookes starał się zjawiska te wytłómaczyć. Przyjął on, mianowicie, że objawy fosforescencji wzniecane są przez bezpośrednie uderzanie, jakby przez bombardowanie cząstek materialnych, które od katodu odrzucane są czyli odpychane i w przestrzeni, gazami rozrzedzonymi zajętej, biegną po drogach prostoliniowych. Według hipotezy Crookesa, w rozrzedzeniu tak znacznym materya nie jest już gazem zwykłym, ale pozostaje w pewnym stanie „ultragazowym“, który obok stanu stałego, ciekłego i lotnego tworzy jeszcze dalszy, czwarty stan skupienia, a dla prostoliniowego właśnie przebiegu cząstek oznaczył Crookes stan ten nazwą „materyi promienistej“. Wyobrażał sobie, że rozproszone cząstki takiej materyi elektryzują się przez zetknięcie z katodem i odbiegają od niego w taki sposób, jak odskakują kulki rdzenia bżowego od naelektryzowanej płyty metalowej. Ostatni ten domysł okazał się nieuzasadnionym, a stąd też poza granicami Anglii hipoteza Crookesa stronników w ogólności nie miała; badania jednak ostatnich czasów przekonały, że rzeczywiście zdać sobie można sprawę ze wszystkich szczegółów zjawiska, jeżeli promienie katodalne uważać będziemy za złożone z cząsteczek niesłychanie drobnych, mniejszych aniżeli atomy materyi zwykłej, a wybiegających z katodu. W cząsteczkach tych odnajdujemy znane nam już elektrony, tym razem bardziej swobodne, a różne właściwości promieni katodalnych nastroczają możność poddania ich ścisłym dochodzeniom mierniczym.

Sposobność taką daje zwłaszcza działanie magnesów. Pod wpływem magnesu promień katodalny zbacza ze swej drogi, odchyła się od swego kierunku prostoliniowego i przyjmuje przebieg paraboliczny. Dzieje się tu, jak z pociskiem z działa wybiegającym lub z kamieniem rzuconym, który pod wpływem przyciągania ziemi pochyła się ku niej i w biegu swym łuk paraboli opisuje; skrzywienie zatem promienia katodalnego uważać można za dowód, że tworzy go prąd cząsteczek wyrzuconych.

Z doświadczeń tych zdołano obliczyć wielkość ładunku, jaki cząsteczka taka z sobą unosi, przez porównanie zaś z zachowaniem się jonów w elektrolitach oceniono, że z ładunkiem tym związana masa czyni zaledwie jakąś dwutysięczną część atomu wodoru

Wymiary atomów wodoru nie są nam wprawdzie wiadome, nie znamy bowiem wzajemnego ich odstępu w cząsteczce, jeżeli jednak zważymy, że średnicę cząsteczki, z dwu atomów złożonej, obliczono ze znacznym przybliżeniem na czterysta-milionową część centymetra, nie wyda się zapewne przesadnem porównanie Kaufmanna, że elektron w takim pozostaje stosunku do wielkości jakiegos bacillusa, jak ten ostatni do wymiarów całej ziemi. Zdumiewające są zaiste metody nauki dzisiejszej, skoro aż do drobiazgów tak nikłych sięgają. Również niesłychaną wszakże, jak drobnosć elektronów, jest też olbrzymia ich szybkość. Według pomiarów Wiecherta ujemnie naładowany elektron, z katodu wyrzucony, biegnie z prędkością, która przypada między $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{5}$ prędkości światła, wynosi zatem około 60 000 kilometrów na sekundę. Teorya cynetyczna gazów, która własności ich do ruchu cząsteczek sprowadza, prędkosć atomu wodoru oblicza na 1480 metrów; elektron zatem ożywiony jest prędkością dziesiątki tysięcy razy większą.

V.

Sprowadzenie promieni katodalnych do ruchu elektronów swobodnych otwiera teraz drogę i do wyjaśnienia promieni Röntgena, które od nich pochodzą bezpośrednio, rozbiegają się bowiem na zewnątrz rury Crookesa z tych jej punktów, które fluoryzują pod działaniem promieni katodalnych. Promienie Röntgena nie ulegają wpływowi magnesu i wyróżniają się nadto od promieni katodalnych łatwiejszą przenikliwością przez powietrze i inne ciała, ogólnemi jednak własnościami są dosyć do nich zbliżone, by jednaką drogą tłómaczyć się dały. Pojmować rzeczywiście można, że tak szybko biegnące elektrony promieni katodalnych, gdy uderzają o ciało stałe, wznieczają falę elektryczną i rozsyłają ją w przestrzeń, jak pocisk, uderzający o zawadę, wytwarza falę głosową w powietrzu; hipoteza taka daje się dobrze pogodzić z własnościami promieni Röntgena i znajduje nawet potwierdzenie w rezultatach pomiarów. Thomson oparł pomiary takie na spostrzeżeniu, że promienie te, przebiegając przez powietrze zupełnie wolne od pyłu i nasycone parą wodną, wywołują w niem wytwarzanie się mgły. Z dawniejszych doświadczeń Aitkena wiadomo, że mgła rozwijać się może jedynie, gdy w powietrzu unoszą się cząstki pyłu, na których gromadzą się kropelki wody; w braku pyłu

oziębiana wydziela się jedynie w postaci rosy i na ścianach naczynia osiada. Skoro więc promienie Röntgena w podobny sposób, jak pył zwykły, powstawaniu mgły sprzyjają, przyjąć można, że w tym razie jądrami kropelek mgły są drobne cząsteczki, z których się promienie te składają. Przytem zaś każda taka cząsteczka odstępuje ładunek swój elektryczny otaczającej ją kropelce wody, a ogólną ilość wywiązanej tą drogą elektryczności oznaczyć można przez pomiar stanu elektrycznego mgły. Thomson obliczył nadto ilość jej kropelek, skąd dalej ocenić można było i ilość elektryczności, jaką każda oddzielnie cząsteczka oswobodziła, a ilość ta okazała się zupełnie zgodną z ładunkiem elektrycznym, jaki jon wodoru przenosi w elektrolitach.

VI.

Za zaletę każdej teorii poczytujemy, gdy sprowadza jednolitość objawów, które poprzednio zgoła się odrębnymi wydawały. Nowa teoria elektronów powodzenie też takie w wielu razach osiągnęła. Tak, w szczególności, przewodnictwo elektryczności w metalach wyróżniano dotąd stanowczo od przenoszenia się jej w elektrolitach, czyli po prostu w cieczach, w których, jak widzieliśmy, dokonywa się udziałem jonów. Sprzeczność wszakże tego dwojakiego przewodnictwa ustępuje, gdy się do elektronów odwołamy. Skoro w promieniach katodowych elektrony wybiegają od biegunów metalowych, to już i wewnątrz metali posuwać się muszą ku ich powierzchni i w ten sposób sprawę przewodzenia elektryczności załatwiają. Podobnie więc jak w cieczach, tak też i w metalach przewodnictwo elektryczne polega na wędrówce elektronów, które tu wszakże są swobodne i niezależne, gdy w elektrolitach ciekłych związane są zawsze z atomami materyjalnymi, tworząc jony. Riecke i Drude poddali domysł ten dochodzeniu matematycznemu i wyprowadzili stąd wnioski, które dały się potwierdzić doświadczalnie. Leonard wykazał nadto, że gdy płyta metalowa wystawiona jest na działanie promieni pozafioletowych, elektrony jej podniecone zostają do drgania tak żywego, że z wielką szybkością wybiegają z jej powierzchni i tworzą promienie katodowe, jak przy wyładowaniu elektrycznym.

Ostatnie to doświadczenie prowadzi nas bezpośrednio do innej jeszcze kategorii promieni pokrewnych, zwanych promieniami Becquerela, a które wśród tych wszystkich promieni zagadkowych niewątpliwie najbardziej są zagadkowe.

Odkrycie promieni Röntgena, które, jak widzieliśmy, rodzą się pod wpływem fluorescencji, wzniecone działaniem promieni katodalnych na ściany rur Crookesa, nasunęło domysł, że w ogólności ciała, które mają własność świecenia, gdy są oświetlone światłem naturalnym, mogą również wysyłać pewnego rodzaju promienie niewidzialne. Przy dochodzeniach tych do świadczenia o obecności promieni domniemanych służyła płyta fotograficzna, a badania wykazały, że rzeczywiście własność wysyłania promieni bez żadnej podniety zewnętrznej posiadają jedynie związki dwu pierwiastków, uranu i toru. Promienie uranowe wykrył Becquerel w r. 1896, a promienie torowe wkrótce potem Curie wraz z żoną swoją, panią Skłodowską-Curie, oraz współcześnie G. C. Schmidt. Małżonkowie Curie, przypuszczając, że zdolność wysyłania promieni nie przypada samym związkom uranowym, ale jest własnością innego, towarzyszącego im pierwiastku, starali się go wydzielić ze smoły uranowej, a po wielu zmudnych operacjach chemicznych wydobyli przetwór, którego czynność promieniotwórcza dziesiątki tysięcy razy przewyższyła działalność uranu. Zdolność emisyjną tak wydzielonej substancji przypisali nowemu pierwiastkowi, któremu pani Curie nadała nazwę „polon“ (polonium). Ma to być pierwiastek pokrewny bizmutowi, a prócz niego małżonkowie Curie wykryli w tejże smole uranowej inny jeszcze pierwiastek „rad“ (radium), który występuje zawsze w towarzystwie baru. Obecność radu ujawnia się pewną linią w widmie preparatów czynnych, której nie zawiera widmo baru zwykłego; podobnego potwierdzenia widmowego dla polonu nie otrzymano, istnienie pierwiastku tego jest więc bardziej wątpliwem, aniżeli radu. W ogólności wydzielenie takich substancji „promieniotwórczych“ czyli „radioaktywnych“ jest nader mozolne, z tysięcy bowiem kilogramów rud uranowych lub barytowych otrzymuje się kilka ledwie gramów materiału silnie działającego. Promienie, przez ciała te wysyłane, co do własności swych zajmują niejako miejsce pośrednie pomiędzy promieniami katodalnemi i promieniami Röntgena; czernią płytę fotograficzną, wywołują świecenie ekranu pokrytego cyankiem baru i platyny, oraz wielu innych ciał, przedzierają się przez ciała nieprzezroczyste podobnie jak promienie Röntgena, rozpraszają ładunki ciał naelektryzowanych jak promienie pozafioletowe, ulegają wpływowi magnesu jak promienie katodalne. Działają nawet bezpośrednio na oko, preparat bowiem radu, do oka dostatecznie

zbliżony, wywołuje wrażenie światła, które też występuje, gdy preparat taki przyłożymy do czoła lub do skroni. Prawdopodobnie też promienie Becquerela nie są zupełnie jednorodne, ale składają się z promieni różnego rodzaju, posiadających niejednakową zdolność przenikania przez rozmaite ciała.

Być zresztą może, że osobliwa ta zdolność samodzielnego wysyłania promieni nie jest tak ściśle ograniczona do pewnej tylko kategorii pierwiastków, niektóre bowiem metale i inne ciała, jeżeli wystawione były na działanie promieni Becquerela, same zyskują własność wysyłania podobnych promieni, chociaż taka promieniotwórczość wywołana trwa przez pewien czas tylko, słabnie i niknie wreszcie. Ale nawet sam uran i jego sole nie posiadają stateczności zupełnej, okazują niekiedy działalność słabszą, a nawet tracą ją zupełnie i znowu odzyskują.

Preparat uranowy, który po strąceniu soli barytowych wydawał się zgoła nieczynnym, odzyskał po upływie półtora roku dzielność pierwotną, gdy natomiast wydzielony siarczan baryty, który początkowo działał silniej, niż uran, moc swą utracił. Zawisłość tę rozjaśnić będą mogły dopiero badania dalsze, dotąd nieliczne z powodu trudności otrzymywania preparatów, nadających się do doświadczeń. Jednakże zdołano już oznaczyć prędkość i zachowanie się elektryczne promieni Becquerela, a pod tym względem zbliżają się dostatecznie do promieni katodalnych, by je również za objaw elektronów uważać można było. Ciała promieniotwórcze były-by według tego grupą związków chemicznych, w których elektrony wydzielają się wskutek pewnego rozszczepienia wewnętrznego i pod wynikającym stąd naciskiem wyrzucane zostają na zewnątrz. Można-by sądzić, że przy tak ciągłej utracie substancji ciała promieniotwórcze winny na ciężarze swym tracić; jeżeli jednak ciała wonne bez wyraźnego uszczerbku przez długie lata cząstki swe rozsyłać mogą, to niewątpliwie ubytek ciężaru preparatu uranowego lub barytowego dałby się chyba dostrzedz po upływie całych tysiącleci zaledwie.

VII.

Poznaliśmy udział elektronów w objawach chemicznych i elektrycznych, ale rozpostarły się też dalej i wtargnęły także do Optyki. Jest to już zresztą następstwo konieczne poglądów dzisiejszych na istotę światła, według których drgania świetlne są

rezultatem zakłóceń elektromagnetycznych i stanowią tylko pewną kategorię fal elektrycznych. Teorya jednak elektromagnetyczna światła, rozwinięta przez *Maxwella* a poparta przekonywającymi doświadczeniami *Hertza*, obejmuje wprawdzie dokładnie wszelkie zjawiska, dopóki fala świetlna rozpościera się w eterze swobodnym, w przestrzeni wolnej, nie nagina się już jednak dobrze do objawów, które występują, gdy promień przedziera się przez ciała przezroczyste. Następuje wtedy przecież rozszczepienie promienia, rozdział jego na barwy oddzielne, co dokonywa się niewątpliwie przy udziale cząstek ciała, pod wpływem drgań ich własnych; ale ociężałe ruchy atomów materialnych zachowywały się zbyt odpornie względem wpływów fali elektrycznej i stawiały całej teorii szkopuł nieprzewyciężony, który ustąpił dopiero, gdy w miejsce cząstek materialnych odwołano się do atomów elektrycznych, do elektronów. Dopóki przez roztwór soli kuchennej przebiega prąd elektryczny o natężeniu statecznym, lub dopóki przerwy i zmiany prądu tego nie następują zbyt nagle po sobie, atomy chloru i sodu pozostają w związku ze swemi ładunkami elektrycznymi i przebiegają, jako jony nierozszczepione; gdy wszakże zmienność ta dokonywa się z szybkością tak znaczną, jak to ma miejsce w drganiach świetlnych, elektrony ulegają ruchom samodzielnym, niezależnym od atomów materialnych, które za niemi nadażyć nie mogą. W falach świetlnych, przedzierających się przez ciała przezroczyste, znajdujemy elektrony swobodne, jak je poznaliśmy już w promieniach katodowych; na objawy świetlne i elektryczne ciało materialne działa jedynie za pośrednictwem elektronów, które w niem są zawarte; fala świetlna oddziaływa na drgania tych elektronów i sama pod ich wpływem przeobrażeń doznaje. Na tej podstawie, zgodnie z zasadami teoryi elektromagnetycznej światła, dały się wyjaśnić nie tylko objawy rozszczepienia, ale i liczne inne szczegóły, z którymi dawniej radzić sobie nie umiano, a między niemi i własności optyczne ciał w ruchu pozostających. Badaniom tym dały początek prace *Lorentza* w roku 1892, a w ciągu lat kilku tak dalece zostały rozwinięte, że *Drude* mógł już w roku 1900 ogłosić systematyczny wykład Optyki, na tej podstawie oparty.

I do obliczenia też wielkości elektronów otrzymać można z objawów optycznych dane dostateczne. Posłużyć do tego mogą zwłaszcza zmiany, jakim ulega promień światła, gdy poddany jest działaniu magnesu. Wpływ magnesu na światło poznał już

F a r a d a y, ale szczególnie uderzające jest zjawisko, dostrzeżone przez Zeemana w roku 1896. Wiadomo, że rozżarzona para sodowa świeci jednorodnym światłem żółtym, co znaczy, że widmo jej składa się z jednej tylko linii żółtej; w rozszczepieniu silniejszym jasna ta linia okazuje się podwójną, czyli złożoną z dwóch linii jasnych, smugą ciemną rozdzielonych. Jeżeli wszakże płomień sodowy umieszczony zostaje w silnem polu magnetycznem, widmo jego przeobraża się w sposób osobliwy; każda z tych linii żółtych podwaja się albo potraja, w miejsce więc jednej linii podwójnej powstaje widmo złożone z czterech lub też z sześciu linii oddzielnych, a to zależnie od kierunku działania sił magnetycznych. Podobnemu podwajaniu lub potrajaniu ulegają też linie widmowe innych par i gazów.

W duchu przedstawionych tu poglądów świecenie ciał pojmować należy jako objaw drgania czyli ruchu peryodycznego jonów, a raczej związanych z niemi elektronów, które w środku otaczającym wzniesają fale elektromagnetyczne, jednakiego z własnym ich ruchem peryodu, czyli stają się źródłem światła oznaczonej barwy. Objaw zatem Zeemana świadczy, że magnes wywołuje w drganiu tem zmiany, a z rozsunięcia wytworzonych przez rozdwojenie linii, natężenia użytego pola magnetycznego i innych szczegółów doświadczenia obliczyć się daje, że masa elektronu drgającego w płomieniu sodowym jest $\frac{1}{38\ 000}$ częścią masy atomu sodu. Ponieważ zaś atom sodu przewyższa 23 razy masę atomu wodoru, okazuje się stąd, że elektron czyni około $\frac{1}{20\ 000}$ części atomu wodoru, a zgodność tej liczby z przytoczonymi wyżej rezultatami pomiarów, innymi metodami dokonanych, daje dalsze potwierdzenie całej teorii. Doświadczenia te składają nadto dowód, że i w tym razie elektron drgający jest zawsze ujemnie naładowany, gdy elektron dodatni w ruchu tym udziału nie bierze.

VIII.

Gdy nowa teoria otwiera naraz widoki rozległe i nieoczekiwane, starają się pod jej skrzydłami znaleźć przytułek nierozjaśnione jeszcze działy nauki, nierozwikłane obszary zjawisk. W warunkach takich znajduje się kwestya elektryczności atmosferycznej, jakkolwiek bowiem już pierwsze doświadczenia z machiną elektryczną nauczyły, że piorun jest objawem wyładowania elek-

trycznego, nie zdołano aż dotąd w sposób zadawalający wykryć źródeł elektryczności, która przecież nietylko podczas burzy, ale i w warunkach normalnych w atmosferze naszej występuje. Rzecz więc naturalna, że i na tem polu od teorii jonów pomocy zażądano.

Widzieliśmy już, że gazy w pewnych warunkach stają się przewodnikami elektryczności, zatem jonizują się, czyli przejmują jonami, które w nich, podobnie jak w elektrolitach, ładunki elektryczne przenoszą. Poznano rzeczywiście, że powietrze jonizuje się łatwo przez działanie skrajnych promieni pozafioletowych; promienie takie dobiegają niewątpliwie od Słońca, chociaż ulegają łatwo pochłanianiu i są już przez górne warstwy atmosfery zatrzymywane. Niezależnie zaś od tej podniety, posiada powietrze zdolność samodzielnego wytwarzania jonów, których ilość zawisła od przestrzeni odgraniczonej, w której powietrze poddane zostaje doświadczeniu, od jego temperatury i ciśnienia, a kres tego wywiązywania się jonów swobodnych następuje, gdy w danym czasie tyleż ich znowu wiąże się w cząstki obojętne, ile się w tym-że czasie na nowo wytwarza.

Skoro więc w atmosferze jony takie rozwijać się mogą, odwołać się tylko potrzeba jeszcze do większej ruchliwości jonów ujemnych, by pojąć źródło elektryczności atmosferycznej. Przebiegające szybko jony ujemne ładunek swój elektryczny znoszą wciąż na powierzchnię Ziemi, gdy powietrze elektryzuje się dodatnio od pozostających w niem jonów dodatnich; kres zaś tego działania ma znowu miejsce, gdy pod wpływem wzrastającego ładunku ujemnego Ziemi przebieg opieszłych jonów dodatnich tak znacznie się przyspiesza, że dalszy dopływ jonów ujemnych ulega zubożeniu. Rzeczywiście, w warunkach normalnych jest zawsze powierzchnia Ziemi naelektryzowana ujemnie, powietrze zaś dodatnio, a dalsze szczegóły dają się już na tej podstawie bez naciągania wyjaśnić. Zupełne wszakże uzasadnienie pogląd ten zdobyć może jedynie przez pomiary ścisłe, które na każdym kroku dla każdej teorii być muszą kamieniem probierczym.

Elektryczność atmosferyczna prowadzi nas dalej łatwo do zorzy biegunowej, która wspaniałe swe blaski rozlewa w górnych warstwach powietrza, gdzie właśnie główne źródło jonów jego przypada. Gdy stąd myśl nasza pomknie dalej jeszcze, do stref pozaziemskich, następuje się uwadze korona słoneczna, która jedynie w czasie całkowitego zaćmienia słońca blask swój zagadkowy

nam ukazuje; przypominają się też ogony komet, które tak silnie zawsze ciekawość naszą drażnią. Są to zjawiska w pewnej mierze pokrewne prawdopodobnie, wszystkie niedostatecznie jeszcze wyjaśnione, a które może teoria elektronów lepiej nam zrozumieć dozwoli.

Gdybyśmy dalej jeszcze posuwać się chcieli w obszarze przypuszczeń i hipotez, dotąd nieuzasadnionych, widzieli-byśmy może w tych, tak niewypowiedzianie drobnych atomach elektrycznych, zarodki, grupujące się w atomy materji zwykłej, zmysłom naszym dostępnej. Ale i na tym punkcie nie urywają się jeszcze i nie ograniczają domysły nasze; być bowiem może, że co się nam w tych drobiazgach jako masa przedstawia, jest to objaw pewnych działań elektrodynamicznych, opór, przez pewną indukcję elektryczną wywołany. Jeżeli zaś atom elektryczny jedynie wskutek swych własności elektrodynamicznych zachowuje się jak bezwładny atom materialny, to i ogólne pojęcie materji dało-by się sprowadzić do objawów elektrycznych. Potęga elektryczności w nauce wzrasta i coraz rozleglejsze obejmuje koło.

Jak dalej rozwinię się teoria atomów elektrycznych i jakim ułedz może przeinaczeniom, tego przewidzieć nie można w czasie, gdy ledwo się zrodziła. Okazała już jednak żywotność swą w tem, co główną zaletę każdej hipotezy naukowej stanowi, — dała podnieść do nowych badań i nowe drogi im ukazała. Pod jej tchnieniem nawet Optyka, która obok Mechaniki jest najstarszą gałęzią Fizyki i która niedawno jeszcze tak wydawała się zaokrągloną i wykończoną, świeże wypuściła latorośle i odmłodnionem życiem zakwitła.

XII.

CIAŁA PROMIENIOTWÓRCZE i ROZPAD ATOMÓW.

Co przed kilku laty pisałem o „atomie elektrycznym“ w „Bibliotece Warszawskiej“¹⁾, uczyniło mnie mimowolnym jej dłużnikiem, wymaga to bowiem teraz znacznego już uzupełnienia. Sprawy tam poruszone rozwinęły się osobliwie, wysunęły się na tło przednie nauki i wygórowały tak wysoko, że odsłoniły widnokreśli rozległe, zgoła nowe i nieprzewidywane.

Jeżeli jednak obowiązkiem jest piszącego dokończyć, co zaczął, nie jest bynajmniej obowiązkiem czytelnika pamiętać, co przeczytał. To niech mnie usprawiedliwi, że pewnych przypomnień uniknąć mi tu niepodobna.

Atomy elektryczne poznaliśmy najpierw, jako najdrobniejsze cząstki elektryczne z atomami materyalnemi, chemicznemi, związane w „jonach“, występujących przy rozkładach chemicznych, działaniem prądu elektrycznego powodowanych, ale ukazały się nam i w stanie bardziej swobodnym, jako „elektrony“, w promieniach katodalnych zwłaszcza. Promienie te, doniosłego w nauce znaczenia, nie przebiegają zapewne żywo w pamięci naszej, ale za błysną w niej niezawodnie, skoro przytoczę, że są rodzicami bezpośredniemi promieni Röntgena, których odkrycie w grudniu r. 1895 tak powszechne i żywe wzbudziło zajęcie.

Przypominamy sobie teraz, że promienie katodalne powstają przy wyładowaniu elektrycznem w rurze Geisslera, gdy rozrzedzenie w niej powietrza doprowadzone zostaje do kresu, jaki za pomocą najdokładniejszych pomp rtęciowych osiągnąć można; wybiegają z katodu czyli z bieguna ujemnego, rozchodzą się po liniach prostych, a w punktach, gdzie uderzają o szklaną ścianę rury, wzniesają jej świecenie czyli fluorescencyę. Jak widzieliśmy,

¹⁾ Patrz szkic poprzedzający: „Atom elektryczny“.

ze wszystkich szczegółów tego zjawiska zdać sobie można sprawę najlepiej, jeżeli przyjmujemy, że promienie katodalne złożone są z elektronów, z cząstek niesłychanie drobnych, o wiele mniejszych, aniżeli atomy materii zwykłej, a rozbiegających się z prędkością olbrzymią, przypadającą między $\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{3}$ szybkości światła, co czyni około 60 tysięcy kilometrów na sekundę. Promienie Röntgena pochodzą od promieni katodalnych bezpośrednio, rozbiegają się bowiem na zewnątrz rury Geisslera z tych jej punktów, które fluoryzują pod działaniem promieni katodalnych; pojmować można, że tak szybko biegnące elektrony, gdy uderzają o ciało stałe, wznecają falę elektryczną i rozsyłają ją w przestrzeń, jak pocisk potracający o zawadę wytwarza falę głosową w powietrzu. Hypoteza taka daje się dobrze pogodzić z promieniami Röntgena, których własności będziemy mieli sposobność w dalszym ciągu przypomnieć.

Odkrycie zdumiewających tych promieni Röntgena dało podniecie do badań pokrewnych. Nasunął się przedewszystkiem domysł, że powstawanie zagadkowych tych promieni wiąże się w ogólności z objawami fluorescencji; starano się więc dojść, czy różne ciała, które mają własność świecenia, gdy są światłem naturalnem oświetlone, mogą również wysyłać pewnego rodzaju promienie niewidzialne. W kierunku tym prowadzone doświadczenia fizyka francuskiego Henryka Becquerela zostały powodzeniem uwieńczone. Poddawał badaniom mianowicie związek uranu, znanego pierwiastku chemicznego, występującego w kilku minerałach; wystawiał je na działanie promieni słonecznych, a następnie w izbie zaciemnionej mieścił je na płycie fotograficznej, papierem osłoniętej. Tą drogą okazało się, że rzeczywiście sole uranowe są źródłem promieni przedzierających się przez papier lub cienką blachę metalową i wywierających wpływ na płytę fotograficzną. Oczekiwana jednak łączność nowych tych promieni z objawami fluorescencji nie ujawniła się bynajmniej, też same bowiem działania otrzymał Becquerel przy użyciu przetworów uranowych, które poprzednio zgoła oświetlone nie były i przez czas dłuższy w ciemności pozostawały, a tem samem nie fluoryzowały zgoła, nie świeciły. Becquerel więc odkrył nowy rodzaj promieni, promienie uranowe czyli promienie Becquerela, a uran okazał się ciałem „radioaktywnem“, to jest „promieniotwórczem“. Nie pozostał wszakże jedyną w rodzaju swoim substancją, wkrótce bowiem okazał Curie wraz z żoną swoją, panią Skłodow-

ską-Curie, a współcześnie z nimi i profesor G. C. Schmidt w Erlangen, że podobnież zdumiewającą własność wysyłania promieni bez żadnej podniety posiadają także związki innego jeszcze pierwiastku, toru mianowicie.

Wiadomo, jak wielki rozgłos zyskały dalsze poszukiwania obojga małżonków Curie, które im zjednały wielką nagrodę Nobla. Pani Skłodowska-Curie przeprowadziła przegląd systematyczny wszystkich znanych pierwiastków chemicznych i przekonała się, że prócz uranu i toru żaden inny pierwiastek nie ujawnia podobnych działań, dających się przy pomocy jej przyrządów wykryć. Okazało się przytem, że niektóre minerały uranowe okazują działanie silniejsze aniżeli sam uran, a w szczególności tak zwana uranowa ruda smołowa, znajdująca się w Jachimowie (Jachimsthal) w Czechach, która promieniotwórczą swą działalnością trzy lub cztery razy nad czystym uranem góruje; można tedy było przypuszczać, że w rudzie smołowej prócz uranu znajduje się inna jeszcze, silniej radioaktywna substancja. Domysł był słuszny: z rudy smołowej dobyli małżonkowie Curie pierwiastek bajecznych własności, któremu nadali nazwę rad (radium). Z jakimi walczyć przychodziło tu trudnościami, pojmiemy łatwo, gdy zważymy, że z tysiąca kilogramów smoły uranowej zdołano wydobyć zaledwie czwartą część grama, czyli pięćdziesiątą część łuta chloru radu, ale i w niej, jak widzimy, zawiera się on w ilości nader skąpej, tworzy bowiem zaledwie część cztero-milionową ogólnej jej masy; należało stopniowo wydzielać z niej części, coraz bardziej zalecające się silną działalnością promieniotwórczą, by wreszcie szukaną substancję w zupełnej zdobyć czystości. Pani Skłodowska-Curie osiągnęła istotny rekord analizy spektralnej, który najczulsze dotychczasowe metody stokrotnie przewyższa.

Prócz radu wykryła pani Skłodowska nadto inny jeszcze pierwiastek promieniotwórczy, który na cześć swej ojczyzny nazwała polon (polonium), a do tej grupy przybył jeden jeszcze pierwiastek, podobnież własności posiadający, aktywny (actinium), odkryty przez Debierne'a. Z tych trzech nowych pierwiastków najlepiej znany jest rad, chociaż w stanie elementarnym dotąd otrzymać go nie zdołano; posiadamy go jedynie w związku z chlorem lub bromem, ale ciężarem swym atomowym i właściwem swem widmem cechuje się dokładnie, jako pierwiastek odrębny.

Ciała promieniotwórcze objawiają swą obecność jedynie wysyłanemi przez siebie promieniami. Promienie te są niewidzialne

ale o istnieniu ich świadczą prowadzane przez nie zjawiska: wywołują świecenie ciał fosforyzujących lub fluoryzujących, gdy na nie padają; wywierają wpływ na płytę fotograficzną, a wreszcie rozpraszają ładunki elektryczne. Powietrze jest w zwykłych warunkach izolatorem, ciała naelektryzowane chroni od utraty ich ładunku; pod wpływem promieni, o których mowa, staje się przewodnikiem i rozbraja ciała naelektryzowane. Do dochodzeń tych wystarcza zwykły elektroskop. Do pręta metalowego, zakończonego w górze gałką, przyczepione są dwa listki cienkiej blachy złotej lub glinowej, które dla osłony od prądów powietrznych osadzone są w naczyniu szklanem, gdy górna gałka zewnątrz niego wyziera. Jeżeli kulka ta w jakikolwiek sposób naelektryzowaną zostaje, chociażby tylko przez dotknięcie potartą laską laku, ładunek elektryczny udziela się także prądkom złotym lub glinowym, które tedy wskutek wzajemnego odpychania rozsuwają się między sobą, a jeżeli przyrząd dokładnie jest wyrobiony, czekać potrzeba godzinę albo dłużej, zanim nastąpi wyraźne zbliżenie się listków, wskazując ubytek ładunku elektrycznego. Inaczej się dzieje, jeżeli w pobliżu elektroskopu umieścimy jakikolwiek przetwórcę radu: listki opadają i zbiegają się szybko, ładunek elektryczny niknie prawie natychmiast. Jeżeli zamiast prostego takiego elektroskopu odwołamy się do elektrometru bardzo dokładnego, mamy przyrząd mierniczy, który dla wykazania drobnych śladów substancyj promieniotwórczych tysiąc razy jest czulszy, aniżeli wszelkie inne znane metody analizy fizycznej lub chemicznej. Prędkość, z jaką rozprasa się ładunek elektryczny przez rozmaite przetwory, daje miarę stopnia ich promieniotwórczości, a tą drogą poznano, że dany ładunek elektryczny w jednakich warunkach pod wpływem czystego chlorku radu ulega nieledwie milion razy szybszemu rozproszeniu, aniżeli przez działanie jednakiej ilości uranu metalicznego.

W wielu razach ważną pomoc przy dochodzeniach tych daje metoda fotograficzna, pozwala bowiem śledzić kierunek rozbiegających się promieni, a ponieważ płyty na działanie promieni przez czas dowolnie długi wystawiać można, otrzymujemy skutki widoczne i w tych nawet razach, gdy natężenie promieni zbyt jest słabe, by się natychmiast ujawniło.

Wspomnieliśmy też, że promienie ciał promieniotwórczych pobudzają świecenie ciał mających własność fluoryzowania; tem się tłumaczy, że chlorek radu jaśnieje w ciemności, jakby robaczek

świętojański, wysyłane bowiem przez bryłkę taką promienie wywołują własną jej fluorescencyę. Gdy na skroni lub na oku zamkniętem kryształ taki umieścimy, oko wypełnia się światłem, wszystkie bowiem jego części, a zwłaszcza soczewka, pod wpływem promieni radu świecić zaczynają.

Podobnie, jak promienie Röntgena, tak też i promienie radu przedzierają się w niejednakiej mierze przez metale, kości, mięśnie, dla tego też chciano je zamiast promieni Röntgena stosować do otrzymywania obrazów różnych części ciała ludzkiego, które chirurgii i w ogólności badaniom lekarskim tak wielkie oddają usługi; w takim razie byłby zbyteczny cały zbiór potrzebnych do tego przyrządów. Okazało się jednak, że do celu tego nie są przydatne, przez rozmaite bowiem tkanki ciała ludzkiego przenikają z jednaką prawie mocą, powstające więc stąd obrazy nie okazują różnic dosyć wyraźnych w szczegółach budowy wewnętrznej przedmiotów badanych. Wywierają nadto wpływ szkodliwy na ciało ludzkie, a prawie wszyscy badacze, którzy z radem mieli do czynienia, pomimo wszelkich ostrożności, ulegli bolesnym następstwom tych wpływów. Gdy ponad drobną bryłką trzymamy przez kilka minut palec, doznaje on silnego zapalenia skóry, które się z trudem leczy. Doświadczenia te zwróciły uwagę, czyby promieniami radu nie dało się zwalczyć złośliwych nowotworów, jak raka i wilka, ale to dotąd do rezultatów stanowczych nie doprowadziło.

Promienie radu zresztą nie są jednorodne, podobnie jak promienie światła wysyłanego przez Słońce lub przez ziemskie nasze płomienie. Oko bezpośrednio różnic tych nie dostrzega i otrzymuje wrażenie jednolite, ale gdy wiązka światła słonecznego lub jakiegokolwiek innego przebiega przez pryzmat, składające ją promienie różnobarwne odchylają się w niejednakowej mierze od pierwotnego swego kierunku i ukazują się w widmie rozdzielone między sobą.

Podobnie dzieje się z promieniami radowemi; pryzmat wprawdzie usługowych nam tu odmawia, zastępuje go jednak magnes, promienie te bowiem ulegają wpływowi magnesu, ale w niejednakowy sposób; gdy przebiegają między biegunami magnesu, część ich jedna pozostaje względem niego obojętna i zachowuje pierwotny swój kierunek prostolinijny, część druga skręca w jedną stronę, ku jednemu biegunowi, część trzecia wreszcie odchyła się w stronę przeciwną. Za przykładem Rutherforda,

któremu najstaranniejsze w rzeczy tej badania zawdzięczamy, nadajemy trojakim tym promieniom nazwę promieni α , β i γ .

Promienie α zachowują się, jak dodatnio elektrycznie naładowane cząsteczki wielkości atomów chemicznych, które ze znaczną szybkością przez rad są wyrzucane. Mają słabą tylko zdolność przenikliwości, przedzierać się nie mogą nawet przez papier, a w powietrzu zatrzymywane są przez warstwę o kilku zaledwie centymetrach grubości. Promienie β są to cząsteczki o wiele drobniejsze, naładowane ujemnie; pod każdym względem wyrównują się promieniom katodowym, a w tych drobnych cząsteczkach odnajdujemy znane nam elektrony. Promienie γ wreszcie odpowiadają promieniom Röntgena, przedzierają się nader łatwo przez przegrody i poza płytą ołowianą grubości dziesięciu centymetrów wywierają jeszcze działania fotograficzne. Różne spostrzeżenia prowadzą do wniosku, że promienie γ w podobny sposób wytwarzane są przez promienie β , jak promienie Röntgena rodzą się z promieni katodowych; są to więc objawy wtórne, powstają przez uderzanie promieni β o zawady stałe, przede wszystkim o cząstki samychże ciał promieniotwórczych.

Zdumieni stajemy wobec substancji tak osobliwej, ziejącej wciąż samodzielnie promieniami bez żadnej podnieci zewnętrznej, ale zdumienie nasze wzmagają się jeszcze, gdy poznajemy, że kryształ chlorku radu jest także ustawicznym źródłem ciepła, posiada temperaturę wyższą aniżeli otoczenie jego. Dokładne doświadczenia wykazały, że jeden gram radu wywiązuje w ciągu godziny 104 ciepłotki, co znaczy, że wytwarzaniem w ciągu tego czasu ciepłem mógłby gram wody o jeden stopień ogrzać. Tak samo działają i inne ciała promieniotwórcze, chociaż w słabszej mierze; jeden gram tlenku uranu w ciągu całego roku wywiązuje zaledwie 0,032 ciepłotki. I ilość ciepła przez rad dostarczanego wydawać się może drobną, ale zważmy, że idzie tu o gram tylko; kilogram radu wystarczyłby do ogrzania izby w ciągu całej zimy, a wobec tego jakżeż słabą przedstawia się skuteczność zwykłych naszych materiałów opałow. Co większa, gdybyśmy w końcu zimy zasób nasz radu na wadze umieścili, nie dostrzegliśmy żadnego zgoła ubytku, żadnej zmiany; byłby to znowu kilogram i takąż samą wysyłałby ilość ciepła.

Objaw ten uderza swą zagadkowością, wydaje się sprzeczny z całym fundamentem wiedzy przyrodniczej. Gdy płonie węgiel, zużywa się przytem; przeobrażenia chemiczne, jakim ulega, są

źródłem ciepła, energii wywiązującej się przy jego paleniu, ale skądżeż rad czerpie niewyczerpany zasób swej energii? Widzieliśmy, że kryształ taki rozsyła nieprzerwanie trojaki promień, wytwarza wciąż ciepło w ogromnych ilościach, a pomimo to najczulsze nasze metody, najdokładniejsze przyrządy nasze nie wykazują w nim żadnego przeobrażenia, żadnego ubytku. Niespodziany ten objaw urąga przecież zasadzie zachowania energii, która nad przyrodą całą panuje. Od połowy minionego stulecia pojmujemy, że zasób energii w przyrodzie pozostaje stale jednaki, energia nie wytwarza się z nicości, ani się w nicą rozwiewa. Z przeobrażeniami jedynie spotykamy się energii; wszystkie sprawy przyrody i wszystkie czynności nasze na zmianach jej form polegają tylko, ogólny jej zasób we wszechświecie niezmienny zawsze pozostaje. A teraz zasadzie tej, która jest podstawą wszelkich naszych pojęć o przyrodzie, przeczy drobna bryłka radu, rodzi energię bez żadnej utraty równoważnej, bez nakładu widocznego.

Niezlomność tej zasady, tak naczelnie panującej w nauce, wydała się przez chwilę naruszona. Niepewność jednak nie trwała długo; zbiegły się szczęśliwie liczne i różne badania, by rozproszyć pomroki, ścielące się w dziedzinie nowo-odkrytej. Niespodziane te zjawiska nie po to przybyły, by bankructwo nauki dotychczasowej sprowadzić, nie zachwiały bynajmniej zasadą zachowania energii, ale raczej ujawniły nowe jej źródła, dotąd przed wzrokiem naszym utajone, nieprzewidywane zgoła, a miliony razy sowitsze, aniżeli wszystkie jej zasoby dotychczas poznane i zbadane, które zdołaliśmy do usług naszych zmaglić.

Gdy chemik w pracowni swej ciała przeinacza, gdy związki jedne w inne przetwarza, przekształca jedynie układ atomów, nadaje im nowe uporządkowanie w cząsteczkach, które się z nich składają. Poznaliśmy, jak cząsteczki budują się z atomów i jak się na atomy rozszczepiają, oznaczyliśmy ilości energii, które się przy przeobrażeniach tych oswoadzają lub wiążą. Pierwiastki jednak chemiczne i ich atomy pozostawały nietknięte, opierały się wszelkim zamachom. Świat przedstawia się nam zbudowany z pewnej, ograniczonej liczby ciał elementarnych, odrębnych między sobą; pierwiastki chemiczne są to substancje, nie dające się już dalej rozkładać; atomy usprawiedliwiają swą nazwę jako niedziałki, których już rozszczepiać niepodobna.

Mnożyły się jednak skazówki, że odrębność pierwiastków chemicznych nie jest tak bezwzględnie stanowcza, jak wydawało

się twórcom Chemii nowoczesnej; ujawniało się coraz silniej pomiędzy nimi pokrewieństwo, które upoważniało domysł, że dzisiejsze nasze pierwiastki chemiczne składać się mogą z niewielu jedynie pierwiastków rzędu wyższego, a może powstały i z jednej tylko substancji pierwotnej, ale poglądy te nie miały poparcia doświadczalnego, żadnem dostrzeżeniem istotnem poprzeć się nie dawały; atomy w pojęciach naszych były to zawsze najdrobniejsze cząstki materji, dalej już niepodzielne.

Stan ten rzeczy zmienił się jednak. W elektronach poznaliśmy teraz utwory od atomów mniejsze, tysiąc przeszło razy drobniejsze, aniżeli atom wodoru. Dały się uchwycić w promieniach katodalnych, występują w mnóstwie innych objawów, wyrwywają się i z ciał promieniotwórczych. Zkądżeż się w nich biorą, jak tam powstają? Czyż nie można przyjąć, że atomy tych ciał promieniotwórczych są w pewnym stopniu rozkładu i rozpadają się na swe części składowe? Może więc w elektronach odkryliśmy substancję pierwotną, we wszystkich ciałach zawartą, z której świat cały jest zbudowany? Pomysł ten podjął szczególnież fizyk amerykański Rutherford i rozwinął nową teorię dezintegracji czyli rozpadu atomów, która w krótkim czasie zyskała potwierdzenie całym szeregiem odkryć nowych i faktów niespodzianych.

Przedewszystkiem w teorii tej rozpadu atomów znajduje rozwiązanie zagadka, która najcięższy nam szkopuł nastęrczała, pytanie, skąd ciała promieniotwórcze niewyczerpany zasób energii swej biorą. Pojmujemy teraz łatwo, że źródło jej tkwi w dokonywających się w łonie atomu procesach. Gdy rozpada się budowa tak ścisła, jaką niewątpliwie jest atom, który przecież opiera się wszelkim usiłowaniom naszym do jego rozbicia zmierzającym, oswobadzać się muszą niezmierne ilości energii, wielokroć potężniejsze, aniżeli przy zwykłych naszych działaniach chemicznych, gdy w grę wchodzą jedynie cząsteczki, molekuly, zbiorowiska atomów, słabszem daleko wiązaniem ze sobą spojone. Samo odrywanie się elektronów radu rodzi energię jego, wyzwala ją raczej.

Zapewne, zaprzeczyć nie można, że do pojmowania takiego wyobraźnia nasza z wysiłkiem zaledwie naginać się może. Każdemu elektronowi przypisać przecież winniśmy pewną w przestrzeni rozciągłość, która obliczyć się daje, jeżeli przyjmujemy jakąkolwiek postać oznaczoną, formę kulistą najłatwiej. Rachunek w tym razie uczy, że promień takiej bryłki kulistej wynosi zaledwie trylionową część milimetra, a w tak skupionym ładunku elektrycz-

nym istnieć mają siły niezmierne, które zmierzają do rozerwania części oddzielnych. Są tu trudności pewne, które dalsze dopiero badania rozjaśnić zdołają. Jak niegdyś umysł ludzki stopniowo zaledwie oswajał się z niezmiersonymi wymiarami wszechświata, tak teraz z mozołem również wdzierać się musi do świata atomów, by wyczytać prawa, rządzące ruchami tych drobiazgow niepojętych.

Ponieważ każdy pierwiastek chemiczny cechuje się właściwym sobie widmem liniowym, co znaczy, że w stanie świecącym oznaczone drgania świetlne wysyła, każdy przeto atom stanowić musi układ niezmienny. W sposób najprostszy możnaby atom pojmować, jako pewien system planetarny, do najdrobniejszej skali zredukowany, złożony z dodatnio naładowanej bryły centralnej i krążących dokoła niej elektronów ujemnych, jak Ziemia i pobratymcze jej planety po drogach przepisanych wiecznie Słońce obiegają. Układ jednak taki dla wysyłanej przez elektrony energii nie mógłby się utrzymywać statecznie i niezmiennie; należy przeto odwołać się do układu, w którym elektrony pozostają we względnym wzajemnie spoczynku, ale i z wyobrażeniem takim trudno się pogodzić. Podobne pomysły są jednak przedwczesne; zbyt mało jeszcze o elektronach wiemy, by wewnętrzną strukturę atomów odgadywać. Spodziewać się wszakże można, że jak dziś chemik rozmaitym układem atomów w cząsteczkach rozmaitość związków tłumaczy, tak z czasem z liczby i ugrupowania elektronów wyjaśnia się odrębne cechy różnych pierwiastków. Tymczasem wystarczać nam musi świadomość, że atom nie jest cząstką niepodzielną i zachodzą w nim działania wewnętrzne, wskutek których oddzielać się od niego mogą cząstki drobniejsze. Widzieliśmy, że rad wysyła promienie α , β i γ ; są wszakże substancje promieniotwórcze, które wysyłają same tylko promienie α lub β , albo też te ostatnie w towarzystwie promieni γ . Być wszakże może, iż promieniowanie takie jest pozorne tylko, powstawać bowiem mogą promienie α , obdarzone szybkością tak powolną, że nie są w stanie wywierać działań nam znanych. Z niektórych doświadczeń wnosić można, że ciała promieniotwórcze wysyłają zarazem promienie α i β w ten sposób, że na każdą cząsteczkę α przypada jedna cząsteczka β . Wypływa to w szczególności z doświadczenia J. J. Thomsona; gdy bryłka radu umieszczona została w osłonie ołowianej, dostatecznie grubej, by wszystkie promienie pochłanianiu ulegały, osłona ta nie przybrała zgoła ładunku elektrycznego, przeciwnie

elektryczności cząstek składających promienie α i β zubożyły się tu wzajemnie, cząstki te zatem w jednakich wybiegają ilościach.

Nie zagłębiając się zresztą w szczegóły niedostatecznie jeszcze rozjaśnione, zwróćmy się do najważniejszych wniosków teorii rozpadu atomów. Gdy atom danego pierwiastku rozsyła elektrony, traci składowe swe części i nie może zachować poprzedniego swego ciężaru atomowego, nie może tedy pozostać atomem tego pierwiastku i przejść musi w atom pierwiastku innego. Teoria zatem rozpadu atomów prowadzi bezpośrednio do wniosku, że pierwiastki nie są to ciała niezienne, ale przeobrażać się mogą w inne; ciała promieniotwórcze są to pierwiastki, w stanie przeobrażenia pozostające. Domysł ten Rutherforda okazał się w samej rzeczy słuszny. Ramsay i Soddy wykazali, że emanacja radu przeobraża się w hel (helium).

Co powiedzieliśmy o wysyłaniu promieni przez ciała promieniotwórcze, nie wyczerpuje to jeszcze wszystkich ich osobliwych właściwości. Gdy bryłka radu umieszczona jest na dnie naczynia szklanego w izbie zaciemnionej, dostrzegamy wrywającą się z niej mgłę słabo świecąca, która zwolna naczynie całe wypełnia, a w naczyniu zamkniętem żywość jej blasku przez kilka dni wciąż się wzmaga. Jeżeli jaśniejącą tę mgłę zdmuchniemy, przebieg rozpoczyna się na nowo, aż naczynie znowu poprzednim blaskiem błyszczy. Z radu przeto wywiązuje się ustawicznie wypływ pewien, emanacją nazwany.

Na emanację tę nie działają najsilniejsze odczynniki chemiczne, nie porywają jej kwasy ani alkalia, nie ulega temperaturze żaru, siły elektryczne i magnetyczne wpływu na nią nie wywierają. W temperaturze jednak bardzo niskiej, wynoszącej około -150° , gdy emanacja jest oziębiona powietrzem ciekłym, skrapla się i osiada na ścianach naczynia. Wnętrze naczynia traci wtedy swój blask, a jaśnieją jego ściany. Jest więc emanacja radu substancją lotną, która wysyła promienie α , pobudzające powietrze do świecenia i nadające jej własność przewodnictwa. Z tych tylko własności można było gaz ten wykryć, ilości bowiem, jakie dałyby się wydobyć z niewielkich zasobów radu, które posiadamy, są znikomo drobne. Ramsay i Soddy przytaczają, że z 60 miligramów radu w ciągu czterech dni otrzymali $\frac{1}{50}$ milimetra sześciennego emanacji czystej, z powietrzem niezmeszanej, zatem objętość, niedosięgającą nawet dziesiątej części główki szpilkowej.

Zebrała w rurze zatopionej, z której inne gazy starannie

usunięte zostały, świeci początkowo bardzo żywo. Po upływie dni kilku blask słabnie, a po kilku tygodniach gaśnie prawie zupełnie. Emanacja radowa niknie przeto stopniowo, a w jej miejsce znajdujemy ślady gazu innego, który tam poprzednio niewątpliwie nie istniał; świadczą o tem badania widmowe. Nowym tym gazem jest hel (helium), pierwiastek chemiczny stąd pamiętny, że dawno znany był w atmosferze słonecznej, gdy później dopiero, przed niewielu laty, odkryty został w powietrzu naszym i w kilku minerałach ziemskich. Jesteśmy tu więc świadkami przeobrażenia radu w helium, zamiany pierwiastku jednego w inny zupełnie; poznajemy objaw, którego nikt poprzednio nie obserwował, który niemożliwym się zgoła wydawał.

Cały proces rozpadania się radu został dokładniej zbadany i dalej wysledzony. Emanacja, wywiązująca się z radu, rozszczepia się na helium i na część pozostałą, nazwaną rad *A* (radium *A*), z którego powstaje rad *B*, z tego ostatniego zaś rad *C*, i dalej kolejno rad *D*, rad *E*, aż cały ten ciąg przeobrażeń znajduje zakończenie swe w substancji oznaczonej nazwą rad *F*. Wszystkie te ogniwa pośrednie, od radu *A* aż do radu *F*, znane są tylko z własności swych promieniotwórczych; nikt ich nie widział, nikt nie zważył. Możemy je jednak wyodrębnić jedne od drugich, a to według wysyłanych przez nie promieni, oraz według czasu ich istnienia czyli trwania ich życia.

Emanację radu, jak widzieliśmy, poznajemy ze świecenia powietrza, w którym się rozpościera, wysyłając słabo tylko przedzierające się przez przegrody promienie α , obdarzone ładunkiem elektryczności dodatniej. Jeżeli w emanacji tej pozostawimy przez czas pewien, przez kilkanaście godzin, jakiegokolwiek ciało, staje się ono także promieniotwórczem, skąd możnaby sądzić, że na powierzchni jego osiadają ślady tej emanacji. Substancja wszakże tak nagromadzona nie jest już tą samą emanacją, promienie jej bowiem zachowują się odmiennie, przenikają łatwo przez zawady i poza grubą nawet ścianą działają na płytę fotograficzną. Nastąpiło tu już zatem przeobrażenie, w miejsce emanacji pierwotnej mamy przetwórcę dalszy. Różna trwałość życia świadczy również, że mamy tu do czynienia z rozmaitemi substancjami. Przez trwanie życia danej substancji promieniotwórczej rozumiemy przeciąg czasu, w ciągu którego działalność jej obniża się do połowy, a doświadczenie nauczyło, że każda z tych substancyj zawsze z jedną i tą samą szybkością przeobrażenie swe odbywa. Tak rad sam zmniejsza

się o połowę w ciągu jakiego tysiąca lat, gdy emanacja jego zmiana takiej ulega w ciągu czterech dni, a dalszy stopień tych przeobrażeń, substancja, o której mówiliśmy, zalecająca się silnie przenikliwymi promieniami, rad *C* mianowicie, ubywa do połowy w ciągu 28 minut tylko. Różnice, jak widzimy, są tu bardzo znaczne; dla radu *D* trwałość taka życia wynosi lat 40, dla radu *E*—rok jeden.

Gdy badacz ma przed sobą nową substancję promieniotwórczą, rozpatruje rodzaj wysyłanych przez nią promieni, oznacza stopień ich działalności, poczem, po upływie pewnego czasu, powtarza swe doświadczenia; z dostrzeżonego ubytku wyprowadzić może określoną wyżej trwałość życia, a tem samem rozstrzygnąć, czy substancja badana rzeczywiście jest nowa, czy też znana już z poszukiwań poprzednich. Tą drogą zdołano ująć wszystkie metale, czyli wszystkie stopnie przeobrażeń pośrednich od radu do radu *F*, wykryć cechujące ich promienie i ich trwałość życia oznaczyć.

Wspomniany wyżej rad *D* z tego względu zwraca na siebie uwagę, że prawdopodobnie identyczny jest z substancją poprzednio odkrytą, której dano nazwę radołowiu. Ostateczny wreszcie stopień tego rozpadu, rad *F*, posiada trwałość życia 143 dni i jest prawdopodobnie identyczny z odkrytym przez panią Skłodowską polonem, dla którego okres ten czyni 140 dni; podobnie nadto, jak rad *F*, nie posiada i polon promieniotwórczych produktów rozpadu. W każdym razie należy polon ten do najlepiej znanych pierwiastków promieniotwórczych, jakkolwiek dotąd nie oznaczono dokładnie jego ciężaru atomowego, ani nie wykryto jego widma. Posiadamy go dotąd w ilościach niesłychanie drobnych; z całych milionów kilogramów substancji pierwotnej zdołano kilka ledwie miligramów wydzielić. Jest on zapewne ogniwem kresowym szeregu ciał silnie promieniotwórczych. Ponieważ substancja, która z rozpadu jego powstaje, własności promieniotwórczych już nie posiada, mogła się w ciągu długiego czasu nagromadzić w znacznych ilościach i jest zapewne pierwiastkiem znanym; jesteśmy pod tym względem skazani jeszcze na domysły, ale według wszelkiego prawdopodobieństwa rozpada się polon na bizmut lub ołów. Przemawia za tem względ, że ołów bardzo często występuje w minerałach promieniotwórczych.

Gdy polon stanowi kres całego ciągu tych przeobrażeń, nie jest bynajmniej rad pierwszym ogniwem szeregu, ale sam jest róż-

wniez produktem rozpadu. Pochodzi od uranu, który jest rodzicem (parent element) wszystkich pierwiastków promieniotwórczych. Całego przebiegu tych przeobrażeń od uranu do radu wysledzić dotąd nie zdołano; znamy zaledwie pierwszy stopień rozpadu uranu, tak zwany uran X , ale wiemy, że rad zawsze uranowi towarzyszy, a to już samo świadczy o takim jego pochodzeniu. Nadto we wszystkich minerałach zbadanych stosunek ilościowy radu i uranu jest jednaki, na jedną część radu zawsze milion części uranu przypada. Według teorii rozpadu atomów zdumiewająca ta łączność prosto się tłómaczy. Zachodzi tu jakby równowaga ruchoma: z uranu wytwarza się w danym przeciągu czasu tyleż radu, ile radu rozpada się w tymże czasie. Rad posiada działalność promieniotwórczą milion razy potężniejszą, aniżeli uran i w tymże samym stosunku prędzej się rozszczepia. Gdy jedna część radu przeobrażeniu ulega, dla jej zastąpienia potrzeba miliona części uranu, a stąd w minerałach dostatecznie starych, by się już do równowagi takiej ułożyć zdążyły, utrzymuje się stosunek stateczny radu do uranu, jeden do miliona.

Ciała promieniotwórcze nie utrzymują się niezmiennie, tworzą się i giną, bytowanie ich jest wiecznem powstawaniem i ciągłą zagładą. Ze smołowej rudy uranowej wydzielić możemy polon dziś i po latach całych; oba te przetwory niczem się między sobą różnić nie będą, ale polon po latach dobyty nie będzie to już dzisiejszy, ten bowiem rozpadł się już dawno, a natomiast odpowiednia jego ilość rozwinęła się z radu. Jak polon z radu, tak rad rodzi się z uranu, chociaż nie ujawniły się nam jeszcze wszystkie ogniwa tego przejścia stopniowego.

Uran tylko jeden już się nie odradza, ubytek jego pozostaje nienagrodzony. Jest protoplastą całej genealogii pierwiastków, przodka jego nie znamy. Cóż więc nadaje mu ten charakter odrębny, skąd zdobywa naczelne stanowisko w całym tym osobliwym rodowodzie? Odpowiedź nasuwa się łatwo, uran bowiem jest to pierwiastek o najwyższym ciężarze atomowym, który wyraża się liczbą 238 (w porównaniu z atomem wodoru, przyjętym za jedność). Uran tedy przedstawia się nam, jako pierwiastek zbudowany z największej ilości elektronów, które jakby z przymusem tylko w łączności tej się utrzymują i najłatwiej ze związku wyrývają, a z rozpadu tego powstający rad ma już ciężar atomowy mniejszy, wyrażający się liczbą 225.

Co się tyczy aktynu, który został współcześnie z radem i po-

lonem odkryty, stanowisko jego w rzędzie ciał promieniotwórczych nie jest jeszcze wyjaśnione, nie znamy bowiem jego ciężaru atomowego; p. Godlewski zestawiał wprawdzie szereg substancyj pochodnych z aktynu, ale własnej jego łączności z uranem nie znamy. Do pierwiastków promieniotwórczych należy, jak pamiętamy, i dawniej już znany tor, którego ciężar atomowy czyni 232; przypada mu zatem miejsce pomiędzy uranem i radem, a według tego należałoby oczekiwać, że występuje w minerałach, zawierających uran i rad. Zdarza się to rzeczywiście, ale nie zawsze, a brak ten wymaga jeszcze wyjaśnienia. P. Godlewski wykazał również kilka stopni od toru pochodzących, ale odstęp toru od uranu nie jest zapełniony.

Ostatniem ogniwem przeobrażeń radu, jak widzieliśmy, jest polon. Ciężar jego atomowy nie został również dotąd oznaczony, zapewne jednak przypada około 210. Powstający prawdopodobnie z polonu ołów, którego ciężar atomowy jest 207, już do kategorii tej nie należy. Wypływa stąd, że ciężkie jedynie atomy, co najmniej o ciężarze około 210, posiadają jeszcze własności promieniotwórcze. Są to układy niestateczne, które łatwo w formy trwalsze przechodzą. Ciała promieniotwórcze przetrwały jako zabytki dawno ubiegłego, młodzieńczego okresu dziejów Ziemi, gdy tworzyły się dopiero składające ją masy. Pierwiastki natomiast pozostałe, o atomach lżejszych, przedstawiają się nam jako substancje wykończone ostatecznie, które dobiegły już do kresu swych przeobrażeń i utrzymują się w stanie niezmiennym. Ale tu budzi się wątpliwość, czy podział taki pierwiastków chemicznych na dwie kategorie odrębne istotnie jest usprawiedliwiony; być może, iż atomy lżejsze są także promieniotwórcze, lubo w stopniu daleko niższym, w mierze tak słabej, że działania ich wymykają się dostrzeżeniom naszym. Czyż przypuszczeniu temu wręcz zaprzeczać możemy dlatego tylko, że przyrzady nasze objawów tych nie wykazują? Wiemy przecież, że własności materii są powszechne, stopniem tylko natężenia wyróżniają się w rozmaitych ciałach. Dopóki w posiadaniu naszym był tylko zwykły, odwieczny magnes, ulegało mu żelazo jedynie i kilka jeszcze pokrewnych mu metali; odkąd jednak rozporządzamy potężnymi elektromagnesami, wiemy, że wszystkie w przyrodzie ciała posiadają własności magnetyczne, chociaż w stopniu miliony i setki milionów razy słabszym, aniżeli stal i żelazo.

Według tego nie stoi na przeszkodzie przypuszczeniu, że promieniotwórczość jest ogólną własnością materii, ilościowe tylko różnice są niezmiernie wielkie. Przemawiają za tem nawet pewne spostrzeżenia. Tak poznano, że elektroskop, w naczyniu ołowianem osadzony, szybciej traci ładunek swój elektryczny, aniżeli podobny przyrząd w naczyniu cynkowym, coby wskazywało, że ołów obficie wysyła promienie, które jonizują powietrze, czyli czynią je przewodnikiem elektryczności. Znani nadto badacze elektryczności atmosferycznej, Elster i Geitel, wykazali, że w powietrzu zawsze występuje pewna emanacja promieniotwórcza; wykryli ją zarówno na szczytach gór, jak i na dnie kopalń głębokich, w ilości zmiennej, zależnej od warunków w atmosferze panujących, od wysokiego i niskiego jej ciśnienia, od stanu jej pogody, od rozproszonego w niej pyłu, od deszczu i śniegu. Wszystkie też źródła zawierają emanację radową, która obficie zwłaszcza występuje w Cieplicach, znanych z leczniczych swych własności. Toż samo tyczy się torfowisk, a być może, że uzdrawiające zalety kąpeli torfowych zostają w związku z ich działalnością promieniotwórczą. Przemawia za tem i to spostrzeżenie dawne, chociaż nieraz zaprzeczane, że wody mineralne skuteczniejsze są u samych źródeł, aniżeli rozsyłane daleko w butelkach.

Skoro wszystkie źródła sprowadzają z głębi Ziemi emanację promieniotwórczą, a ślady jej wykazać się dają i w wodach podskórnych, wniesć stąd należy, iż w łonie Ziemi mieści się ognisko działalności promieniotwórczej; szeroko może rozpowszechniony jest w niej rad lub inne pierwiastki pokrewne, które z dostępnych nam minerałów tak skąpo zaledwie wydzielać możemy. Zagadka wnętrza Ziemi nie jest dotąd rozstrzygnięta; czyż być nie może, iż do utrzymywania panującego tam żaru przyczynia się i ciepło, wciąż przez rad wywiązywane?

Ale też sama uwaga odnieść się daje i do Słońca. Według powszechnie dziś przyjmowanej hipotezy źródło ciepła słonecznego wypływa z ciągłego kurczenia się potężnej tej bryły; ubytek ciepła, które Słońce tak obficie na wszystkie strony rozsyła, wyngadza się ciepłem, wywiązującym się ustawicznie skutkiem zagęszczania składających je gazów. W odległej jednak przyszłości, gdy skutkiem procesu tego wzmoże się znacznie gęstość bryły słonecznej, nie będzie mogło dokonywać się tak prawidłowe skupianie, a wtedy ilość ciepła, wysyłanego przez Słońce, zmniejszy się

znacznie, przy zmniejszonej zwłaszcza powierzchni promieniującej. Na podstawie podobnych rozważań przypisuje W. Thomson Słońcu nie więcej nad jakie dwadzieścia milionów lat działalności w czasach ubiegłych i pięć do sześciu milionów lat w przyszłości. Tego rodzaju obliczenia dają się odnieść i do Ziemi, a z nich wypływa, że od czasu wytworzenia się skorupy ziemskiej upłynęło nie więcej nad dziesięć milionów lat. Rachunki te Thomsona, charakteru zresztą bardzo hypotetycznego, nie przypadły do gustu geologom i biologom, którzy potrzebują okresów znacznie dłuższych, by w nie wtłoczyć uzasadnione swe pojęcia o powolnem kształtowaniu się powierzchni Ziemi i stopniowym rozwoju istot żyjących. Odkrycie radu przychodzi w porę, by nieporozumienie to usunąć, jeżeli bowiem zasób jego w Ziemi tak ogromne ilości ciepła wytwarza, nie potrzebujemy odwoływać się wyłącznie do procesu zagęszczania, by zeń wszystką ilość traconego ciepła wyprowadzać. Zasób energii świata przez odkrycie radu zubożał się w pojęciach naszych, a stąd Słońcu, zarówno jak i Ziemi, przypisywać możemy w przeszłości i w przyszłości długotrwałość większą znacznie. Długością okresów rozwoju Ziemi geologowie rozporządzać mogą swobodnie.

Mimoходом nadmienimy tylko, że spostrzeżono znaczną analogię pomiędzy właściwościami promieni, wysyłanych przez ciała promieniotwórcze, a objawami komet, i na tej podstawie próbowano już oprzeć nową teorię tych ogoniastych ciał niebieskich, niedawno tak zagadkowych, a i dziś jeszcze nie rozjaśnionych stanowczo we wszystkich swych szczegółach. Czy nowa teoria zdoła rozjaśnić pozostające jeszcze wątpliwości, nie wiemy dotąd. Z obszarów więc niebieskich zstąpmy raczej do dziedzin, które nas tu na Ziemi bliżej dotyczą.

Jeżeli promieniotwórczość i wiążący się z nią rozpad atomów jako powszechną własność materii uznajemy, to odradzają się przed nami dawne rojenia alchemików o transmutacji metali. Skoro pierwiastki ulegać mogą przeobrażeniom, jeżeli z jednych inne się rodzą, dlaczegóżby mrzonką miało pozostać dobywanie złota z metali pospolitszych, dla czego nie możnaby srebra w złoto zamieniać? Zapewne, zadanie to i dziś jeszcze przebłyska nam w dali niedostrzegalnej, ale już jaśniej ująć się daje. Pojmujemy teraz, że łatwiej przyszłoby zamieniać złoto w srebro, aniżeli urzeczywistnić przeobrażenie przeciwne srebra w złoto; złoto bowiem posiada

wyższy ciężar atomowy, atomy jego mają budowę bardziej zawiłą, złożone są z większej ilości cząstek elementarnych. Widzieliśmy zaś, że rozszczepianie atomów łączy się z wywiązywaniem olbrzymiej energii, takież sam przeto nakład energii zużyć potrzeba, by przeobrażenie w odwrotnym kierunku sprowadzić, czyli z danego pierwiastku otrzymać inny o wyższym ciężarze atomowym, a to przy dzisiejszych naszych środkach zdobywania energii wymagałoby niewątpliwie wydatków, przechodzących znacznie wartość produktu zamierzonego. Natomiast nie wydaje się rzeczą niemożliwą zamiana w złoto ołowiu, gdyż jestto metal o wyższym ciężarze atomowym.

Nowe odkrycia sprowadziły nas na grunt rojeń fantastycznych, ale zdobywcze, jakie nauka w ostatnich latach osiągnęła, usprawiedliwiają nadzieje najśmielsze. Wiemy i to, że każde odkrycie naukowe otwiera też nowe drogi technice, wydiera się poza ściany pracowni badacza i znajduje zastosowanie praktyczne. Nic nam nie przeszkadza łączyć się nadzieją, że powstaną z czasem fabryki wyrabiające złoto, ten utęskniony przedmiot najgorętszych pożądań naszych. Gdyby jednak kiedykolwiek stać się to mogło, nie cenny ten metal byłby głównym celem wytwórczości, ale oswobodzająca się przy tem energia.

Widzieliśmy, jak obfitem źródłem energii jest rad, a trwałość jego życia oceniać można na kilka tysięcy lat. W ciągu tego czasu jeden gram radu wywiązałby tysiąc milionów ciepłostek, które, w pracę zamienione, wystarczyłyby do dźwignięcia wielu milionów kilogramów na milę w górę, gdy gram wodoru, najskuteczniejszego naszego materiału opałowego, w tlenie spalony, dostarczyłby tylko trzydzieści cztery tysiące ciepłostek, trzydziestotysięczną zaledwie część ciepła, wytworzonego przez takąż samą ilość radu. Potęga energii, rozbudzającej się przy rozszczepianiu atomów innych, tegoż samego zapewne byłaby rzędu wielkości.

Gdy kiedykolwiek zdoła człowiek procesy atomowe opanować, gdy potrafi rozbijać atomy, jak dziś wodę na składowe jej pierwiastki, na tlen i wodór rozkłada, władza jego nad siłami przyrody stanie się potężniejszą, zasoby energii, które mu do rozporządzenia staną, powiększą się tysiąckrotnie, przestanie go gnębić widmo wyczerpania węgla, które mu się teraz w niedalekiej stosunkowo już przyszłości ukazuje. Czy cel ten wielki osiągnąć

XII. CIAŁA PROMIENIOTWÓRCZE I ROZPAD ATOMÓW.

potrafi, czy zdoła pokonać trudności i przeszkody, którymi najeżona będzie droga do zwycięstwa, tego nie wiemy, ale to wiemy, że nie odstraszą badaczy od ciągłego pochodzenia, a znajomość ciał promieniotwórczych, wynurzająca się dotąd z zawiązku dopiero, szybko rozwijać się będzie.

XIII.

BEZ WĘGLA.

Chwilowy brak węgla w 1900 roku uprzytomnił jasno, jak potężne znaczenie w czasach naszych posiadały czarne te bryły. Węgiel kamienny grzeje nas i dla nas pracuje, stanowi opał dla pieców i daje pokarm motorom parowym. Piły i młoty, pompy i prasy, wszystkie te olbrzymie i zawiłe maszyny w nieprzeliczonych ogniskach przemysłu, on to w ruchu utrzymuje, on im energii dostarcza. Pędzi parowozowy po lądach, a parostatki po rzekach i morzach, metale z rud wytapia; jest materiałem do wyrobu gazu oświetlającego, lub obraca skręty drutu, z których płyną potoki olśniewającego światła elektrycznego. Sam niepozorny, jest źródłem przepysznych barwników, wobec których zbladły dawne szkarłaty i błękity; cokolwiek nam technika dzisiejsza daje, w ostatnim rządzie na węglu polega, jakby na gruncie z węgla złożonym wyrasta.

Ktokolwiek widział tłumy, cisnące się długim sznurem do składów miejskich, wyczekujące godzinami i dniami całymi na węgiel, z upragnieniem takim, jakby to szło o chleb i wodę, temu łatwo błyskały w myśli wszystkie te zalety, cała ta chwała czarnego opału, ale też zarazem migotało i pytanie, jak też poradzi sobie człowiek, gdy już wyczerpie zasoby, w Ziemi złożone, które dziś tak usilnie i tak nieopatrnie wydobywa, gdy nie stanie już węgla, który teraz tak szczodrem jest dobrodziejstwem, gdy nie będzie już w mocy żadnej władzy ludzkiej cenę jego obniżyć i do wóz nakazać.

Zapewne, zanim to się stanie, nas już nie będzie i pokolenia po nas przejdą; chociaż wszakże nie ma wartości ekonomicznej, pytanie to przedstawia pewne znaczenie naukowe i nastrocza się każdemu, kto przysze losy ludzkości rozważa i o nich marzy. Odpowiedzi gotowej nauka dzisiejsza nie posiada jeszcze, ale pojmuje i przewiduje kierunki, jakimi rozwój dalszy posuwać się musi.

I.

Różnopościowością swoją, od uprzykrzonej sadzy aż do polyskującego ogniem dyamentu, osobliwym ciałem jest węgiel, a uderza nas bardziej jeszcze, jako podstawa materyalna wszelkiego życia na Ziemi. Z węgla, ze związków jego, buduje się ciało roślin i zwierząt, wszelkie materyały pochodzenia organicznego zawierają węgiel, jako najistotniejszą swą część składową; cała Chemia organiczna jest to po prostu Chemia związków węgla. Z rozkładu istot organicznych, z drzewa, kości, otrzymujemy węgiel, i łatwo następuje się domysł, że wszystek węgiel ziemski jest pochodzenia organicznego, dyament tylko, tak od innych form jego odrębny, wątpliwość naszą budzi.

Z silnego załamywania się promieni światła wniósł już Newton, że dyament, który wówczas uważano za pewną odmianę kryształu górnego, musi być materyałem palnym, a przypuszczenie to stwierdzono, gdy spłonął on rzeczywiście w ognisku zwierciadła wklęsłego, skupiającego w jednym punkcie wiązkę promieni słonecznych. Później dopiero, w roku 1773, przekonał się Lavoisier, że ze spalania tego, jak przez spalanie węgla zwykłego lub grafitu, powstaje kwas węglany, a stąd, i z kilku prób innych, wniósł wreszcie Scheele w roku 1779, że dyament jest to istotny węgiel, od pospolitej jego amorficznej, bezkształtnej postaci wyróżniający się formą krystaliczną. Jak wszakże zdołał on wykrystalizować w łonie natury i przeobrazić się, pozostało to do ostatnich czasów zagadką¹⁾.

Oddawna już wiadomo, że pokłady węgla kamiennego w Ziemi pochodzą z organizmów roślinnych, które przez długi okres czasu poddane były procesowi powolnego zwęglania pod osłoną, tamującą przebieg swobodny tego procesu. Rośliny, na suchym gruncie żyjące, mijają w ogólności bez pozostałości widocznych; liść, który z drzewa spada, ulega rozkładowi doszczętnemu, przechodzi w substancje lotne i niknie dla oka zupełnie. Gdy wszakże rośliny dostają się pod wodę, gdy są odgradzone od swobodnej z atmosferą łączności, utrzymują się po nich szczątki węglowe, które zachowują ślady postaci i budowy roślinnej; z roślin, wyrastających na bagnach, rozwijają się torfowiska, dla oczu naszych widoczne. Że podobny związek zachodzi między węglem kamiennym a roślinami, wiedział to już Scheuchzer na począt-

¹⁾ Patrz wyżej szkic: Na kresach ciepła i zimna, str. 227.

ku wieku XVIII, a późniejsze badania chemiczne włókien drzewnych, torfu, węgla brunatnego, węgla kamiennego i antracytu, wykazały, że ciała te pozostają między sobą w łączności bezpośredniej i rozwijają się kolejno jedno z drugiego przez przeobrażenia stopniowe. Ogniwa pierwsze tego szeregu są to ciała, ubogie stosunkowo w węgiel, a obfitujące w tlen i wodór, przy dokonywającym się wszakże procesie butwienia, gnicia, gdy wytwarzają się i uchodzą związki lotne, substancya traci więcej tlenu i wodoru, aniżeli węgla, na każdym tedy dalszym stopniu tego łańcucha napotykamy materyał coraz w węgiel zasobniejszy, a w coraz słabszym stosunku zawierający inne pierwiastki składowe. Włókna drzewne posiadają w składzie swoim średnio 50 odsetek węgla, torf 59, węgiel brunatny 69, węgiel kamienny 82, a antracyt, który jest ogniwem ostatniem, składa się już wyłącznie prawie z węgla, zawiera go bowiem 95 odsetek, a po 2¹/₂ tylko odsetki tlenu i wodoru.

Podobnie więc, jak drzewo, i węgiel kamienny w istocie rzeczy nie jest jeszcze węglem, jeżeli przez wyraz ten rozumieć będziemy pierwiastek chemiczny, dla którego w języku polskim nie przyjęto oddzielnej nazwy, proponowany bowiem „węglik“ nie okazał się terminem dogodnym. Pod wpływem temperatury podwyższonej proces ten zwęglania substancyi roślinnej przyspiesza się, i można go łatwo przeprowadzić doświadczalnie, jeżeli drzewo ogrzewamy bez dostępu powietrza, w tym bowiem ostatnim razie spłonie szybko, jak to się dzieje w warunkach zwykłych. Napływ powietrza usunąć można, umieszczając drzewo w walcu zamkniętym, a w tym razie w temperaturze 200°—280° otrzymujemy tylko zwykły węgiel drzewny; gdy jednak żar podsycimy wyżej, do 300°, powstaje bryła, do węgla kamiennego zbliżona, która przy 400° staje się do antracytu podobna. Uchodzące gazy, prócz kwasu węglanego czyli dwutlenku węgla, składają się głównie z palnych węglowodorów, związków węgla z wodorem, których mieszanina daje gaz oświetlający. Też same związki lotne wyrwywają się w kopalniach węgla kamiennego, i pomieszane z powietrzem tworzą gazy piorunujące, które przy zapaleniu sprowadzają nagle wybuchy, tak groźne dla górników, i dziś jeszcze, pomimo lamp bezpieczeństwa, tyle ofiar powodujące.

W różnych pokładach skorupy ziemskiej węgiel rozkłada się zgodnie z opowiedzianym przebiegiem stopniowego zwęglania ciał roślinnych. Węgiel kamienny jest to w ogólności utwór starszy,

aniżeli węgiel brunatny, a znów antracyt góruje nad nim wiekiem. Szczególne jednak okoliczności, przyspieszając, lub opóźniając proces zwęglania, mogły łąd ten w wielu miejscach wywracać. Tak, gdzie węgiel brunatny znalazł się w zetknięciu ze skałą wybuchową, ogniową, jakby z lawą wulkanów dzisiejszych, tam, pod wpływem podwyższonej temperatury, szybko przeobraził się w węgiel kamienny, w antracyt nawet; gdzieindziej podobneż działanie przyspieszające wywrzeć mógł kwas siarczany, który w pewnych warunkach powstaje ze skał, siarkę zawierających. Tam natomiast, gdzie pokłady dawne nie zostały rychło pokryte przez warstwy nowsze, zawarte w nich szczątki roślinne uchroniły się od nadmiernego ciśnienia, a dla braku tej głównej podniety pozostały na niższym stopniu zwęglania, tworząc dziś węgiel brunatny, gdy współczesne im drzewa dawno dalszemu przeobrażeniu uległy. Według tego też gniazda węgla kamiennego napotykają się w różnych pokładach skorupy ziemskiej, w różnych formacjach, przede wszystkim wszakże obfitością jego zaleca się jedna formacja tak dalece, że uzyskała stąd nawet nazwę formacji węgla kamiennego, formacji węglowej. Są to utwory stare bardzo, pod względem geologicznym nawet dawne, sąsiadujące blisko z pierwotnymi skałami ogniowymi skorupy ziemskiej, a przynajmniej z pierwszemi pokładami osadowemi, które pod wpływem tego żaru uległy przeobrażeniu i charakter skał ogniowych przybrały.

Jakkolwiek jednak nazwę formacji węglowej posiada, nie jest bynajmniej z samego jedynie tylko węgla zbudowana; owszem, wśród potężnych jej piaskowców, wapieni, margli, łupków gliniastych i krzemionkowych, warstwy węgla kamiennego podrzędne zaledwie jej ogniwo stanowią, skąpe pasma między pokładami skalistemi. Widocznie, życie roślinne, którego ślady w tym węglu przetrwały, nie ciągnęło się bez wstrząśnień; łądy obniżały się wielokrotnie, a morze zalewało rozległe wybrzeża i osadami swemi pokrywało dawną jego powierzchnię, by znów ustąpić, gdy łąd w tym wiekowym swym ruchu wahadłowym w górę wyzierał. I dziś przecież jeszcze widoczne są na brzegach morskich te kołysania się łądu, kolejne jego zwycięstwa i klęski w walce z wodą oceanów. Pod ciężką osłoną nowych warstw skorupy ziemskiej zamierały dawne lasy, butwiały, traciły swe części składowe, zbijały się w czarne bryły węglowe.

Tu i owdzie wśród jednolitej już masy czarnej przechował się jeszcze pień stary, niezbyt zmieniony; na skałach znalazł się

odcisk liścia, gałęzi, wybity na miękkim, plastycznym pierwotnie nasypie osadów; mikroskop dozwolił rozejrzeć misterną budowę tkanek tych roślin zaginionych, a rozbiory chemiczne skład ich ujawniły, zestawiły różnice i podobieństwa. Na podstawie takich badań, długich i mozolnych, zdołał geolog odtworzyć cały ten zamierzchły świat roślinny, a w rysunkach U ngra z roku 1847 i Potoniégo z roku 1899 ożyła przed nami odwieczna flora okresu węglowego. Były to przeważnie paprocie, skrzypy, widłaki drzewiaste, które teraz skarłałe tylko pozostawiły potomstwo, kordaity, dzisiejszym drzewom iglastym pokrewne, drzewa łuskowe, lepidodendry, łuskami liściastymi pokryte, sigillarye, w których piętna po odpadku liści pozostałe mają podobieństwo do znaków pieczęcią na wosku wybitych, i inne jeszcze, zgoła wymarłe rodzaje i rodziny. Nie były to też bynajmniej drzewa rozłożyste, rozposcierające szeroko konary swe, jak w lasach dzisiejszych: zadawały się widlastym rozdziałem swych pni i gałęzi, co wybitną cechą tej starej flory czyni. Warunki atmosferyczne, które trudno teraz określić, bardziej, aniżeli w którymkolwiek późniejszym okresie geologicznym, sprzyjać musiały rozwojowi życia roślinnego; klimat miał prawdopodobnie charakter zwrotnikowy, powietrze przejęte było wilgocią, kwas węglany może nieco obfitszy, grunt bagnisty. Wynika to z natury roślin ówczesnych, z rozposcierania się ich korzeni. W ogólności też jest węgiel kamienny pochodzenia miejscowego, autochtonicznego, co znaczy, że powstał z roślin, które na temże miejscu żyły i zamierały; wyjątkowo tylko niektóre gniazda węglowe wykazują, że wzięły początek allochtoniczny, czyli powstały z materiału roślinnego, zniesionego ze stron obcych przez prądy rzeczne i złożonego u ich ujścia do morza, jak to i teraz widzimy w różnych okolicach Ziemi.

Ciszy posepnych tych i monotonnych lasów nie przerywał nigdy ryk czworonogów drapieźnych, świergot ptaków nie rozweselał. Świat zwierzęcy nie wzbił się jeszcze ponad niższe swe szczeble; żyły mięczaki, raki, owady, ale ze zwierząt kręgowych ukazały się na lądzie zaledwie niektóre płazy, a w morzach przebywały rekiny.

W bagniste podłoże swoje pnie zapadały zwolna, butwiały i tworzyły czarnoziem, na którym nowe pokolenia warunki sprzyjające dla rozwoju swego znajdowały; na rumowiskach zamierającego życia roślinnego nowe zakwitało, jak i teraz jeszcze w swampach, czyli bagniskach Ameryki północnej, nowa roślinność drzew-

na na storfiałych zgliszczach dawnej bezpośrednio wyrasta. I tak wiodło ciągle pasmo życia jedno pokolenie leśne po drugim, dopóki go nie przerwał zalew morza i osadami swemi nie przytłumił. W wykopaliskach potrafi nawet teraz geolog odczytać, ile razy powtarzała się przerwa taka, znajduje bowiem kolejne następstwa warstw węglowych i skał osadowych; porządek ten psują wprawdzie przewroty, jakim powierzchnia Ziemi ulegała, fałdowania jej, załamania, przeskoki pokładów, następstwa powolnego zastygania wnętrza Ziemi i marszczenia się jej skorupy; pomimo to w różnych miejscowościach naliczono po kilkanaście i kilkadziesiąt nawet horyzontów węglowych. Na wybrzeżu zachodnim Nowej Szkocji, w łańcuchu pokładów, obejmujących razem 4300 metrów, naliczono nie mniej niż 76 kolejnych takich ogniwi.

Jak długo wszakże trwał cały ten ustęp dziejów Ziemi, okres węglowy w historii jej rozwoju, na to pytanie trudno dać odpowiedź, choćby ogólnikową i jak najslabiej przybliżoną. Ilość materiału drzewnego, zużytego na wytworzenie cienkiej warstwy węgla kamiennego, oceniano dawniej przesadnie, a stąd też i przeciąg czasu do wytworzenia zasobu węgla w łonie Ziemi wydawał się niewypowiedzianie długim. Według dochodzeń nowszych, pierwotny materiał roślinny, skoro przechodzi w węgiel kamienny, ściąga objętość swoją do $\frac{1}{8}$ części, a do $\frac{1}{12}$, gdy już w przeobrażeniu ostatecznym zamienia się na antracyt. Pewien geolog angielski zapragnął rachunek dalej doprowadzić, gdy ze spostrzeżeń swych wniósł, że na hektarze gruntu, pokrytego bujną roślinnością, zarówno w drzewach, jak i ziołach, wytwarza się rocznie 2500 kilogramów, co daje 250 000 kilogramów w ciągu stu lat. Ilość ta substancyj roślinnych, ściśnięta do zbitości węgla kamiennego i rozpostarta również na polu jednego hektara, ma dawać grubość około jednego centymetra na stulecie. W Johnstown różne warstwy węgla mają razem grubość 5.25 metra, według zatem oceny powyższej na to wytworzenie ich trzeba było 52 500 lat. Oddzielne wszakże pasma węglowe w Johnstown wtrącone są między pokłady piasku, skał, łupków, żwiru, tak, że stanowią zaledwie część ich trzydziestą, a jeżeli powyższy okres, 52 500 lat, pomnożymy przez 30, daje to wreszcie przeciąg czasu 1 575 000 lat. Rachunek taki, zapewne, zadowolić nas nie może.

Jakkolwiek jeduak długo trwało to gromadzenie się zasobów węgla w łonie Ziemi, dłuższy jeszcze upłynął ciąg czasów, zanim zjawił się człowiek, który uznał się panem wszystkich jej bogactw

i skarbów, chociaż i ten król stworzenia zwolna zaledwie i stopniowo korzystać z nich się uczył. W tych okolicach błogosławionych, jakby wybranych i umiłowanych przez przyrodę, gdzie cywilizacja po raz pierwszy zakwitła; w krajach, rozłożonych dokoła morza Środiemnego, potrzeba opału nie była tak dotkliwa, by go aż pod ziemią szukać przychodziło; nie znajdujemy też z czasów starożytnych żadnej wzmianki, by co o węglu kopalnym wiadano. Dopiero, gdy kultura dalej się na północ przeniosła, mieszkańiec tych stron szukać musiał skuteczniejszych środków ochronnych przeciw nieprzyjazni klimatu, a w Anglii poznano najwcześniej, że węgiel, z ziemi dobywany, daje się, jak drzewo, użyć na opał. Nieraz wprawdzie czarne te bryły wydawały się wytworem szatańskim, a korzystanie z nich groziło potępieniem i pod groźnemi karami wzbraniane było, pomimo to jednak już w wieku XI kowale z Sheffield i Wearmuth czynsz węglowy opłacali. Dopóki zresztą szło o opał jedynie, starczyły lasy, których zagłady długo jeszcze nie przewidywano; wartość węgla oceniono dopiero, gdy potęgę ognia człowiek silniej pokonał i do pracy go zniewolił. Stało się to za pośrednictwem maszyny parowej.

II.

Kto pierwszy maszynę parową wynalazł, tego powiedziec niepodobna, rozwijała się bowiem powolnie z zarodków bardzo drobnych, niedostrzegalnych niemal; jest sumą pomysłów i ulepszeń, które się na nią w ciągu długiego czasu składały. Z czasów starożytnych pozostał jeden tylko przyrząd, na działaniu pary polegający, a mianowicie eolipila Herona Aleksandryczyka, z drugiego wieku przed Chrystusem; była to wprawdzie tylko kula, przez wytrysk pary w obrót wirowy wprawiana, ale ma zasługę, że zwróciła uwagę na potęgę, w prężności pary ukrytą. W osobliwy sposób z potęgi tej skorzystał miał Anthemios, budowniczy kościoła świętej Zofii w Konstantynopolu, żyjący w VI stuleciu po Chrystusie. Rozgniewany na sąsiada swego, rzymianina Zenona, umieścił w piwnicy kocioł, i wywiązującą się stąd parę przeprowadził rurami do domu Zenona, czem tak gwałtowne spowodował wstrząśnienie, że ten wybiegł przerażony, sądząc, że dom jego zapada się skutkiem trzęsienia ziemi. Stara ta anegdota świadczy, że potęga pary budziła wtedy przestrasz raczej, ani-

żeli pragnienie pokonania jej i zmagania do usług. Usiłowania takie poczynają się dopiero od wieku XVI.

Papin w końcu wieku XVII wprowadził pośrednictwo ruchomego tłoka i tem dał początek dzisiejszej formie motorów parowych. Tłok ten, osadzony w naczyniu walcowym, posuwał się w górę, gdy pod nim wywiązywała się para przez ogrzanie wody, zawartej w dolnej części walca; skoro walec doznawał ochłodzenia, para ulegała skropleniu, a tłok opadał pod naciskiem powietrza zewnętrznego. Kolejne wszakże ogrzewanie i chłodzenie walca wymagało długiego czasu, tak, że w drobnym już modelu przesunięcie tłoka w górę i na dół trwało przeszło minutę, a wynalazca nie próbował nawet maszyny swej w większych zbudować wymiarach.

O tych jednak doświadczeniach Papina wiedzieli zapewne Anglicy, Newcomen i Cawley z Dartmouth, którzy we dwaście lat później pomysł jego rozwinęli i do praktycznego celu dowiedli. Ulepszenie, przez nich wprowadzone, na tem polegało, że nie wytwarzali pary tuż pod tłokiem, ale w oddzielnym kotle, skąd rurą do walca dopływała. W ten sposób para mogła się skraplać prędzej, a bieg tłoka tak się przyspieszył, że maszyna Newcomena i Cawleya, zbudowana w roku 1712, dała się już użyć praktycznie do poruszania pomp, usuwających wodę z kopalni.

Bez istotnych zmian i ulepszeń, pierwotne te maszyny przetrwały pół stulecia, nie znajdując zgoła zastosowania poza kopalniami. W samej rzeczy, zużywały tak znaczną ilość węgla, że z korzyścią pracować mogły jedynie tam, gdzie węgiel na miejscu był dobywany, i stąd niską miał cenę. Dalsze rozprzestrzenienie zyskała maszyna parowa dopiero po udoskonaleniach, jakie do niej wprowadził James Watt. Pracując, jako mechanik gabinetu fizycznego Uniwersytetu w Glasgowie, otrzymał do naprawy model maszyny Newcomena; uderzył go przytem niedołączony sposób skraplania pary w walcu. Jak widzieliśmy, w maszynach Newcomena para nie wywiązywała się już w samym walcu, ale dopływała do niego z kotła, chwilowo z nim połączonego, skraplanie jej wszakże następowało w samym jeszcze walcu przez wtryskiwanie zimnej wody. To właśnie usunął Watt, skoro zrozumiał, że skraplanie pary również dokonywać się może zewnątrz walca, jeżeli na krótką chwilę połączy się rurą z przestrzenią zimną czyli z oziębialnikiem. Przy urządzeniu takim nie trzeba już było wnętrza walca ochładzać za każdym posunięciem tłoka,

a tem samem nie trzeba go też było wciąż rozgrzewać, co spowodowało znaczną oszczędność materiału opałowego. Patent, na wynalazek ten otrzymany, wyzyskał Watt wraz ze współnikiem swym, Boultonem, w ten sposób, że od posiadaczy nowych machin żądał, by mu wypłacali trzecią część zysku, wynikającego ze zmniejszenia ilości spalonego węgla, a to z jednej tylko kopalni, gdzie trzy takie maszyny pracowały, dawało im rocznie 4800 funtów szterlingów dochodu.

Watt nie poprzestał na tem jednym tylko udoskonaleniu maszyny parowej, ale obdarzył ją tylu jeszcze innemi ulepszeniami, że ściślej, aniżeli ktokolwiekby inny, nazwisko swoje z historią jej wynalazku powiązał. Wydobyła się z kopalni i zaczęła służyć wszelkim gałęziom przemysłu. W trzydzieści lat później, w początkach wieku XIX-go, okazała się przydatną jako inotor statków wodnych, a po dalszych jeszcze latach dwudziestu, gdy zbudowano maszyny o wysokiem ciśnieniu, obywające się bez oziębialników, dała się zaprzędzić i do wozów lądowych. Maszyna parowa stała się przodowniczką przemysłu, pod jej technieniem z drobnych zarodków rozrósł się on do potęgi olbrzymiej, świst lokomotywy zasyczał w najdalszych zakątkach Ziemi.

Ale w pracy niezmordowana, skinieniu człowieka posłuszna, miała maszyna parowa i głód nienasycony; im więcej od niej wymagano, tem obficiej trzeba ją było zasilać. Pomimo wszelkich udoskonaień, jest ona bardzo jeszcze marnotrawna, wyzyskać umie pożytecznie zaledwie kilkanaście odsetek ilości ciepła, jaką zużywa. Gdzie drzewem lasów opalać ją chciano, tam wyczerpywały się rychło, czarny jedynie węgiel, z łona Ziemi dobywany, stał się dla niej pokarmem odpowiednim. Wraz też z rozwojem maszyny parowej, z rozprzestrzenianiem się jej po Ziemi, wzrastała się i produkcja kopalni węgla. Gdy w początku w. XVIII dobywano w Anglii rocznie 2.5 mil. tonn (po 1000 kilogramów), ilość ta wzrosła w roku 1800 do 10 milionów, w 1845 do 35, w 1860 do 85, w 1880 do 147, a w 1890 przekroczyła 180 milionów tonn. W Niemczech jeszcze w roku 1860 produkcja roczna nieznacznie przewyższała 12 milionów tonn, a w roku 1890 osiągnęła 90 milionów. U nas, w Zagłębiu Dąbrowskiem, do roku 1870 dobywano zaledwie 200 tysięcy tonn (2 miliony korcy) rocznie, w roku 1890 produkcja wzrosła do 2 i pół miliona, w roku 1898 przewyższyła 4 miliony tonn. W ogólności w całej Europie wydobyto w 1890

roku 355 809, w innych częściach świata 158 310, a razem na całej Ziemi 504 119 milionów tonn węgla kamiennego.

Bądźmy jednak sprawiedliwi. Nie wszystek ten zasób pożera machina parowa. Znaczną część węgla zużywa hutnictwo, wytapianie metali z rud, chociaż znów przemysł ten rozwinął się za jej sprawą dopiero; nie mniej zapewne idzie na ogrzewanie mieszkań, a wreszcie węgiel nie jest tylko dostawcą pracy i ciepła, ale dostarcza nadto i gazu oświetlającego. W Anglii maszyny parowe we wszelkiego rodzaju fabrykach zużywają 24 odsetki, produkcya i przeróbka surowca żelaznego 16.5, żegluga 8.5, koleje żelazne 4, wyrób gazu 6, opalenie mieszkań 17.5 odsetek węgla wyprodukowanego, reszta schodzi na wywóz i na potrzeby podrzędniejszego znaczenia.

Najszybszy przyrost spożycia obciąża komunikację lądową i wodną, natomiast wydatek węgla na produkcję żelaza i innych metali znacznie się zmniejszył od roku 1870, a oszczędność ta świadczy dobrze o postępach, jakim w ostatnich czasach uległa metalurgia.

Przerażony tak nieopatrzem szafowaniem węgla, który jest podstawą całego bogactwa i całej potęgi Wielkiej Brytanii, parlament angielski już w roku 1866 wyznaczył komisję do zbadania, na jaki jeszcze przeciąg czasu skarby te starczyć mogą. Po starannych poszukiwaniach, komisya ta ogólną ilość węgla, przydatnego do eksploatacyi, we wszystkich kopalniach angielskich oceniła na 150 000 milionów tonn. Gdyby więc spożycie węgla utrzymało się w wysokości dzisiejszej, zasób, dotąd w podziemiach Anglii złożony, starczył-by dla niej jeszcze na jaki lat tysiąc; jeżeli wszakże wzrastać będzie i nadal w stosunku takim, jak obecnie, kopalnie angielskie ulegną wyczerpaniu już po 250 latach.

Podobny rachunek przeprowadzono i dla Zagłębia węglowego w Królestwie Polskiem. Zapas węgla w naszych kopalniach obejmuje około 1707 milionów tonn; produkcya w ostatnich latach wzrosła do 4 milionów tonn rocznie, gdyby więc nie wzrastała się wyżej, służył-by potomkom naszym na 400 lat jeszcze; dla Anglii nie starczyłby na jedno dziesięciolecie nawet.

Obliczenia te, zapewne, są przybliżone zaledwie, nieściśle; w różnych okolicach Ziemi są kopalnie dopiero tknięte, w wielu miejscach istnieją pokłady ukryte, nieznanne. W każdym razie wszakże zasób węgla w podziemiach jest ograniczony i skromnie wymierzony względnie do potrzeb człowieka. Przeciąg czasu, na

jaki starczyć może, obejmuje nie tysiącolecia, ale stulecia zaledwie, okres krótki nawet w stosunku do niedługich dziejów człowieka historycznego. Jak nieopatrzny spadkobierca, któremu bogate dziedzictwo przypadło, trwoni człowiek dzisiejszy sowitą spuścizną wieków minionych; jakżeż poradzi sobie potomność nasza, czem zastąpi brak węgla, gdy, jakby grosz ostatni z kalety, ostatni jego okrucz z Ziemi dobędzie, gdzie znajdzie nowe źródło energii,—ciepła i pracy?

III.

Płonna—mówią nam—obawa, nie stanie węgla, będzie elektryczność. Już teraz przecież, jako potężna rywalka pary występuje, berło jej wydziera, po wieku pary, wiek elektryczności nadchodzi. Puste złudzenie. Elektryczność nie jest energią, nie daje jej źródła, jest pośredniczką tylko; nie przybyła, by węgiel zastąpić, wzmogła raczej jego zapotrzebowanie. Gdzie warczy machina dynamoelektryczna, tam poza nią rozlega się łoskot maszyny parowej i wznoszą się kłęby dymu. Gdzie olśniewa nas światło elektryczne, gdzie wozy elektryczne biegają, tam też płonie węgiel, odnajdujemy też samo źródło energii, które i nam dotąd służyło; wracamy do tegoż samego początku i znowu dostrzegamy tenże sam gład czarny. Jeżeli go więc zastąpić mamy, należy rozpatrzyć, skąd wzięł on swą moc osobliwą, jak zrodziła się złożona w nim potęga.

Jest to dziś dla nas rzecz dobrze zrozumiała. Gdy zakrzepły i osiadły pierwsze pokłady skorupy ziemskiej, warstwy węgla nie mieściły się w nich jeszcze; poznaliśmy je, jako pozostałości lasów przedwiecznych. Drzewa te żyły, wzrastały, brały swój pokarm z powietrza, zdobywały węgiel, jako materiał na budowę swych tkanek. Węgiel unosił się w powietrzu w stanie lotnym, związany z tlenem, jako kwas węglany; aby go zdobyć, aby go sobie przyswoić, musiały stare te drzewa rozrywać cząsteczki kwasu węglanego, rozbijać je na atomy węgla i tlenu; dokonywało się w nich rozłączenie chemiczne, substancje silniej utlenione przechodziły w związki o niższym stopniu utlenienia. Takie wszakże rozrywanie związku chemicznego wymagało nakładu energii, rozdzielanie atomów, w jedną cząsteczkę związanych, dokonywać się mogło jedynie kosztem na ten cel wyłożonej pracy. Źródło zaś tej pracy czerpały stare te drzewa z ciepła, nadsyłanego Ziemi przez Słońce,

chwytają żywą, promienistą energię Słońca i składały ją w wytwarzanych przez siebie substancjach w formie rozłączenia chemicznego, a wszystek jej zasób przechował się nagromadzony w podziemiach dzisiejszych, jakby uspioły, ale każdej chwili do rozbudzenia gotowy, jak w kamieniu wysoko na podporze umieszczonym energia dana mu przez pracę, która go w górę wzniosła, ujawnia się natychmiast w działaniu, skoro zapora usunięta zostanie.

Jakby pamięć dawnego związku z tlenem utrzymała się w nim ta energia przygotowana, jako jego powinowactwo chemiczne, które występuje czynnie, skoro następują się warunki, ponownemu łączeniu z tlenem sprzyjające. Gdy kilogram węgla płonie, wytwarza się też sama ilość ciepła, jaką niegdyś promieniom słonecznym zabrała jakaś paproć drzewiasta, by z kwasu węglanego oswozić kilogram węgla na budowę swych tkanek. Odnajdujemy energię, która w postaci promieni słonecznych zbiegła do Ziemi w epoce geologicznie nawet już zamierzchłej. To nam też tłómaczy, dlaczego żaden inny materiał, żadna inna część składowa skorupy ziemskiej do współzawodnictwa z węglem stanąć nie może, są to bowiem w ogólności substancje z tlenem związane, energii chemicznej pozbawione. Jak niegdyś o budowie ruchadła wieczystego, „perpetuum mobile“, tak później marzono o tanich i łatwych sposobach rozrywania wody na składowe jej pierwiastki, by posiadać wodór swobodny, który chciwiej jeszcze, aniżeli węgiel, łączy się z tlenem, posiada doń, jak mówimy, większe powinowactwo, przez spalenie zatem obfitszą ilość ciepła wywiązuje. Pojmujemy to jednak teraz, że rozłożenie wody na tlen i wodór wymaga takiegoż samego nakładu energii, jaka się wzbudza przy łączeniu tych pierwiastków; dobywanie wodoru, by go następnie palić, było-by tylko chemicznem perpetuum mobile, kołem błędnem, nie dającym zysku ani korzyści.

Gdy więc zagraża nam brak tej energii oddawna zaoszczędzonej, gdy chcemy węgiel zastąpić, zwrócić się musimy do tegoż samego źródła, jak niegdyś bowiem, tak i dziś, Słońce jest ostatecznym i wyłącznym źródłem wszelkiej działalności i wszelkiego życia na Ziemi. Zanim rozjaśniła nauka najnowsza, że z niego wszystek swój zasób energii czerpie przyroda ziemską, przeczuwał to już i pojmował człowiek pierwotny, gdy część gwieździe dzien-

nej składał. Działalność wszakże Słońca w jednaki zawsze wybija się sposób, a na usługi nasze następują się też same tylko jej objawy, z których korzystali i dawni przodkowie nasi, uczymy się tylko coraz lepiej, coraz szcudrzej je wyzyskiwać.

Najdostępniejszą dla nas formą, w jakiej energia słoneczna rozporządzać sobą dozwala, są niewątpliwie materiały opałowe, wytwarzające się pod wpływem życia roślinnego; nieunikniona wszakże zagłada lasów nadaje im znaczenie coraz podrzędniejsze, a wraz z ograniczaniem obszarów roślinnością zajętych, nikną i pozostające po niej torfowiska, które i teraz już chwilowy tylko zapowiadać mogą ratunek.

Gdy praca zwierząt pomoc nam niesie, w energii Słońca również źródło jej ostateczne znajdujemy, rośliny bowiem, które pokarm ich stanowią, w blasku tylko Słońca, kosztem jego promieni rozwinąć się mogły. Gdy człowiek pierwotny pokonał i oswoił zwierzęta stepów i lasów, gdy zdołał je zamienić na przyjaciół wiernych i robotników uległych, wzmógł władzę swą nad opornymi siłami natury, założył podstawy swego dobrobytu i wznosił się wyżej na szczyblach kultury. Dziś wszakże zużyło się już, wyczerpało współpracownictwo jestestw żyjących, a usługi ich jakżeż błahemi nam się wydają. Rolnik uwalnia z pod jarzma wołu i do pługa lokomobilę parową zaprzęga, a po lasach Ameryki północnej snują się stada dziedziałych i zgłodniałych koni, bezlitośnie wygnane przez hodowców, gdy dawni nabywcy mają teraz do rozporządzenia wozy, samodzielnie biegnące. Wielbłąd, ten sławny okręt pustyni, uchodzi przed świstem lokomotywy, a słoń, olbrzym świata zwierzęcego, służy już tylko do parady władcom indyjskim, lub widzów w cyrku rozwesela. Nowych ras, które-by siłą mięśni i rącznością nóg sprostać mogły machinom ze stali kowalnym, nie wytworzy żadna hodowla sztuczna.

Energia słoneczna nie zużywa się wszakże wyłącznie na budowę i utrzymywanie istot żyjących, ale ujawnia się także w sposób prostszy w formie pracy mechanicznej, w przemieszczaniu żywołów ruchliwych Ziemi, w krążeniu wód, w prądach powietrznych.

Z rozległych powierzchni oceanów, niedojrzane przez nas, uchodzą wciąż w górę lotne kłęby pary, oderwane działaniem ciepła słonecznego, wbrew krępującej potędze przyciągania ziemskiego, rozprzestrzeniają się w powietrzu, a gdy w postaci opadów atmosferycznych wracają na Ziemię, przenikają w jej głębie,

i przez najciaśniejsze w skałach szczeliny torują sobie drogi do źródeł, którym nieprzerwany niosą zasiłek. Gdy więc ze źródeł tych woda strumieniami, potokami i rzekami do mórz zbiega, znosi wraz z sobą energię, która ją do wędrówki tej pobudziła. Krążenie wód ziemskich jest to w istocie rzeczy obieg energii słonecznej. Zasobami jej wartka rzeka równoważyć może bogatą kopalnię węgla, a sam tylko wodospad Niagary zdołał-by potęgą swą zastąpić pracę połowy nieledwie motorów parowych, obecnie po całej Ziemi rozrzuconych. Olbrzymia ta ilość energii jest też i niewyczerpana, odtwarzać się bowiem będzie, dopóki Słońce nie przestanie nas promieniami swemi darzyć.

Energii wszakże wód bieżących człowiek wyzyskać nie umiał. Pierwszy młyn wodny zbudowano w Rzymie dopiero za czasów Augusta, a niedawno jeszcze posługiwano się kołami wodnymi pierwotnej zupełnie konstrukcyi; w ostatnich dopiero czasach nadano łopatom postać właściwszą i wprowadzono korzystniejsze turbiny, ale wciąż jeszcze miliony metrów sześciennych wody spływają codziennie do mórz, unosząc nieużytkowany swój zasób sił żywych. Samą ich wartość, zresztą, nauczono się cenić dopiero, gdy w sprawie tej udział wzięła elektryczność, która każde źródło energii do pożądanego celu naginać dozwala. Gdy gdziekolwiek w przyrodzie następujący się spadek wody zagniony zostaje do obracania zwojów maszyny dynamo-elektrycznej, wzbudzone w nich prądy galwaniczne wytwarzać mogą światło, ciepło, lub maszyny jakiegokolwiek w biegu utrzymywać. Już teraz w wielu miejscach, przy pośrednictwie maszyn dynamo-elektrycznych, chłodne fale płynącej wody topią rudy, pędzą koleje, rozpalają lampy i wykonywają mnóstwo prac innych, o których niedawno jeszcze nikt-by nie sądził, że działaniem wód spełniane być mogą.

Prąd elektryczny wszakże nietylko służy jako pośrednik w przeobrażaniu jednych form energii w inne, ale daje nam też możność przenoszenia jej dowolnego. Przenoszenie energii, czyli przenoszenie pracy, jest wprawdzie sprawą bardzo powszednią, przykłady jej bowiem widzimy w każdej transmisji fabrycznej za pośrednictwem pasów bez końca, w każdym pocisku armatnim, szerzącym daleko groźną potęgę prochu wybuchającego, w każdym pręcie metalowym, rozgrzewającym się przez przewodnictwo; ale dopiero pomoc elektryczności dozwoliła działanie to na znacz-

ną prowadzić odległość. Gdy prąd elektryczny, w maszynie dynamoelektrycznej wytworzony, dopływa po drucie do drugiej podobnej maszyny, wprawia zwoje jej w obrót, nadaje im ruch i odtwarza pracę, na obrót pierwszej wyłożoną, pozwala z niej korzystać zdaleka od pierwotnego jej źródła. W ten sposób ogniskami ożywionej działalności stać się mogą okolice dalekie od wodospadów i potoków górskich, gdzie zużytkowanie bezpośrednie ich energii byłoby połączone z trudnościami niepokonanymi. Co dotąd na polu tem zrobiono, są to jeszcze próby tylko, pierwsze zaledwie stawiane kroki, w przyszłości jednak niewątpliwie człowiek coraz usilniej odwoływać się będzie do energii wód bieżących. Gdy obecnie na czele wszelkich prac technicznych mieści się wywiązywanie ciepła, które dalej w pracę mechaniczną przeobrażamy, tak znów w przyszłości może następcą się będzie człowiekowi bezpośrednio praca mechaniczna, której kosztem dopiero ciepło wytwarzać będzie.

Podobnie, jak prądy wód, tak też dziełem energii promienistej Słońca są i wiatry, które wszakże w szerokościach naszych z tak niestatecznym występują natężeniem i w tak zmiennych wciąż dmy kierunkach, że pomysł ich zużytkowania zrodził się bardzo późno, a nawet korzystać z nich do poruszania swych statków nauczył się człowiek w nowszych dopiero czasach; wiosła opornie i powolnie ustępowały żaglom, a karawele K o l u m b a posuwały się zaledwie z szybkością trzech mil morskich na godzinę, gdy dziś dobry żaglowiec, umiejętnie swe skrzydła płócienne na działanie wiatrów nastawiając, trzy razy przeszło prędzej płynie. Wiatraki powstały dopiero w XV wieku w Holandyi, gdzie słaby spadek rzek nie dawał dostatecznej siły do obracania kół młynskich; oddały one tam zresztą i ważniejsze usługi, zastosowano je bowiem do podnoszenia wody, a niepozorne te maszyny miały ważny udział w słynnym osuszeniu morzu wydartych i bagnistych obszarów. Przy udziale wody chwiejna energia prądów atmosferycznych daje się gromadzić, akumulować, co dozwala nią dogodniej i swobodniej rozporządzać. Wiatrak, albo raczej już motor powietrzny, przy wietrze sprzyjającym, wprawia w ruch pompy, które wodę rzeki, studni, lub stawu przenoszą do zbiornika górnego, skąd spadek jej w statecznym już obrocie koła wodne utrzymuje.

Ale i w tem zadaniu gromadzenia energii z dzielniejszą pomocą przybywa elektryczność. Gdy prąd galwaniczny przebiega

ogniwa, złożone z dwu płyt ołowianych, zanurzonych w rozcieńczonym kwasie siarczanym, płyty te ulegają pewnemu przeobrażeniu chemicznemu, rozwija się między nimi pewna różnica elektryczna; skoro więc następnie płyty tak przygotowane znowu w cieczy umieszczone zostaną, to po łączącym je drucie prąd elektryczny przebiega. Takie przeto ogniwo jest to akumulator, który każdej chwili gotów jest nagromadzić w nim ładunek w postaci prądu elektrycznego zwracać. Niech więc motor powietrzny użyty będzie do obracania zwojów maszyny dynamoelektrycznej, wzbudzające się zaś w nich stąd prądy do ładowania akumulatorów, a mamy zaoszczędzony w nich, nagromadzony zasób pierwotnej energii wiatru, który na zawołanie odradza się jako prąd elektryczny, do wszelkich usług i przeobrażeń przydatny. Całe urządzenie takie ma dziś jeszcze charakter igraszki naukowej za ledwie, ale tkwi w niem może zaród potężnego rozwoju praktycznego.

Gdy wszakże i węgiel, i wody, i wiatry, są to tylko ogniwa pośrednie w doprowadzaniu nam energii słonecznej, czyżbyśmy nie mogli pośrednictwa tego ominąć i z tej szczytowej krynicy wprost czerpać dla wytworzenia pracy mechanicznej? Idzie tu przecież tylko o skupienie promieni słonecznych i o ich powstrzymanie pod osłoną ochronną. W istocie też podobną „maszynę słoneczną“, pracującą bezpośrednio kosztem promieni słonecznych, zbudował już Ericsson w roku 1868, a następnie Mouchot w roku 1878. W tej ostatniej promienie ulegają skupieniu za pośrednictwem zwierciadła lejkowatego, otwartego pod kątem prostym; powierzchnia wewnętrzna tego stożka jest posrebrzona i starannie wygładzona. Gdy oś zwierciadła zwrócona jest ku Słońcu, promienie odbite od powierzchni metalicznej zbiegają się w długie, liniowe ognisko, w którym mieści się kocioł parowy, złożony z rur miedzianych, sadzą uczernionych i dzwonem szklanym osłoniętych. Sadza bowiem jest to materiał najdzielniej promienie pochłaniający, osłona zaś szklana ma tu znaczenie takie, jak dach cieplarni ogrodowej; jest ona przezroczysta jedynie dla jasnych promieni słonecznych, ale tworzy tamę nieprzebytą dla promieni ciemnych, które mieszczone pod nią kocioł rozsyła coraz obficie, w miarę jak się ogrzewa. Cały aparat nadto za pomocą urządzenia zegarowego utrzymywany jest w ruchu, by oś zwierciadła bezustannie za biegiem Słońca dążyła i pozostawała wciąż ku niemu zwróconą. Działalność więc przyrządu trwa nieprzerwanie,

a wywiązująca się z kotła para przechodzi do walca maszyny parowej. Doświadczenia swe prowadził Mouchot w Algierji, a działaniem zwierciadła o powierzchni czterech metrów kwadratowych otrzymywał w ciągu godziny przeszło trzy kilogramy pary; maszyna wszakże wyzyskiwała zaledwie trzy odsetki zużytego ciepła słonecznego, co daje rezultat tak słaby, że w obecnej konstrukcyi maszyna słoneczna nie może mieć znaczenia, nawet w sownic słońcem darzonych okolicach zwrotnikowych. Z czasem jednak ulegnie ona zapewne ulepszeniom, a może i tu okaże się skuteczną pomoc elektryczności, w stosach bowiem termoelektrycznych zyskujemy prądy galwaniczne bezpośrednio działaniem ciepła. Stosy te zyskały w ostatnich czasach zastosowanie praktyczne; w przyszłości dadzą się może nakłonić do pracy i pod bezpośrednim wpływem promieni słonecznych.

Szukając ocalenia dla człowieka, brakiem węgla zagrożonego, zwracaliśmy się dotąd wyłącznie do Słońca i do ruchów, od niego zawisłych. Znamy wszakże na Ziemi potężne ruchy wody, mniej wpływowi Słońca podległe, a przedewszystkiem przyciąganiem Księżyca wzbudzone. W zestawieniu z olbrzymiemi wymiarami Słońca jest wprawdzie Księżyc nasz drobiazgiem nieznacznym i posiada masę 26 000 000 razy mniejszą, znajduje się wszakże czterysta prawie razy bliżej Ziemi. Przy znacznej odległości Słońca, przyciąganie, jakie ono na różne punkty Ziemi wywiera, jest prawie jednakie, gdy sąsiadujący tuż z nami Księżyc z natężeniem wybitnie różnem działa na środek i na powierzchnię Ziemi, a ta właśnie różnica sprowadza dwukrotne codziennie przesuwanie się powierzchni oceanu, ujawniające się na wybrzeżach, jako przypływ i odpływ morza. W potężnym tym oddechu oceanów mieści się tak obfite źródło energii, że gdybyśmy z niego korzystać umieli, wystarczyłoby do utrzymywania w biegu wszystkich maszyn, do oświetlania wszystkich lamp i do ogrzewania wszystkich pieców naszych. Dotąd pole to leży zupełnie odłogiem; gdy przyszłe pokolenia znajdą możność zużytkowania go, wywrzeć to może na dalszy rozwój kultury wpływ potężniejszy, aniżeli wynalazek motorów parowych.

Wznoszenie się i opadanie wód morskich zawisło wprawdzie głównie od przyciągań Księżyca, ostatecznie jednak sprowadzić je należy również do Słońca, tej bowiem gwiazdzie naczelnej naszego układu planetarnego wszystkie jego ruchy ulegają. Jak dotąd za-

XIII. BEZ WĘGLA.

tem, tak i nadal, człowiek byt swój na Ziemi jedynie kosztem energii słonecznej utrzymywać może; rozwój kultury wyraża się w coraz doskonalszem jej wyzyskiwaniu, a samo istnienie człowieka w przyszłości wiąże się z tem, jak dalece nią jeszcze zawładnąć zdoła.

XIV.

PIERŚCIEN SATURNA.

I.

Dziwne i niespodziane rzeczy zobaczył Galileusz, gdy w początku wieku siedemnastego zwrócił na niebo skromną swą lunetę pierwotną, która nam teraz jedynie jako lornetka teatralna służy. Odkrył góry na Księżycu i plamy na Słońcu, blask jednostajny drogi mlecznej rozwiązał się na zbiorowisko gwiazd drobnych i nieprzeliczonych, Wenera ukazała zmiany swej postaci, jakby fazy Księżycu naśladowała, a cztery gwiazdy medycejskie, czyli księżyce Jowisza, dały mu argument potężny na poparcie nauki Kopernika.

Śród wszystkich tych wszakże odkryć uderzających zdumienie największe sprawił mu Saturn, a jakby własnym swym oczom nie ufał, zanim pierwsze swe dostrzeżenie dalszemi upewnił obserwacjami, wyraził je tymczasowo anagramem, „przesłanym w 1610 roku Keplerowi:

„Smals mr mil me poeta levmbvbnenvgtta viras“.

Anagramy takie były w zwyczaju uczonych ówczesnych, osłaniali nimi bowiem odkrycia swoje, które przed ogłoszeniem pragnęli ściślejszym poddać badaniom; zapewniali sobie tym sposobem prawo pierwszeństwa, jak dziś wiadomości podobne składają się w kopertach zapieczętowanych akademiom. Znaczenie swego anagramu wyjaśnił Galileusz później; było to przedstawienie głosek zdania:

„Altissimum planetam tergeminum observavi“, co znaczy: „planetę najdalszą trójdzielną widziałem“.

Najdalszą tą planetą, jak za czasów Hipparcha i Ptolemeusza, był jeszcze Saturn; Urana odkrył dopiero Herschel w 1781, a istnienie Neptuna wykazał Leverrier w 1846. Ten

Saturn więc, który oku nieuzbrojonemu przedstawia się jako gwiazda pierwszej wprawdzie jeszcze wielkości, ale blaskiem swym znacznie ustępuje najjaśniejszym gwiazdom nieba, wydał się Galileuszowi gwiazdą trójdzielną, z trzech części złożoną, — obok większej tarczy środkowej, po obu jej stronach widział dwa kółka mniejsze. Zdziwił się jednak bardziej jeszcze, gdy po dwuletniej obserwacji, w roku 1612, boczne te dodatki znikły zupełnie, a Saturn stał się krążkiem pojedynczym, jak wszystkie inne planety. Przypuszczał wtedy Galileusz, że poprzednie jego dostrzeżenia mogły być mylne, spowodowane błędami i brakami jego lunety; ale gdy po kilku latach planeta w innej jeszcze ukazała mu się postaci, jakby wydłużonemi i wązkimi ramionami opatrzona, tak go te mniemane złudzenia zraziły, że podobno nigdy już potem spojrzeć nie chciał na Saturna. Ciężkie zresztą koleje jego życia oraz choroba oczu, która się zupełnem zaniewidzeniem skończyła, rychło kres obserwacjom jego astronomicznym położyły.

Już jednak najbliżsi następcy Galileusza, astronomowie pierwszej połowy siedemnastego stulecia: Scheiner, Gassendi, Heweliusz, Riccioli, nieco lepszymi opatrzeni lunetami, przekonali się, że osobliwa postać Saturna nie jest bynajmniej złudzeniem, a w różnych czasach planeta ta rzeczywiście w rozmaitej ukazuje się formie. Na rysunkach owoczesnych widzimy ją najczęściej w postaci kuli, posiadającej po obu stronach wyrostki podobne do rękojeści półksiężycowych, które wszakże rozwartość mają zmienną, a niekiedy zwężają się tak dalece, że tworzą tylko przysadki linijne.

Zagadkę tych uderzających przeobrażeń rozwikłać zdołał dopiero Huygens, który tak potężnie przyczynił się do budowy fundamentów nauki nowoczesnej. W r. 1655 widział on Saturna z wązkimi po obu stronach ramionami, które znikły zupełnie w początkach roku następnego, a planeta wydała się dokładnie okrągłą, jak ją obserwował Galileusz w roku 1612. Po upływie jednak kilku miesięcy ramiona wróciły znowu, a wtedy w umyśle jego rozwiązanie zadania odrazu zabłysło. Oczekując jednak potwierdzenia od dostrzeżeń dalszych, podobnie jak Galileusz, pogląd swój rozesłał zaprzyjaźnionym astronomom w formie anagramu, zamieszczonego na końcu niewielkiej rozprawy, jaką w tym czasie ogłosił o odkryciu pierwszego satelity Saturna. Anagram ułożony był w porządku alfabetycznym głosek:

aaaaaa ccccc d eeeee g h iiii lll mm nnnnnnnnnn ooooo pp
q rr s tttt uuuu,

co po należytem ich rozstawieniu znaczyło:

„Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam coherente, ad eclipticam inclinato“.

W treściwym tym i dokładnym opisie całe zjawisko zagadkowe zyskało wyjaśnienie zupełne: Jest to pierścień cienki, płaski, planetę swobodnie otaczający i pochylony względem drogi, po której Ziemia krąży.

Po tem wyjaśnieniu pojmujemy już łatwo, skąd w widoku planety tak uderzające zachodzą przeobrażenia, są to bowiem tylko kolejne fazy czyli odmiany, zależne od położenia pierścienia względem Ziemi i Słońca. Dzieje się tu jak z kartką papieru, którą na wysokości oka trzymamy, jeżeli jej rozmaite nadajemy pochylenia. Gdy płaszczyzna pierścienia przechodzi przez Ziemię, czyli przez oko obserwatora ziemskiego, widzieć możemy jedynie wązki jego brzeg, który tworzy wtedy smugi prostolinijne po obu stronach planety; z powodu wszakże nieznacznej grubości pierścienia, która zapewne dwustu kilometrów nie przechodzi, wązkie te smugi przez lunety słabe zgoła dostrzedz się nie dają. W podobnej wszakże fazie ukazuje się nam też planeta, gdy płaszczyzna pierścienia przez Słońce przechodzi, wtedy bowiem oświetlony jest tylko brzeg jego, inne zaś jego strony, w ciemnościach pogrążone, są dla nas niewidoczne. W położeniach natomiast pośrednich, gdy płaszczyzna pierścienia jest względem Ziemi pochylona, widzimy pierścień otwarty mniej lub więcej, a to zależnie od stopnia tego pochylenia; przytem ukazuje się nam naprzemian powierzchnia jego północna i południowa, podobnie jak karty przed oczyma pochylonej dostrzegamy kolejno stronę górną i dolną.

Pierścień Saturna jest dziś powszechnie znany, choćby z rysunków, które się łatwo nastreczają. Widok ten budzi zaciekawienie każdego. Co znaczy ten utwór osobliwy, jedyny w całym układzie słonecznym, jak utrzymuje się w równowadze ta obręcz zdumiewająca, opasująca dokoła planetę, nigdzie jej nie dotykając? Zanim jednak pytanie to rozbierzemy, przyjrzyjmy się choć po bieźnie i samej planecie.

II.

Oku nieuzbrojonemu przedstawia się Saturn jako gwiazda żółtawa, połyskująca światłem spokojnem, jakby matowem, a chociaż jasnością ani w części nie dorównywa Wenerze lub Jowiszowi, zaliczyć go jeszcze można do gwiazd pierwszej wielkości. Blask ten zresztą jest nieco zmienny, zależnie od niejednakiej zawsze jego od nas odległości, a również i od obfitości światła, jaką nadsyła nam pierścień, w różnych czasach rozmaicie ku nam pochyłony. Przesuwa się między gwiazdami nader opieszale, w ciągu bowiem całego roku przebiega zaledwie 13 stopni, takąż samą drogę w mierze kątowej, jaką Księżyc nasz przez jedną dobę zakreśla, z czego już wypada, że na obieżenie pełnej swej drogi dokoła Słońca tyleż lat łoży, ile dni Księżyc na okrążenie Ziemi potrzebuje. Kończy zatem pełną swą wędrówkę wokoło Słońca dopiero po upływie $29\frac{1}{2}$ lat, a przeciąg ten czasu wiąże się ze znaczną odległością Saturna od Słońca, jest bowiem od niego dziesięć prawie razy bardziej oddalony, aniżeli Ziemia nasza. Słońce, z Saturna widziane, wydaje się kręgiem sto razy mniejszym, aniżeli mieszkańcom Ziemi, i w tymże samym stosunku słabiej go oświetla i ogrzewa. Wielkością wśród wszystkich planet Jowiszowi tylko ustępuje, a w zestawieniu z Ziemią istnym jest olbrzymem, siedmset bowiem prawie razy przewyższa ją swoją objętością; pomimo wszakże wymiarów tak wielkich waży dziewięćdziesiąt tylko razy więcej, aniżeli Ziemia, ze wszystkich bowiem planet ma gęstość najmniejszą: jest lekki, jak korek. Natomiast wiruje dokoła swej osi daleko szybciej, aniżeli Ziemia, doba jego trwa bowiem dziesięć godzin naszych, a stąd też i daleko znaczniejsze posiada spłaszczenie podbiegunowe.

Z podobną dokładnością, jak o stosunkach matematycznych Saturna, o jego budowie fizycznej mówić nie możemy. Im przedmiot bardziej jest od Słońca odległy, tem słabiej jest oświetlony, a im dalej od Ziemi przypada, tem wydaje się mniejszym; z obu tych powodów rozpatrywanie planet dalekich następuje z trudności wielkie. Już słaba gęstość Saturna świadczy, że napróżno upatrywalibyśmy w nim analogii do Ziemi naszej; olbrzymia ta masa nie jest to zapewne bryła skorupą zakrzepłą ujętą, ale raczej potężna powłoka par i gazów zgęszczonych, utworów obłokowatych, otaczających jądro wewnętrzne, niewielkie stosunkowo, może niezają-

stygłe jeszcze zupełnie. Tak przynajmniej sądzić należy o Jowisz, który nam lepiej jest znany, a powierzchnie obu planet przedstawiają niejakię między sobą podobieństwo. I względy zresztą teoretyczne wykazują, że wnętrze obu planet posiada gęstość znacznie większą, aniżeli warstwy ich wierzchnie, co z poglądem powyższym dobrze się zgadza.

W wędrówce swej dokoła Słońca prowadzi Saturn liczny orszak ośmiu księżyców, posiada ich zatem więcej, aniżeli którakolwiek inna planeta. Pierwszy z tych księżyców, jak wspomnieliśmy wyżej, odkryty został przez Huygensa w roku 1655; ponieważ obok Księżyca ziemskiego i czterech księżyców Jowisza, przez Galileusza odkrytych, był to księżyc szósty w całym układzie słonecznym, a znanych było wówczas także sześć planet, wyobraził sobie Huygens, że odkryciem tem uzupełnił system słoneczny, przypisując mu liczbę trabantów jednako z liczbą planet. Uprzedzenie to zapewne powstrzymało go od poszukiwań dalszych, ale wkrótce potem Cassini, w ciągu lat 1671—1684, odkrył jeszcze cztery księżycy Saturna. Dwa następne zobaczył dopiero Herschel po upływie stulecia, w roku 1789, a ostatni wreszcie dostrzeżony został w roku 1848, prawie jednocześnie przez Bonda i Lessella. Rozmieszczone są w różnych oddaleniach od planety; najdalszy przypada w odległości przechodzącej sześćdziesiąt razy promień Saturna, stosunkowo zatem również daleko, jak nasz Księżyc od Ziemi. Wymiarów satelitów Saturna dokładnie oznaczyć nie zdołano, w każdym razie, odpowiednio do ogromu planety, nie są to bryły wielkie; największy z nich nawet, Tytan, Księżyc naszego może nie przerasta.

Liczny ten zastęp księżyców, rozrzuconych w różnych swych fazach jednocześnie na nocnem niebie Saturna, wynagradza mu dnie mroczne i ponure, dalekiem Słońcem słabo zaledwie rozjaśnione. Okazałość zaś widoku podsycza smuga błyszcząca pierścienia, rozciągająca się ponad równikiem planety i przebiegająca niebo od wschodu ku zachodowi, widzialna jest wszakże z ograniczonej tylko części jej powierzchni. Przedewszystkiem nie znają zgoła pierścienia okolice podbiegunowe Saturna, unosi się on bowiem niezbyt wysoko ponad równikiem i kryje pod poziomem stron dalekich. Ukazuje się dopiero w szerokościach niedochodzących 63°, ale i tam widzialny jest tylko w ciągu półroczu letniego, Słońce bowiem oświetla naprzemian jego stronę północną i południową. Gdy w pozornej swej wędrówce z północy na południe i z południa

XIV. PIERŚCIEŃ SATURNA.

na północ Słońce przejdzie za równik, łuk pierścienia gaśnie na niebie natychmiast dla półkuli, której dotąd przyświecał, by za błysnąc jej znowu z brzaskiem wiosny, co wszakże następuje dopiero po upływie naszych lat piętnastu. Podczas miesięcy zimowych pierścień przedstawia swą powierzchnię ciemną i jest w nocy niewidzialny, a obecność swą ujawnia jedynie brakiem gwiazd w pasie, który przysłania; w ciągu zaś dnia nieraz zapewne kryje się Słońce poza tą arkadą olbrzymią, co sprowadza często długotrwałe zaćmienia, a w niektórych okolicach Saturna gwiazda dzienna przez długo okresy zgoła się nie ukazuje. Dla planety zatem dodatek taki bynajmniej się pożądanym nie wydaje i możemy być zadowoleni, że zdala go tylko obserwujemy.

III.

W miarę, jak wzrastała potęga lunet, szczegóły pierścienia ujawniały się wyraźniej. W roku 1665 dostrzegł Ball przebiegającą wzdłuż jego powierzchni czarną smugę, a w kilka lat później przekonał się Cassini, że występuje tu podział istotny, rozgraniczający dwa oddzielne pierścienie współśrodkowe. Obecnie niewielka już luneta ukazuje ten przedział w skrajnych przynajmniej częściach pierścienia, na całej jednak długości śledzić mogą jego pasmo jedynie lunety potężne w sprzyjających warunkach pogody. Z ogólnej szerokości obu pierścieni przypada na tę przerwę zaledwie część piętnasta, wynosi bowiem 3100 kilometrów, gdy szerokość pasa zewnętrznego czyni 16600, a wewnętrznego 29700 kilometrów; od powierzchni Saturna jest ten ostatni oddalony o 27600 kilometrów, co wyrównywa niespełna połowie promienia planety. W różnych zresztą czasach różni obserwatorowie dostrzegali inne jeszcze przedziały, zwłaszcza w pierścieniu zewnętrznym; jeżeli przerwy takie istnieją rzeczywiście, są to zapewne utwory przechodnie, które niekiedy powstają i znowu giną, prawdopodobniej jednak były to objawy pozorne, z dostrzeżeń błędnych wynikające.

Odstęp między pierścieniem a powierzchnią planety nie jest wszakże pusty, ale zajęty jest przez trzeci jeszcze pierścień, wewnętrzny, daleko słabiej od pierścieni zewnętrznych świecący i dla tego pierścieniem ciemnym nazwany. Widział go najpierw Galle w r. 1838, ale opisy jego nie są dosyć jasne i stanowcze, dostrzeżenia dopiero jednoczesne Bandta w Ameryce i Dawesa w An-

gii 1850 roku wykazały obecność niewątpliwą trzeciego pierścienia, który tak jest przejrzysty, że brzeg planety daje się skroś niego wyraźnie dostrzegać. Prawdopodobnie też niema rozgraniczenia ścisłego między tym pierścieniem ciemnym a pierścieniem jasnym i niepodobną wskazać dokładnie, gdzie się jeden kończy, a drugi zaczyna. Być więc może, że pierścień ciemny narasta kosztem wewnętrznego pierścienia jasnego, albo nawet z niego się rozwinął dopiero w ciągu ostatnich lat dwustu. Domysł ten mógłby tłumaczyć, dla czego nie pozostawili o nim wzmianki astronomowie dawniejsi, choć narzuca się wyraźnie oczom obserwatorów. Kres jego wszakże nie daje się dokładnie uchwycić, sięga mniej więcej do połowy odstępu, dzielącego pierścień jasny od planety.

Niejednokrotnie dostrzegano na pierścieniu plamy, a ze zmian, w ich położeniu zachodzących, wniesiono już w początkach wieku ośmnastego, że pierścień wiruje dokoła środka planety; dokładnych rezultatów spostrzeżenia te nie wydały, przeważna jednak liczba obserwatorów przyjmuje, że na dokonanie pełnego obrotu pierścień łoży około $10\frac{1}{2}$ godziny.

IV.

Legenda mahometańska, która zresztą jest może tylko bajką w Europie skomponowaną, opowiada, że trumna żelazna proroka unosi się w powietrzu, między dwoma magnesami zawisła. Dla wiernego muzułmanina jest to może objaw cudowny, my wszakże nie mamy obowiązku wierzyć cudom proroków obcych: w tak osobliwym osadzeniu trumny żelaznej nie widzimy zgoła objawu nadprzyrodzonego, dwa bowiem magnesy jednakiej mocy ciągną ją w strony wręcz przeciwne, a pod wpływem ich współdziałania trumna utrzymuje się w równowadze. Jeżeli nas co w opowiadaniu owem zdumiewa, to chyba trudność wyszukania dwu magnesów potężnych, tak doskonale wyrównanej mocy.

Dzisiejsze nasze sposoby wyrabiania magnesów sztucznych może dozwoliłyby otrzymać dwa magnesy zupełnie jednakie, napróżno jednak usiłowałibyśmy zawiesić między nimi drobną nawet igłę stalową. Chociażby się zdołała przez krótką chwilę w równowadze utrzymać, byłaby to w każdym razie równowaga chwiejna, niestała, a najdrobniejszy już ruch zewnętrzny, powiew najslabszy, odchyliłyby ją natychmiast z tego położenia i na jeden

lub drugi magnes przerzucił. Trwałość i bezpieczeństwo jedynie tylko równowaga stateczna zapewnić może.

Pierścień jednak Saturna utrzymuje się trwale w położeniu niemniej osobliwym, aniżeli bajeczna trumna Mahometa, bujając swobodnie dokoła planety i nigdzie się na niej nie wspierając. Jakżeż się dzieje, że w warunkach tak niezwykłych równowaga stateczna zachować się może?

W ciągu dwu stuleci po odkryciu pierścieni Saturna astronomowie pytania tego nie podejmowali zgoła; podziw ich budził samą formą swoją ten jedyny w całym układzie słonecznym towarzyszący kołowy planety, ale w swobodnem jego zawieszeniu trudności mechanicznych nie dostrzegali. Laplace dopiero, w wielkim swym traktacie Mechaniki nieba, zajął się rozbiorem tego zagadnienia, ale rezultat jego badań okazał się zgoła niespodziewany; świadczył, że otaczający planetę pierścień jednorodny i jednostajny w równowadze statecznej utrzymywać się nie może, stan taki ulegałby bowiem zakłóceniu pod wpływem najsłabszej siły zewnętrznej. Przyciąganie sąsiedniego księżycy lub planety odległej musiałoby go wytrącić z położenia pierwotnego; środek pierścienia oddalałby się wciąż od środka planety, aż wreszcie pierścień opadłby na jej powierzchnię i z nią się zespolił. Z tych wywodów teoretycznych wypływa zatem, że pierścień Saturna nie może być to obręcz na całej swej rozległości jednolita, o ileby wszakże do utrwalenia równowagi mogły się przyczynić pewne nieregularności budowy, tego Laplace nie rozbrajał bliżej. Silniejsze zagęszczenia, jakie dostrzegali w niektórych miejscach Herschel i inni obserwatorowie, nie przedstawiają znaczenia większego.

Wspomnieliśmy wyżej, że w różnych czasach widziano w pierścieniu przerwy chwilowe, które powstawały i znowu znikały; dostrzeżenia te nie są wprawdzie dostatecznie pewne, niektórzy jednak astronomowie ukazywanie się takich przerw znikomych uznali za dowód ciekłego stanu pierścienia, ale trudności okazały się tegoż samego rodzaju, co w rachunkach Laplace'a; podobnie jak pierścień stały, tak też i ciekły nie mógłby się utrzymać bez współdziałania siły zewnętrznej. Kwestya więc pozostała nierozstrzygniętą, a obrót pierścienia wydawał się nadal tak zagadkowym, jakby na Saturnie rządziły prawa ruchu z zasadami Mechaniki naszej niezgodne; rozjaśnienia doczekała się cała ta sprawa dopiero w r. 1857, gdy zajął się nią Clerk Maxwell,

profesor w Cambridge, który potem silniej jeszcze utrwalił pamięć swą w dziejach nauki przez powiązanie teoryą wspólną objawów światła i elektryczności.

Badania swe nad ruchem Saturna rozpoczął Maxwell od punktu, na którym je pozostawił Laplace, a mianowicie oznaczył wielkość masy, jaką należałoby przyczepić do pierścienia stałego i jednolitego, by zapewnić ruch jego stateczny dokoła planety. Bez dokładnego uzasadnienia rachunkowego wydaje się wprawdzie rzeczą niepojętą, jak przywieszenie ciężaru ocalić może pierścieniu od upadku, ale podobny poniekąd objaw przedstawia nam figurka, która stoi i kołysze się bezpiecznie, dopóki dźwiga równoważące ją kule, pada zaś natychmiast po ich odjęciu.

Bryła wszakże, któraby podobne zrównoważenie dawała pierścieniowi, dokoła planety wirującemu, musiałaby go masą swoją, ciężarem, $4\frac{1}{2}$ raza przechodzić, a wtedy nie byłby to już pierścieniu samodzielny, ale raczej księżyc wielki, lekkim stosunkowo pierścieniem opatrzony. Podobnej niejednostajności w budowie pierścieni Saturna szczególnie żaden bynajmniej nie okazuje, jest przeto rzeczą ze względów teoretycznych nader nieprawdopodobną, by z materiału stałego mogły być utworzone.

Hypoteza ta nadto wydać się musi niedorzeczną, jeżeli olbrzymie wymiary pierścieni zestawimy z nieznaczną ich grubością, nie mogłyby się bowiem oprzeć potędze sił na nie działających i w stanie stałym pozostać. Chociażby z żelaza utworzone były, doznawałyby ciągłych przeinaczeń swej postaci, jak masa miękka i plastyczna; odkąd zaś wiemy, że wszystkie bryły układu słonecznego z jednakich złożone są pierwiastków, nie mamy zasady do przypuszczeń, by pierścienie Saturna ukute były z materiału oporniejszego i wytrzymalszego. Podobnież ocalić się nie da i domysł stanu ich ciekłego, pod wpływem bowiem przyciągania okolic gęstszych i bardziej skupionych dążyłyby tam ruchome części ze stron dalszych; tem samem niweczyłoby się pierwotne obciążenie ustalone, które było warunkiem równowagi statecznej, a wreszcie pierścieniu straciłby swą ciągłość i rozproszył w zbiorowisko drobnych i oddzielnych części.

W takim właśnie rozproszeniu materji pierścienia mieści się rozwiązanie jego zagadki. Już Dominik Cassini, w początkach wieku siedemnastego wyobraził sobie pierścien Saturna, jako zbiorowisko satelitów zbyt drobnych, by mogły być oddzielnie przez lunetę widziane, a zbyt blizkich, by odstępów ich dojrzeć

się dały. Dawny ten pogląd, o którym zresztą zapomniano, Maxwell rozwinął i uzasadnił. Pojmujemy łatwo, że rozpatrzenie biegu takiego roju satelitów przedstawia trudności niesłychane, każdy z nich bowiem przyciągany jest przez bryły sąsiednie, zarówno jak i przez planetę, wszystkie zaś pozostają w ruchu, skąd uporządkowanie ich ciągłej ulega zmianie. Zadanie wszakże tem się ułatwia, że nie idzie tu przecież o znajomość ruchu każdej bryły oddzielnie, ale jedynie o rozpoznanie efektu ogólnego, czy pomimo wiru drobiazgów utrzymują się warunki trwałości całego roju pierścieniowego. Rezultat rachunku okazuje się korzystnym dla tego poglądu. Jeżeli są to satelity jednakiej wielkości, każdy z nich, biorąc udział w ruchu ogólnym, kołysze się nadto w jedną i w drugą stronę przypadającego mu stanowiska; stąd w każdej chwili satelity w jednych miejscach skupiają się gęściej, w innych rozsuwają się między sobą, a fale tych zagęszczeń i rozrzedzeń rozprzestrzeniają się po wirującym pierścieniu, w podobny sposób, jak to się dzieje w drgającym słupie powietrza, w fujarce zamkniętym.

Niepodobna wprawdzie przypuszczać, by to zbiorowisko drobnych satelitów składało się z brył jednakiej wielkości, ale zastrzeżenie to okazuje się zbyt sztywnym, jeżeli bowiem satelity nie są między sobą równe, fale nie będą już tak prawidłowo jedne po drugich, jak w przypadku poprzednim, ale również nie prowadzą do wzrastającego wciąż bezładnego, nie sprowadzają zamętu zagrażającego pierścieniom zagładę. Według tego należy przyjąć, że pierścienie składają się z cząstek rozproszonych, które się poruszają z prędkością różną, zależną od ich odległości od planety. Zapewne, bryły tak samopas biegnące narażone są na częste starcia, na potarcia się wzajemne, których następstwa, same przez się drobne i nieznaczne, sumują się jednak i narastają z wolna do potęgi groźnej dla całości systemu. Tą drogą wszakże przygotowujące się zniszczenie pierścienia obejmuje długi okres astronomiczny, wobec którego stulecia i tysiącolecia nasze nikłemi tylko stają się chwilami. Zresztą, w tym biegu bezładnym cząstek rozrzuconych wytwarza się może dążność do uporządkowania w szereg pierścieni współśrodkowych; w takim razie słabnie sposobność uderzeń wzajemnych, a trwałość systemu znacznie się wzmacnia.

Brył oddzielnych, z których się pierścień składa, rozróżnić

nie możemy; porównać je można do drobnych kropeł wody, tworzących mgłę lub chmurę, naprzód jednolitą i ciągłą zupełnie.

Pierścień jednak wewnętrzny świeci o wiele słabiej, aniżeli oba pierścienie skrajne, i wydaje się ciemnym stosunkowo; pochodzi to stąd zapewne, że unoszące się w nim cząstki zbyt są między sobą oddalone, by odbite od nich promienie słoneczne jasność dawały dostateczną. O znacznem ich rozproszeniu świadczy nadto przezroczystość promienia ciemnego, jak już bowiem nadmieniliśmy wyżej, nie zasłania on bynajmniej brzegu tarczy Saturna.

Gdyby promienie przebiegały przez atmosferę gazową, ulegałyby w niej załamaniu, a brzeg planety ukazywałyby się poszarpany lub w jakikolwiek inny sposób przeinaczony; ponieważ wszakże żadna podobna zmiana nie zachodzi, znaczy to, że promienie nie przedzierają się przez jakikolwiek środek łamiący, ale znajdują przejście w odstępach między bryłami, z których jest pierścień złożony. Jest to więc jakby potwierdzenie optyczne poglądu, przypisującego pierścieniowi budowę złożoną z cząstek rozdzielonych i wzajemnie niezależnych. W promieniach zewnętrznych, gdzie cząstki są bardziej skupione, a odstępy między nimi mniejsze, promienie światła nie napotykają już dróg równie otwartych i przedostać się nie mogą.

W teorii tej znajduje wyjaśnienie nawet wielka przerwa, rozdzielająca oba pierścienie jasne. Jeżeli bowiem składają się z drobnych brył, obiegających planetę po drogach własnych, to drogi te ulegać muszą zakłóceniom pod wpływem księżyców Saturna, działanie zaś to najsilniej wywierać się musi na bryły, których czas obiegu pozostaje w stosunku jaknajprostszym do czasu obiegu któregośkolwiek z tych księżyców, a tak się właśnie dzieje w tej odległości, gdzie wielka przerwa pierścieni przypada. W okolicy tej przeto drogi satelitów drobnych najłatwiej ulegały przeinaczeniom, satelity nie mogły tu pozostawać trwale i wytracone stąd wreszcie zostały.

Co nas najbardziej w widoku pierścienia Saturna uderza, to jego postać niezwykła, wyjątkowa, w układzie słonecznym jedyna; jeżeli w nim jednak dostrzegamy rój nieprzejrzanego mnóstwa satelitów drobnych, wyłączność ich ginie, znajdujemy bowiem utwory tegoż samego rodzaju w rojach meteorytów, które po drogach wydłużonych krążą dokoła Słońca i zarzucają atmosferę naszą gwiazdami spadającymi, gdy Ziemia w rocznej swej wędrówce na swym torze je napotyka. Odrębność ogranicza się może tylko

do gęstości skupienia. Niemniej wybitną analogię nastęrczają i drobne planety, biegnące dokoła Słońca szerokim pasem pomiędzy Marsem a Jowiszem; potężne teleskopy ukazały nam ich dotąd pół tysiąca prawie, niewątpliwie jednak daleko liczniejsze są w tym pasie planety tak drobne, że dla najsilniejszych nawet przyrządów optycznych na zawsze utajone pozostaną.

Pierścienie planet, księżyców, meteorytów nie są to utwory przypadkowe, osobliwe igraszki przyrody, ale stanowią zapewne ogniwa prawidłowe w wielkiej budowie Wszechświata.

V.

Jak widzieliśmy dotąd, teoria budowy pierścieni Saturna z cząstek rozdzielonych w tem głównie poparcie swe miała, że obręcz jednolita, stała lub ciekła, nie mogłaby się w równowadze dokoła planety utrzymać. Do podobnegoż wszakże wniosku prowadzi wzgląd inny jeszcze, również z zasad Mechaniki wypływający: że w tak blizkiem sąsiedztwie planety, w jakim się pierścienie mieszczą, nie mógłby przetrwać w całości istotny, wielki jej księżyc. Aby to uzasadnić, odwołać się nam należy do przypływów i odpływów morskich.

Przypływy i odpływy, jak wiadomo powszechnie, dziełem są Księżycy przeważnie; Słońce ma w tym razie znaczenie podrzędne, z powodu bowiem znacznej swej odległości od Ziemi jednakie prawie przyciąganie na różne jej okolice wywiera, gdy natomiast poblizki Księżyc znacznie silniej pociąga zwrócone ku niemu wody oceanu, aniżeli wody w tejsze chwili po przeciwległej stronie Ziemi przypadające, a ta właśnie różnica fale przypływu i odpływu powoduje. Podobnież wszakże, jak Księżyc na Ziemię, oddziaływa też Ziemia na Księżyc, dla większej swej masy znacznie nawet silniej, a w czasach, gdy zakrzepły i zamarył teraz nasz towarzysz pokryty był wodą, albo raczej, gdy jeszcze ognisto płynną bryłę tworzył, na powierzchni jego podnosiły się potężne i burzliwe fale przypływu. Ponieważ zaś Księżyc w ten sposób dokoła swej osi wiruje, że ku Ziemi wiecznie jedną i tęs samą swą stroną zwraca, fala przypływu utrzymywała się na nim nieruchomo, utrwałała się i utworzyła wydłużenie, nadała równikowi jego postać eliptyczną. Objawy te nie naszego tylko tyczą się Księżycy, w ten sam sposób wirują niewątpliwie i księżyce inne, jeżeli dostatecznie są do planet swych zbliżone, podobnemuż tedy przeinaczeniu swej po-

staci ulegać muszą; w miarę zaś, jak księżyc coraz bliżej planety przypada, wydłużenie jego wzrasta w szybkim bardzo stosunku, aż wreszcie następuje kres, gdy księżyc ulega doszczętnie przemożnemu działaniu niweczącej go planety, zostaje rozerwany na strzępy i rozpada się na okruchy. Dopiero, gdy bryły są tak drobne, że raczej głazami, aniżeli satelitami nazwane być mogą, spójność ich oprzeć się może szarpiącym siłom planety.

Granica krytyczna, której księżyc pod grozą zagłady przekroczyć nie może, przypada w każdym razie bardzo blisko planety, według obliczeń Edwarda Roche, w oddaleniu zaledwie dwu lub trzech jej promieni od jej środka; drobne różnice zależą od stosunku, jaki zachodzi między gęstością planety i księżycą. Jeżeli są to bryły gęstości jednakiej, księżyc nie mógłby już krążyć bezpiecznie w obrębie koła, zatoczonego promieniem 2.44 razy większym od promienia planety; gdy księżyc ma gęstość mniejszą, koło to nieco się rozsuwa. Nasz Księżyc posiada gęstość słabszą, aniżeli Ziemia, w stosunku 5 : 8, a granica krytyczna rozciąga się dla niego w oddaleniu 2.86 promienia ziemskiego; gdyby więc przesunięty został na odległość 17 600 kilometrów od środka Ziemi, musiałyby się w gruzy rozsypać. Pozostaje wszakże w odległości bez mała 400 000 kilometrów, jest więc pod tym względem dobrze zabezpieczony.

W całym układzie słonecznym dwa tylko księżyce przebywają w takim obszarze niebezpieczeństwa, a mianowicie Fobos, drobnutki księżyc Marsa, i niedawno odkryty piąty czyli najbliższy księżyc Jowisza, odległości ich bowiem od środków planet nie dochodzą trzykrotnej długości promieni tych planet. Nie znamy wszakże ich gęstości, a tem samem obliczyć nie możemy dokładnie, gdzie kończy się możność ich istnienia. Jeżeli pokolenia przyszłe widzieć ich już nie będą, wniosą stąd, że księżyce te wtrącone zostały pod wpływem pewnych zawikłań w zakres koła fatalnego, gdzie kres bytu swego znalazły.

To wszakże stać się już mogło w układzie Saturna. Odległość skrajnego brzegu pierścienia przenosi zaledwie 2.2 razy długość promienia planety, pierścień więc przypada całkowicie w obrębie niebezpieczeństwa; jeżeli znajdował się tam księżyc, rozpaść się musiał na okruchy, z których się pierścień wytworzył. W każdym razie układ Saturna przedstawia w świecie słonecznym przykład jedyny, gdzie satelity krążą tak blisko planety, że materya istnieć tam może jedynie w stanie rozproszenia. I ta więc teoria,

jak widzimy, prowadzi do wniosku, że pierścienie składają się z odłamków, z części rozproszonych.

Badania swoje ogłosił Roche w r. 1848, na dziesięć lat zatem przed Maxwellem; nie zwróciły wszakże wtedy uwagi i przeszły niepostrzeżone. Później dopiero oceniono doniosłe ich dla Fizyki kosmicznej znaczenie.

VI.

Teorya każda, chociażby dobrze ugruntowana i dokładnie rozwinięta, zyskuje potwierdzenie wtedy dopiero, gdy wnioski z niej wysnute okazują się zgodne z dowodami widocznymi, z doświadczeniem i obserwacją.

Teorii pierścieni Saturna dowodów takich brakło, najpotężniejsze bowiem nawet teleskopy nie mogły jednolitego ich pasma na części składowe rozwiązać. Możemy wszakże żądania nasze w odmienny sposób sformułować. Gdybyśmy wykazać mogli, że każda część stałego na pozór pierścienia obiega drogę swą z prędkością różną, zależną od odległości, w jakiej od środka planety przypada, byłoby to świadectwo wyraźne, że pierścień składa się z cząstek oddzielnych, z brył rozproszonych, w całość spójną między sobą nie związanych. Pożądane to świadectwo posiadamy już obecnie; złożyć je zdołał spektroskop, czyli przyrząd służący do rozpatrywania widm ciał świecących, a któremu Astronomia tyle już wielkich usług zawdzięcza. Aby jednak rozumieć, w jaki sposób widmo ciała świecącego ruch jego ujawnić nam może, zboczyć musimy do analogii, jaka zachodzi między objawami światła i głosu.

Światło, podobnie jak głos, jest objawem drgania. Jak struna brząca pozostaje w ciągłym drganiu, które się nawet dostrzedz daje, tak też cząstki ciała świecącego ulegają żywemu niesłychanie ruchowi, dla nas wprawdzie niewidzialnemu, co się wszakże dostatecznie tem po prostu tłómaczy, że ani drobnych tych cząstek, ani odstępów między niemi nie widzimy. Dopóki drgania struny są bardzo powolne, nie sprawiają wrażenia głosu; przy 30 drganiach na sekundę słyszymy ton nader niski, który się podwyższa w miarę, jak szybkość drgań wzrasta; przy 4000 drgań następuje kres tonów używanych w muzyce, a przy 40 000 drgań na sekundę przestajemy je słyszeć. Jest to granica drgań głosowych, a wysokość tonu jedynie od szybkości ich zależy.

Podobnie zachowują się i ciała świecące. Cząstki wszystkich ciał pozostają w ruchu niewypowiedzianie żywym, wykonywając w ciągu sekundy całe tryliony drgań. Dopóki liczba ta nie przechodzi 200, 300, 400 trylionów drgań, ciało nie świeci, ruch ten objawia się wszakże wysyłaniem promieni ciepła; gdy szybkość wzrasta i dochodzi 430 trylionów drgań na sekundę, ciało zaczyna świecić barwą czerwoną, a w miarę, jak częstość drgań rośnie dalej jeszcze, do promieni czerwonych przybywają żółte, zielone, niebieskie, przy 800 trylionach fioletowe; tu następuje kres promieni widzialnych, a szybsze jeszcze drgania objawiają istnienie swe działaniami jedynie chemicznymi. Podobnież przeto, jak ton, tak też i barwa podwyższa się w miarę wzrostu szybkości drgań; wysokość, powiedziec można, jest barwą dźwięku, tak samo, jak barwę nazwać można wysokością światła, rozumiejąc tę wysokość w kierunku od czerwieni do fioletu.

Wyobraźmy sobie teraz, że struna brzmiąca nie pozostaje w spoczynku, ale ku nam się zbliża. Drgania jej następują w jednakich odstępach czasu, odległość wszakże między niemi zmniejsza się ustawicznie, dobiegają tedy częściej do ucha naszego, a stąd w ciągu sekundy uderza je większa liczba drgań i jakkolwiek struna wydaje ton statecznie jednaki, słyszymy ton coraz wyższy. Ton więc ciała brzmiącego podwyższa się, gdy ciało to ku nam się zbliża, a dla tej samej przyczyny ton ciała oddalającego się ulega znizeniu. Toż samo zjawisko zachodzi oczywiście i wtedy, gdy ciało to pozostaje w spoczynku, a słuchacz do niego się zbliża lub od niego oddala.

Na zasadę tę zwrócił po raz pierwszy uwagę Doppler, a dla potwierdzenia jej słuszności przeprowadzono szereg doświadczeń na kolei żelaznej między Utrechtem a Maarsen. Obserwator nieruchomo na drodze stojący słyszał ton trąby sygnałowej, umieszczonej na lokomotywie przebiegającego pociągu, albo też, przeciwnie, obserwator znajdował się na pociągu, podczas gdy trębacz obok toru drogi żelaznej ton jednostajny wygrywał. Pomimo szumu szybko biegnącej lokomotywy można było zauważyć podwyższanie się tonu, gdy odległość między słuchaczem a źródłem głosu malała; gdy natomiast odległość ta wzrastała, następowało znizenie tonu.

Szybkość głosu w zwykłej temperaturze czyni 340 metrów na sekundę; przyjmijmy, że pociąg przebiega w tym czasie 14 metrów, czyli posuwa się z szybkością, która stanowi $\frac{1}{24}$ części szyb-

kości głosu. Gdy przeto źródło dźwięku zbliża się ku słuchaczowi, wywołane przez nie drgania dobiegają do ucha o $\frac{1}{24}$ częściej, na każde 24 drgań przybywa jedno, a częstość drgań wzrasta w stosunku 24:25; przestanek czyli interwał taki nazywa muzyka półtonem małym, — ton zatem powyższa się tu o półton mały. Gdy znowu pociąg, unoszący źródło głosu, od słuchacza się oddala z tą samą szybkością, częstość drgań zmniejsza się w tymże samym stosunku, a ton zniża się o półton mały. W warunkach tych, gdy maszynista na lokomotywie słyszy ton *c*, dróżnik słyszy ton *cis* przy zbliżaniu się, ton *ces* przy oddalaniu się pociągu.

Gdy lokomotywa ze świstem obok nas przebiega, zauważyć możemy łatwo wyraźne obniżenie tonu w chwili, gdy zbliżający się pociąg oddalać się zaczyna. Spadek wysokości tonu jest znaczniejszy, jeżeli sami znajdujemy się na pociągu, gdy lokomotywa pociągu biegnącego w stronę przeciwną świst wydaje. Przy szybkości pociągów, jaką wyżej obraliśmy za przykład, przeskok wysokości wynosiłby ton cały.

Według tego, co powiedzieliśmy o analogii objawów światła i głosu, barwy i wysokości, wniesć możemy bezpośrednio, że zasada Dopplera da się słowo w słowo odnieść do ciał świecących. Gdy więc ciało świecące zbliża się ku nam z dostateczną szybkością, barwy jego podwyższają się, to jest przesuwają w stronę fioletu; gdy się od nas oddala, barwy zniżają się, to jest, przechodzą w stronę czerwieni.

W istocie rzeczy, bezpośrednia obserwacja barw nie zdołałaby nam zmian takich okazać; chociażby bowiem czerwień zamieniła się na barwę żółtą, to znów promienie ciemne, ciepikowe, szybciej oko uderzając, stałyby się widoczne, wywołałyby w oku naszym wrażenie czerwieni; podobnież na drugim końcu widma barwa fioletowa stałaby się niewidzialną, ale promienie błękitne spowodowałyby wrażenie fioletowych, — w ogólnej tedy barwie ciała nie ujawniłaby się żadna zgoła różnica. Ale tu w pomoc przychodzą nam linie ciemne, przerywające widmo barwne ciał niebieskich. Gdy gwiazda ku nam się zbliża, którakolwiek linia jej widma, jak w szczególności linia D, znajdująca się w barwie żółtej, z powodu zmiany odcienia tej barwy, wyda się nam przesuniętą w stronę fioletu; gdy gwiazda się oddala, linia ta znajdzie się przeniesiona w stronę czerwieni.

Jakkolwiek prostą w zasadzie jest ta metoda, w przeprowadzeniu przedstawia znaczne trudności już dla tego, że szybkość

własna gwiazd nader jest drobna w porównaniu z szybkością światła, podwyższanie się zatem barw, czyli raczej przesuwanie się linii ciemnych, jest bardzo nieznaczne i da się ocenić jedynie przy udziale spektroskopów potężnie rozszczepiających, dających widmo bardzo długie, i przy pomocy nader dokładnych przyrządów mierniczych, pozwalających oceniać drobne ułamki milimetra. Zdołano wszakże drogą tą rozpoznać i zmierzyć ruchy gwiazd, które inaczej pozostałyby zgoła niedostrzeżone.

Podobnie, jak inne ciała niebieskie, wiruje też Słońce dokoła swej osi, a gdy na tarczę jego spoglądamy, brzeg jeden od nas się usuwa, drugi ku nam wykręca; oba więc brzegi 'przedstawiają pewną różnicę w rozkładzie linii czarnych widma, a chociaż przesunięcie to niesłychanie jest drobne, dało się jednak wymierzyć.

Tę samą więc metodę zastosował do obserwacji pierścien Saturna Keeler, dyrektor słynnego obserwatorium Licka w Kalifornii. Pierścienie oświetlone są promieniami słonecznymi, a jeżeli różne ich części z niejednakową biegną prędkością, to w zabarwieniach ich, a raczej w ich widmach, zachodzić muszą drobne różnice; rzeczywiście też Keeler, rozpatrując promienie od różnych okolic pierścieni odbite, poznał, że linie czarne w widmach ich rozmaicie są przesunięte.

Dokładne nadto pomiary zmian zachodzących w położeniu linii wykazały, że każda część pierścienia porusza się z prędkością taką, jakaby jej przypadła, gdyby samodzielny była księżycem Saturna. Potwierdza to więc w sposób wyraźny, że pierścień składa się z części rozdzielonych, rozrzuconych, w łączną całość niezwiązanych.

Mógłby nas wszakże spotkać zarzut, że dowód ten nie świadczy jeszcze stanowczo o cząsteczkowej, meteorycznej budowie pierścienia, różne bowiem okolice jego tak samo okazywałyby prędkość różną, jeżeli się składa z szeregu pierścieni wązkich, z obręczy współśrodkowych, między sobą odosobnionych i wirujących oddzielnie. Aby i tę ostatnią tedy wątpliwość usunąć, użył Seeliger, dyrektor obserwatorium w Monachium, innej metody optycznej. Rozebrał teoretycznie objawy, jakie pod względem oświetlenia swego przez Słońce przedstawiałby pierścień z pyłu, z okruchów utworzony, a pomiary fotometryczne dały mu zgodność tak uderzającą faktów dostrzeżonych z wnioskami teorii, że widzi w tem świadectwo najpewniejsze składu pierścienia z części

XIV. PIERŚCIEŃ SATURNA.

rozproszonych. Kwestya więc pierścieni Saturna wydaje się obecnie zupełnie załatwioną.

Zbyt długo zatrzymaliśmy uwagę czytelnika nad drobnym urywkiem Mechaniki nieba, ale dało nam to sposobność przytoczenia kilku z tych metod nowych, które starą Astronomię świeżem tchnieniem ożywiły i dały jej dostęp do dziedzin, dawniej dla wzroku naszego niedostępnych.

XV.

O WAŻENIU CIAŁ NIEBIESKICH.

Powiedziano słusznie, że rozwój nauki cechuje się jej postępkami w sztuce mierzenia i ważenia. Zdanie to wydać się może nieuzasadnionem i paradoksalnem nawet, o ile nie odstępujemy od znaczenia, jakie wyrazom tym w życiu powszedniem nadajemy, jeżeli mamy na myśli przykładanie łokcia lub rzucanie ciężarów na wagę. Aby jednak słuszność zasady powyższej ocenić, dosyć przypomnieć sobie mierzenie i ważenie wielkości takich, które względnie do zwykłych naszych stosunków i do uzdolnienia zmysłów naszych przywykliśmy uważać za nieskończenie wielkie lub nieskończenie małe. Pomiar długości fal światła różnobarwnych lub oznaczanie ciężaru atomów i cząsteczek przedstawiają nam przykłady takiego rozpatrywania ilości niewypowiedzianie drobnych; z wielkościami przechodzącymi potęgę naszej wyobraźni ma przedewszystkiem do czynienia Astronomia, gdy stara się oznaczyć odległość światów dalekich lub ich ciężar ocenić. W obmyśleniu metod wiodących do tych celów najwybitniej ujawnia się potęgą myśli ludzkiej, w ich przeprowadzaniu—doskonałość środków, jakimi nauka rozporządza.

Dwa te zadania Astronomii, któreśmy tu przytoczyli, wydają się tak zuchwałe i dla ogółu zdala od spraw nauki stojącego tak do rozwiązania niemożliwe, że ludzie nawet do tak zwanych sfer wykształconych należący rezultatom tym nauki nie wierzą, a na mozoły w tym celu łożone z ironią spoglądają. Jak wszakże pojęcia te błędne są i nieuzasadnione, wskazały nam już rozważania o wymiarach świata¹⁾; tu rozpatrzmy metody, które dają nam możność ważenia ciał niebieskich, jakkolwiek wybitnie matematyczny charakter tych badań pozwala nam tylko w najogólniejszym je szkicu zarysować.

¹⁾ Patrz Szkic IV: O rozwoju sztuki mierzenia, str. 174.

Przedewszystkiem wszakże pewnego usprawiedliwienia, albo raczej wyjaśnienia wymaga tytuł na czele wypisany; co pojmo-
wać mamy przez wążenie ciał niebieskich.

Przez wążenie rozumiemy pospolicie dochodzenie ciężaru ciała, słuszniej wszakże powiedziećby należało, że oznaczamy ma-
sę ciała. Ciężar i masa stanowią dwa wyrazy, które w wielu razach
mają znaczenie pokrewne, można nawet często brać jeden za dru-
gi, jak to w życiu zwykłym pospolicie się dzieje, niemniej jednak
wyrażają one pojęcia odrębne.

Ciężar ciała nie jest jego własnością istotną, jest to raczej
objaw wpływów zewnętrznych na nie wywieranych, — a w szcze-
gólnych naszych ziemskich warunkach ciężar ciała jest następ-
stwem działania Ziemi, jest objawem siły, którą nazywamy siłą
przyciągania ziemskiego lub krócej siłą ciężkości. Kamień, który
na ręce naszej kładziemy, ciśnię ją, bo jest ku Ziemi pociągany;
cisnąłby ją bardziej, co znaczy, posiadałby ciężar większy, gdyby
Ziemia przyciągała silniej; posiadałby ciężar mniejszy, gdyby
przyciągała słabiej. Ciężar jednego i tegoż samego ciała zresztą
w różnych punktach kuli ziemskiej nie jest jednaki, siła bowiem
odśrodkowa, wywołwana przez obrót dzienny Ziemi, osłabia dzia-
łanie ciężkości; na biegunach, gdzie siła odśrodkowa nie występu-
je zgoła, ciężkość ujawnia najsilniej działanie swoje, traci zaś naj-
więcej na równiku, gdzie siła odśrodkowa dosięga wartości naj-
większej. Dlatego też ciało każde, przenoszone od bieguna ku rów-
nikowi, staje się coraz lżejszem. Stawałoby się również coraz lżej-
szem, gdybyśmy je unosić mogli coraz dalej od powierzchni Ziemi,
a w przestrzeni światowej, zdala od Ziemi i tak daleko od wszel-
kich innych ciał niebieskich, aby na nie wpływu wyraźnego wywie-
rać nie mogły, nie miałyby żadnego zgoła ciężaru, nie wywierałoby
już żadnego ciśnienia na rękę, aniby talerza wagi nie przechyliło.

Ciężar więc ciała jest wielkością zmienną, zależną od oko-
liczności, ale masa jego jest niezmienna; jest ona zawsze jednaka,
gdziekolwiek ciało się na Ziemi znajduje, lub gdziekolwiek prze-
niesionoby je w przestrzeń światową. Masa bowiem ciała jest to
ogół cząstek w ciele zawartych, jestto, jak powiedzieć można, ilość
jego materji. Jest to rzeczywiście fizyczne znaczenie tego pojęcia,
które Mechanika w matematyczny więcej sposób pojmuje. Pozna-
jemy więc różnicę, jaka zachodzi między pojęciem ciężaru i masy
ciała; jeżeli zaś pospolicie o rozróżnianiu tem zapominamy, to dla-
tego, że w jednym miejscu na Ziemi wielkości te są proporcjonal-

ne, — ciało, mająco dwa razy więcej masy, ma też i ciężar dwa razy większy. Przy ważeniu zaś, przy porównywaniu ciężarów za pomocą wagi, mamy właśnie zawsze ciała obok siebie umieszczone, na które Ziemia w jednakowy działa sposób; jeżeli więc jedno jest od drugiego dziesięć razy cięższe, mamy też i masę dziesięciokrotnie większą. Jest tu więc proporcjonalność tylko, a nie równość, i to proporcjonalność pod tym tylko warunkiem, że ciała rozważane w jednym się miejscu na Ziemi znajdują.

I rzeczywiście, za pomocą wagi, masy raczej ciał ze sobą porównujemy, aniżeli ich ciężary. Skoro zważymy dziesięć kilogramów cukru, wiemy, jaką ilość materji tej posiadamy i jaką mieć będziemy, gdziekolwiekbyśmy cukier ten przewieźli. Istotne też potrzeby zwykłego, praktycznego życia na uwadze mają masy ciał, a nie ich ciężary; kilogram zaś, który zwykle pojmujemy jako jednostkę ciężarów, jest w tem znaczeniu jednostką służącą do porównywania masy ciał, jest to masa czyli ilość materji, zawarta w jednym decymetrze sześciennym wody dystylowanej w temperaturze 4° C.

Zatrzymaliśmy się nad tym ustępem, by wskazać, co Astronomia rozumie przez ważenie brył niebieskich, — może tu oczywiście być mowa tylko o masie olbrzymich tych i dalekich ciał, a nie o ich ciężarze; możemy mówić, ile kilogramów ma Słońce, kilogram wszakże będzie tu jednostką tylko masy, nie zaś ciężaru.

Uwagi powyższe otwierają nam wszakże poniekąd i drogę do właściwego naszego zadania, — wszelkie bowiem metody do oznaczenia mas planet wiodące opierają się na zasadach ciężenia powszechnego.

Ciężar ciała, jak powiedzieliśmy wyżej, jest objawem siły ciężkości, albo innemi słowy przyciągania Ziemi. Gdy ciało na podporze spoczywa, wpływ przyciągania ujawnia się ciśnieniem, jakie ciało wywiera na utrzymującą je podstawę; ale gdy ciało to nie jest podparte, pod wpływem przyciągania spada, a szybkość tego spadku znów może być miarą powodującej go siły przyciągania. Skoro zaś Słońce większą niż Ziemia wywiera siłę przyciągania, w pobliżu jego powierzchni zatem znajdujące się ciało spadałoby prędzej niż na Ziemi. Według zasadniczego prawa Newtona przyciąganie przez ciało wywierane proporcjonalne jest do jego masy, stosunek zatem szybkości ciał spadających na Słońce i na Ziemię mógłby nam dawać zarazem i stosunek ich mas.

Z doświadczeń na Ziemi prowadzonych znamy dobrze szyb-

kość, z jaką ciała swobodnie puszczone na powierzchni jej spadają. Wiemy mianowicie już od czasów Galileusza, że jak pod wpływem każdej siły ciągłej, czyli działającej ustawicznie a nie chwilowo tylko, ciała biegną ku Ziemi ruchem przyspieszonym, coraz prędzej, a w szczególności, że prędkość ich co sekunda wzmagą się blisko o 10 metrów, albo dokładniej o 9,7807 m. Ta ostatnia liczba, czyli przyspieszenie nadawane przez przyciąganie Ziemi, jest zresztą słuszną o tyle tylko, o ile znajdowalibyśmy się pod równikiem i na powierzchni morza. W większych szerokościach geograficznych jest ona nieco większa i wzrasta zwolna, w miarę jak się do bieguna zbliżamy. Aby więc rachunek powyższy przeprowadzić, trzeba by nam tylko znać jeszcze podobne przyspieszenie, jakieby pod wpływem przyciągania Słońca osiągały ciała na powierzchni jego spadające. Niestety jednak, nie możemy się na Słońce przenieść i doświadczeń ze spadkiem ciał powtórzyć tam nie możemy, bezpośrednią zatem tą drogą nie zdołamy oznaczyć natężenia przyciągania słonecznego.

Jeżeli jednak nie widzimy ciał spadających na Słońce, to znamy wszakże ciała spadające ku Słońcu, — a ciałem takim jest przedewszystkiem Ziemia nasza. Gdyby nie ulegała przyciąganiu słonecznemu, wskutek bezwładności pobiegłaby po linii prostej i od dziennej naszej gwiazdy oddalałaby się wciąż do nieskończoności; pod wpływem jednak przyciągania Słońca odchyła się ona ku niemu wciąż od kierunku prostoliniowego tak, że toczy się dokoła niego po drodze statecznej. Ciało swobodnie puszczone spada na Ziemię po linii prostej, kula wystrzelona z armaty przebiega drogą skrzywioną i spadnie tem dalej, im z większą siłą była wyrzucona. Gdybyśmy mieli do rozporządzenia siłę dostatecznie wielką, moglibyśmy kulę wyrzucić tak, aby ruch jej nadany przewyciężył przyciąganie ziemskie, a kula odbiegłaby w przestrzeń i nie wróciłaby do nas; możnaby jednak dobrać siłę, któraby w takim do siły ciężkości pozostawała stosunku, że kula aniby od Ziemi odbiedz zupełnie, ani spaść na nią nie mogła, a kula taka, jakby nowy satelita ziemski, biegłaby już ustawicznie wokół Ziemi, wracając stale do punktu, z którego wyrzucona została. Bieg tej kuli, spadek jej ciągły ku Ziemi, mógłby nam oczywiście dawać miarę przyciągania ziemskiego, — a w takim właśnie stosunku zostaje względem Słońca Ziemia nasza, albo jakakolwiek inna zresztą planeta; w ten sposób znamy natężenie przyciągania słonecz-

nego zarówno dobrze, jak i siły ciężkości na Ziemi, a ze stosunku tych sił wyprowadzimy stosunek masy Słońca do masy Ziemi.

W rachunku tym uwzględnić wszakże należy jeszcze, że ciało spadające na Ziemię jest w bezpośrednim sąsiedztwie jej powierzchni, w odległości jednego jej promienia od środka, który jest jakby siedliskiem siły ciężkości, gdy Ziemia od Słońca w bardzo znacznym stosunkowo przypada oddaleniu. Natężenie zaś przyciągania zależy i od odległości, a mianowicie słabnie w stosunku kwadratów z odległości: ciała umieszczone 2, 3, 4 razy dalej przyciągają się z siłą 4, 9, 16 razy mniejszą. Wypływa stąd przeto, że obliczenie masy Słońca o tyle tylko może być dokładne, o ile dobrze znamy odległość Ziemi od Słońca. Pomimo najgorliwszych wszakże usiłowań co do tej ostatniej wielkości panuje jeszcze niejaka, nieznaczną zresztą, niepewność, a wskutek tego podobną niepewność tkwić musi i w oznaczeniach masy Słońca. Widzimy też z tego, jak dokładne wymierzenie odległości Słońca od Ziemi, czyli, innymi słowy, paralaksy Słońca, wiąże się z wielu innymi zadaniami, a to tłumaczy usilność, jaką astronomowie łożą na wyrugowanie z tej liczby owej niewielkiej niepewności, jaką dotąd jest jeszcze zakażona.

Nieco odmienna metoda oznaczenia masy Słońca, a raczej znowu stosunku jej do masy Ziemi, polegać będzie na odwołaniu się do biegu Księżyca naokoło Ziemi. Księżyc bowiem ulega przyciąganiu Ziemi, jak Ziemia przyciąganiu Słońca; chociaż na głowy nasze nie spada, niemniej jednak opada wciąż ku Ziemi: w rachunku przeto, którego zasady opowiedzieliśmy wyżej, zastąpić on może ciało spadające na powierzchnię Ziemi z nieznacznego od niej oddalenia. Ale znowu, co mówimy o naszej Ziemi i jej Księżycu, toż samo da się odnieść bezpośrednio do innych planet i do krążących wokoło nich satelitów, w ruchu bowiem każdego Księżyca wybija się wpływ przyciągania rządzącej nim planety, za znajomością zaś siły przyciągania danej planety idzie bezpośrednio znajomość jej masy w stosunku do masy Słońca lub Ziemi.

Metoda ta wprawdzie stosować się może do tych tylko planet, dokoła których krążą księżyce, ale zasada ciężenia powszechnego nie odstępuje nas i w tym razie, gdy planeta bez podwładnego sobie towarzysza po drodze swej krąży. Rachunki tylko w tym razie są o wiele mozolniejsze, a ich wyniki często mniej pewne. Wpływ bowiem przyciągania planety nie ogranicza się tylko do

ciał bezpośrednio na niej się mieszczących lub do ulegających jej satelitów; sięga on dalej w przestrzeń światową i ujawnia się w ruchu planet dalszych. Stądto w drogach planet zachodzą zakłócenia czyli perturbacje, każda planeta zbija się mniej lub więcej z prawidłowej swej drogi eliptycznej, jakaby sunęła statecznie, gdyby jedynie władzy Słońca posłuszną być miała. Zboczenia te są drobne wprawdzie, ale nie uchodzą bacznej uwadze astronomów; skoro zaś wielkość tych zboczeń z obserwacji jest znana, można z nich wywnioskować o wielkości powodujących je przyczyn. Przyczynami temi są wpływy planet sąsiednich, a gdy ich odległości są znane, wskazaną jest metoda obliczenia ich mas. Jest ona wszakże ciężkimi najeżona trudnościami, a zwłaszcza wtedy niezupełnie pewna, gdy masa planety zakłócającej jest małą w porównaniu z masą planety, której drogę zakłóca. Tak było z Marsem, gdy masę jego obliczano na podstawie perturbacji wywołanych przezeń w biegu Ziemi; gdy jednak w r. 1877 Hall odkrył dwa jego księżyce, istne drobiazgi układu słonecznego, masę tę obliczono o wiele łatwiej i dokładniej.

Jakkolwiek zresztą pobieżnie o rachunkach tych mówić tu możemy, dodać nam wypada, że w rzeczywistości podstawą ich jest trzecie prawo Keplera, które jest bezpośrednim wynikiem Newtonowej zasady ciężenia powszechnego, a według którego kwadraty z czasów pełnego obiegu planet dookoła Słońca są proporcjonalne do sześciątów z ich średnich odległości od Słońca; przyczem dodać należy, że tenże sam związek zachodzi też i w biegu księżyców około planet. Ale zasada ta, przez Keplera drogą obserwacji wyczytana, jest przybliżoną tylko, zachodzi tam bowiem jeszcze czynnik zależny od mas brył niebieskich, a który uszedł uwagi Keplera dlatego tylko, że masy planet w porównaniu z masą Słońca są bardzo drobne i w przybliżeniu czynnik ten schodzi do zera. W ściślejszej zaś swej formie trzecie prawo Keplera daje dogodną drogę do obliczania mas brył do układu słonecznego należących.

W porównaniu z masą Słońca masy wszystkich planet rzeczywiście są bardzo drobne; jeżeli bowiem masę Ziemi przyjmiemy za 1, to masa Słońca wyrazi się liczbą 324 439, czyli, innymi słowy, Słońce jest 324 439 razy cięższe; największa z planet, Jowisz, ma masę, przechodzącą 308,99 razy masę Ziemi. O ile Słońce góruje nad wszystkimi bryłami, od niego zależnymi, okazuje następne zestawienie masy Słońca i ośmiu wielkich planet, z któ-

SZKICE PRZYRODNICZE.

rego wypływa ciekawy rezultat, że każde z tych dziewięciu ciał jest cięższe od wszystkich razem, które są od niego mniejsze. W zestawieniu tem masa Słońca wyrażona jest przez liczbę tysiąca milionów, a masy planet przez odpowiadające im liczby stosunkowe.

Masa Merkurego	200
Masa Marsa	309
Masa Merkurego i Marsa.	509
Masa Wenusy	2 353
Masa Merkurego, Marsa i Wenusy	2 862
Masa Ziemi	3 060
Masa czterech planet	5 922
Masa Urana	44 250
Masa pięciu planet	50 172
Masa Neptuna	51 600
Masa sześciu planet	101 772
Masa Saturna	285 580
Masa siedmiu planet	387 352
Masa Jowisza	954 305
Masa wszystkich planet	1 341 657
Masa Słońca	1 000 000 000

Widzimy z tego, że masa wszystkich planet nie wynosi ani $\frac{1}{700}$ części masy Słońca, a Jowisz jest $2\frac{1}{2}$ raza cięższy od wszystkich innych planet. W każdym razie zestawienie to nie ma żadnego uzasadnienia teoretycznego i przypisywać mu można — jak dotąd przynajmniej — znaczenie przypadkowe tylko. Zresztą masy Neptuna, Urana i Wenusy nie są jeszcze znane z dostateczną pewnością, a jeżeli badania dalsze wykryją w nich pewne różnice, ugrupowanie powyższe okazać się może błędnem.

Liczby wyżej przytoczone są stosunkowe tylko, a metody, o których mówiliśmy, rzeczywiście pozwalają ocenić jedynie stosunki masy Słońca i brył planetarnych do masy Ziemi. Ale też badania astronomiczne nie potrzebują iść dalej, z badań bowiem ziemskich masę własnej naszej planety znamy dobrze. Odbiegliśmy zbyt daleko od właściwego naszego zadania, gdybyśmy tu opowiedzieć chcieli długą historję ważenia Ziemi; przytoczymy tylko tylko, że gęstość Ziemi względem wody wynosi około 5,56.

stem stanowiących. Za pomocą lunet dostrzegamy łuki, przez gwiazdy te przebiegane, ale aby stąd odległości ich istotne oznaczyć, trzeba znać oddalenie ich od Ziemi, czyli ich paralaksę roczną. Wiemy wszakże, że zdołano dotąd wyznaczyć paralaksę bardzo niewielu tylko gwiazd, między którymi kilka ledwie jest podwójnych. Do tych należy świetna gwiazda półkuli południowej α Centaura. Paralaksa jej wynosi $0,8''$, a wzajemna odległość składowych jej części $0,22''$; stąd wypada, że istotnie odległość ta wyrównywa 27 promieniom drogi ziemskiej, czyli 4030 milionom kilometrów, a że dalej czas ich pełnego obiegu wynosi lat 88, obliczono, że wspólna ich masa czyni $0,8$ masy słonecznej. Gwiazda p gwiazdozbioru Wężownika składa się również z dwu gwiazd, rozmieszczonych w odległości nieco większej, których masa przenosi blisko trzykrotnie masę naszego Słońca. Syryusz, najświetniejsza gwiazda naszego nieba, posiada jako towarzysza gwiazdę słabszą, już niewidzialną gołym okiem, a obrót obu tych brył dookoła wspólnego środka ciężkości wynosi lat 49; przez porównanie rozległości orbit opisanych przez obie te gwiazdy można było oznaczyć nawet położenie wspólnego ich środka ciężkości, a tem samem ogólną masę tego potężnego układu podzielić między obie części składowe. Z rachunku, przeprowadzonego przez Auwersa, okazuje się, że Syryusz jest od naszego Słońca cięższy 13,8 razy, a towarzysz jego 6,7 razy. Gwiazda η znanej konstelacji Kasyopei ma masę 8-krotnie większą od masy Słońca, z czego na masę gwiazdy naczelniej wypada $6\frac{1}{2}$, na jej towarzysza $1\frac{1}{2}$ mas słonecznych. W ostatnich czasach wreszcie zdołano też obliczyć masę słynnej gwiazdy podwójnej 61 Łabędzia, skoro poznano czas obiegu obu składowych jej części; wynosi on mianowicie 783 lata, na podstawie więc znanej paralaksy tej gwiazdy wnosi Peters, że masa jej czyni blisko połowę masy Słońca naszego.

Nie potrzebujemy dodawać zresztą, że liczb tych nie można uważać za zupełnie dokładne; chociaż wszakże z bezmiernej ilości gwiazd po przestrzeni światowej rozrzuconych zdołano ocenić z pewnem przybliżeniem masę kilku zaledwie, ale już i te nieliczne rezultaty przekonywają nas, że dalekie te bryły słoneczne posiadać mogą wymiary bardzo różne, że są już większe już mniejsze od naszego Słońca.

XVI.

CZŁOWIEK I PRZYRODA.

Zdarzało się w czasach dawnych, że górnik wrywał z głębi ziemi głązy dziwaczne, które z wiernością uderzającą formy różnych zwierząt odtwarzały. Osobliwe te bryły kamienne, w których jakby ręka mistrza obce im formy wyrzezała, zdumiewały ludzi ówczesnych, a uczeni widzieli w nich jedynie igraszki przyrody, *lusus naturae*. Dziś wiemy dobrze, że kamienie takie nie są to zgoła utwory przypadkowe, ale w naturalny zupełnie sposób wytworzone skamieniałości, odciski dawnych zwierząt, a geolog, zarówno jak biolog, ze starych tych dokumentów odczytuje zamierzchłe dzieje Ziemi i istot niegdyś na niej żyjących. Igraszkami przyrody skamieniałości dawno już dla nas być przestały, a jeżeli dziś jeszcze może co być igraszką przyrody nazwanem, to jedynie twór jej najwyższy: igraszką tą jest sam człowiek.

Zbiorowisko atomów, na nikłą chwilę z przyrody do świadomości i samowiedzy powołane, wyodrębnia się z tła jej ogólnego, stanowi jakby świat oddzielny; początkiem swym i końcem tkwiąc w przyrodzie, z niej źródło radości swych i swych bólów czerpiąc, koniecznym jej prawom ulegając, wrywa się z niej człowiek duchem; obcym, jakby cudzoziemcem się w niej czuje. Ilekroć jednak stargać chce węzły, z przyrodą go wiążące, płaci to zboczeniem umysłu i cierpieniem dotkliwym, jest ona bowiem mistrzynią naszą, zarówno jak i pocieszycielką.

Mistrzynią jest naszą przyroda, ona bowiem stanowi pierwsze źródło, z którego zasób swych pojęć czerpiemy. Jakby przemocą narzuca się ona uwadze ludzkiej już od lat najwcześniejszych, budzi pierwsze zaciekawienie dziecka; każdy twór natury, każde jej zjawisko jest zagadką, której rozwiązanie umysł dziecka posiadać pragnie. Naiwne pytania dziecka, zaciekawionego objawem

przyrody, przypominają pierwsze rozbudzenie się myśli badawczej człowieka w pierwotnych czasach rozwoju cywilizacji; na pierwszych bowiem kartach dziejów napotykamy znajomość gwiazd u narodów koczujących, zapoznanie się z kolejami życia roślinnego u narodów rolniczych: są to pierwsze przebłyski życia umysłowego. Dociekaniom naszym przyroda bezpośrednio materiał nastęrcza i bezpośredniością tą tak nad umysłem naszym panuje, że potrzeba dosyć już silnego rozbudzenia abstrakcyi, by umysł zająć się mógł pytaniami, po za granice właściwej przyrody sięgającymi.

Nie z tego wszakże tylko względu podstawą wszelkiej wiedzy naszej jest wiedza przyrodnicza; jej bowiem zawdzięczamy wskazanie należytej drogi badań naukowych, wykrycie i wyrobienie metody doświadczalnej, która z zebranych dostrzeżeń i doświadczeń ucząc wysnuwać wnioski pewne, umysł od zboczeń chroni. Metodzie to swojej zawdzięczają nauki przyrodnicze i blask swój zewnętrzny, polegający na zastosowaniach praktycznych, które normują sposób życia dzisiejszego pokolenia, i rozkwit swój teoretyczny, którym tak wygórowały nad inne gałęzie wiedzy, że im za wzór służą. Nad całym ruchem umysłowym czasów naszych górują nauki przyrodnicze, wybijają na nim swe piętno właściwe, wiążą się z życiem praktycznym, prowadzą za sobą rozwój przemysłu, wzmagają dobrobyt powszechny.

Bezbronny i nagi stał człowiek wobec przyrody, wobec jej tworów i sił każdej chwili na zagładę skazany; skoro ją rozumieć i badać począł, z niej samej wydobył środki, któremi przeciwników swych pokonał:

„Zjadł wołu, siadł na konia, lwa się skórą odział“.

Ale dopiero najnowszy rozkwit wiedzy przyrodniczej pozwolił nam odnieść tryumfalne nad przyrodą zwycięstwa. Człowiek przekopuje dziś góry i znosi międzymorza, znagła ciepło do ciągnięcia swych wozów i poruszania swych machin, a promienie światła do zdejmowania obrazów. Pokonał nawet tę siłę tajemną, której zmysłami swemi zgoła odczuwać nie może i która go piorunem raziła; nagiął ją do usług swoich: znosi mu ona w okamgnieniu wieści z najodleglejszych krańców ziemi, głos jego przeprowadza daleko, potęgę odległych wodospadów do rozporządzenia jego oddaje, noce mu blaskiem dziennym rozjaśnia. Materiały, składające skorupę ziemską, rozłożył na pierwiastki i zbudował z nich nowe związki, nieistniejące w przyrodzie, które się stały podstawą

rozgałęzionego przemysłu lub zbawiennych dostarczyły mu leków; z czarnej smoły węgla kamiennego wydobył przepyszne barwniki setnych odcieni. Z cierpkich płodów roślin wytworzył owoce słodkie i soczyste, według swoich potrzeb nowe rasy zwierząt wyhodował. Formy życia nowoczesnego ukształtowały się w pełni na podstawie tych zdobyczy i zastosowań wiedzy przyrodniczej.

Uwielbienie to wszakże nie jest powszechnem ani bezwzględem; słyszymy bowiem często, że znaczna część złego, które nas trapi, właśnie z tego rozrostu wiedzy przyrodniczej wypływa. Pokolenie nasze, mówią, jest zmateryalizowane, brudny egoizm zagościł w sercach, pogoń za zyskiem przygłusza wszelkie porywy szlachetne, w poniewierkę poszło, co niegdyś wielkiem było i wzniosłem; nauki przyrodnicze wyгнаły ducha, ubóstwiły materię i siłę, wymyśliły walkę o byt, człowieka od małpy wyprowadziły. Stąd to wygasła cześć ideału, siła stanęła przed prawem.

Chociaż skargi takie występują dziś wyraźniej, błędniebyśmy jednak sądzili, że odzywają się one po raz pierwszy. Wraz z biegiem czasu i rozwojem dziejowym zmienił się stosunek człowieka do przyrody. W pierwotnym bytu swego okresie tak mało wyróżniał się on od powszechnego życia natury, że badania, odnoszące się do dziejów tych czasów zamierzchłych, przedmiot raczej wiedzy przyrodniczej aniżeli historycznej stanowią, a nieraz jest rzeczą wątpliwą, czy pochodzące z owych czasów zabytki archeologiczne za dzieło przyrody, czy za utwór rąk ludzkich poczytywać należy. Wtedy wprawdzie człowiek niewiele jeszcze wbił się ponad świat zwierzęcy, ale jedność swą z przyrodą zdołał utrzymać i później, na łonie wysokiej nawet kultury, czego najwspanialszy przykład daje nam Grecya. Dla greka Duch i Natura, Niebo i Ziemia w jedną się wspólność zbiegały, w religii swej zespolił człowieka z przyrodą. Niebo i Ziemię, łąki i lasy, rzeki i morza bóstwami zapełnił, ale wszyscy ci bogowie i boginie, dzieląc z ludźmi ich postać, nie różnili się od nich czynami swemi i namiętnościami, byli to tylko — jak mówi Arystoteles — ludzie nieśmiertelni.

W wiekach średnich przyroda ulega potępieniu i pogardzie, jest symbolem szatana, człowiek widzi w niej zaprzeczenie i zagładę ducha, który dąży do oswobodzenia się z jej więzów, pragnie ją unicestwić, obrzuca ją klątwą; przestaje w przyrodzie dostrzegać prawdę, świat materyalny niegodzien jest nawet badania.

Przez epokę odrodzenia rozumie się zwrot do zapomnianej literatury klasycznej greków i rzymian; pozorne to jednak pragnienie wiedzy w rzeczywistości było pragnieniem życia, a oswojeniem przyrody od ucisku, w jakim zostawała, i ujawniło się w rozbudzeniu i przekształceniu życia na wszelkich polach działalności ludzkiej. Znacznie wszakże później dopiero wystąpił pisarz, który z całą potęgą namiętności wyraził protest zdeptanej i uciśnionej przyrody przeciw kulturze, która ją przytłumia. Dla szczęścia rodu ludzkiego wyrzeka się nawet Jan Jakób Rousseau wszelkiego wlotu ducha: „Jeżeli natura — mówi on — przeznaczyła nas do zachowania zdrowia, ośmielam się nieledwie twierdzić, że myślenie jest sprzecznem z naturą, a człowiek, który rozważa, jest zwierzęciem wyrodzonym“. Ale choćby nam powrót do stanu natury zapewniał szczęście istotne, za radą tą isćhyśmy już nie mogli; jak bowiem człowiek po raz drugi narodzić się nie może, by w noworozpoczętem życiu z doświadczeń minionego korzystać, tak też i ród ludzki do pierwotnego bytu swego cofnąć się nie może; spokój zaś, okupiony ofiarą wszelkich zdobyczy umysłowych, nie przyniósłby nam nawet upragnionego szczęścia, nie umielibyśmy go bowiem oceniać. Niemniej pisma Rousseau'a wywarły na ogół wpływ potężny, wzbudziły bowiem świadomość i poczucie tego bolesnego wyodrębnienia się od przyrody, które sprowadziła ze sobą kultura nowoczesna. Opanował już człowiek przyrodę, zużytkował ją do swych potrzeb, badał ją i pojmował, ale Rousseau dopiero wykazał potrzebę pozyskania jej dla uczucia naszego.

Zdarza się, że dziecię skromnej lepianki, syn chaty wiejskiej, dzięki zdolnościom swoim i pomyślnemu zbiegowi okoliczności, wyrasta na pana wielkiego, staje się ministrem, biskupem; ale nieraz, wśród wspaniałości i wrzawy nowego swego otoczenia, szczęścia nie znajduje; ludzie, co go otaczają, nie odczuwają tajnych serca jego porywów, nie może z nimi uczuć swych dzielić, z myśli swoich wypowiedać się przed nimi nie potrafi, czuje się obcym i osamotnionym. Wtedy budzi się w nim tęsknota za ciszą i skromnym bytem dzieciństwa: tam szczerze i serdecznie powitają go dawni towarzysze, tam matka, choć kobieta prosta, ukoji boleści jego. W tęsknocie tej mieści się przeciwwaga dla dążeń jego ambicyj, narzuca mu ona oględność w doborze środków, które mają go do celu dowieść, staje się źródłem uczuć szlachetnych.

Podobnież i człowiek wznosił się nad przyrodę, która koleb-

ką jego była, wyodrębnił się i wygórował nad nią; ale również wśród blasku cywilizacji szczęście, za którym goni, połyska mu ledwie jak ognik migotliwy. Człowiek każdy stanowi dla siebie drobny świat odrębny i odrębność tę czuje wśród otaczających go takich samych drobnych światów, takich samych mikrokosmów. Odrębność ta gnębi go, aby ją przytłumić, goni za towarzystwem; napróżno wszakże; samotnym czuje się nawet wśród tłumu, a gdy go szuka, by samotność tę przygłuszyć, napróżno się ludzi.

Wyrywamy się wtedy ku przyrodzie, która kolebką naszą była; ulegamy tęsknocie, która nas ku niej pociąga. Przyroda przedstawia nam jakby minione dzieciństwo nasze, które jest dla nas najdroższem zawsze wspomnieniem; wielbimy w niej spokój, prawidłowość jej objawów, konieczność, z jaką stałym prawom ulega. My posiadamy świadomość, samowiedzę, która jest najistotniejszą cechą wyodrębnienia naszego z ogólnego tła przyrody i którą uważamy za skarb nasz najdroższy, ale która jest zarazem źródłem jedynem niepokojów, co serce nasze szarpia, i burz, co pod czaszką naszą huczą; przyroda działa bezwiednie, a nieświadomość ta właśnie tworzy ów majestatyczny jej spokój, któremu nie uwłaczają bynajmniej przewroty i kataklizmy w niej zachodzące. Nieświadomość ta jest źródłem szczęścia, którego my próżno w sobie szukamy i którego słaby obraz znajdujemy jedynie w wspomnieniu, a zatem w zaparciu swej świadomości. Człowiekowi tylko śmierć grozną się wydaje, bo wraz z nią traci się świadomość jego, ginie świat odrębny myśli jego i uczuć; w przyrodzie śmierć i zagłada jest tylko przemianą, która otwiera wrota nowego życia i nowego bytu.

Też same warunki, które nas ku przyrodzie pociągają, czynią dla nas ponętnym i wiek dziecięcy. Dzieci bowiem z nierozwiniętą samowiedzą nie odbiegają od przyrody; nieświadome, jak ona, są jakby jej częścią, są jeszcze przyrodą samą. Dlatego to nie stanowią one jeszcze mikrokosmów, światów między sobą odrębnych; łączna zabawa dzieci wiąże je rzeczywiście w jedną wspólność, żyją jeszcze tem życiem łącznem, jakie przyroda cała ujawnia; dziecko nie doznaje jeszcze tego osamotnienia, które się z wiekiem dopiero rozwija, w miarę, jak wzrasta w nas poczucie samowiedzy i odrębności w przyrodzie. W dzieciach, jak w naturze, nęci nas i zachwyca ich nieświadomość.

Jest to bezwiedny poryw naszego ducha, a nie zdając sobie z niego należytej sprawy, ulegamy złudzeniu, że nas w przyrodzie

piękno jej tylko pociąga. Szukamy widoków wspaniałych, gonimy za objawami niezwykłymi, pojmujemy zamięłowanie przyrody jakby rodzaj upodobania artystycznego, oglądamy dzieła natury jak obrazy mistrzów, przebiegamy okolice, sławione przez turystów, jak muzea i galerie wielkich stolic. Nie w nadzwyczajnych wszakże utworach przyrody, ale w jej objawach powszednich tkwi węzeł nas z nią łączący, a kto w łączności tej zadowolenia i ukonienienia znaleźć nie potrafi w najbliższem swem otoczeniu, próżno gonić będzie po szerokim świecie.

Zamięłowanie bowiem przyrody ze źródeł tryska głębszych; bezwiedne i instynktowe, jak miłość dziecka do matki, równie jest silne i potężne. W każdym przecież klimacie łąnie człowiek do swej przyrody ojczystej, pod każdą szerokością geograficzną czuje się z nią złączony węzłami pokrewieństwa, nietylko tam, gdzie cytryna dojrzewa. Gdyby w zamięłowaniu przyrody szło jedynie o artystyczne poczucie piękna, mogłoby się ono ujawniać zapewne u narodów i plemion, przebywających w stronach, gdzie przyroda hojną dłonią dary swe rozsypała, gdzie ziemia w malownicze rozłamała się wzniesienia, gdzie życie bujnie rozkwita. Ale przecież niemniej silnie zrasta się z otaczającą go przyrodą i mieszkaniem krain smutnych, ubogich, jałowych, monottonnych i nieożywionych.

Temu prostemu umiłowaniu przyrody ojczystej nie uwłacza bynajmniej poczucie piękna w przyrodzie, ale gdy nas nęca i pociągają wspaniałe jej widoki, budzą w nas wrażenia odrębne zgoła, aniżeli utwory sztuki. Widzimy przecież nieraz, że człowiek, który z zachwytem rozpatruje dzieła pędzla i dłuta, pozostaje zimnym i nieczułym wśród najwspanialszej przyrody, a niejeden miłośnik muzyki drwić gotów z tych, co rozkosz w nieuczonym śpiewie ptaków znajdują. Dziedzina bowiem sztuki jest wyłączną własnością człowieka, artyzm nie jest udziałem przyrody. Natura wywołuje ryk burzy, szmer strumyka albo szum wiatru, nadaje skałom kształty osobliwe i odziewa się w barwy przepyszne, ale nie tworzy pieśni, nie rzeźbi posągów, ani nie maluje obrazów: utwory sztuki są jedynie objawem ducha ludzkiego. Starożytne i średnie już wieki wydały wielkich mistrzów, ale piękno w przyrodzie odczuwać zaczął prawdziwie dopiero człowiek nowożytny. Okazuje to jasno zwłaszcza zamięłowanie gór, które dopiero w bieżącym rozwinęło się stuleciu. Wodzowie i dygnitarze rzymscy, a w ich orszaku poeci i pisarze, przedzierali się często przez Alpy

do krajów zdobytych, umieli wszakże wyrzekać tylko na uciążliwe i odstraszaające drogi, obcy zgoła i obojętni wobec wspaniałości tych szczytów fantastycznych i dzikich przepaści, ku którym dziwiejszy miłośnik przyrody wyrwa się z utęsknieniem, ledwie wiosna rozproszy zimowy całun ziemi. W zesłem nawet jeszcze stuleciu góry stanowiły świat zgoła nieznaną, którego odkrycie na nasze dopiero przypadło czaszy. Sto lat ledwie upłynęło, odkąd pierwszy Saussure wdarł się na szczyt najwyższej góry europejskiej, a jak niegdyś w ślad za Kolumbem podążyły tłumy po bogactwa dalekiego lądu zamorskiego, tak teraz rzucono się w świat ten, dotąd nieznaną, którego cicha samotność i dzika wspaniałość porywała umysły wrażliwe i dusze zwątpieniem szarpane wśród zawilosci życia nowoczesnego. Nie jako widz zaciekawiony stanął człowiek wobec przyrody, ale powiązał się z nią uczuciem serdecznem, wyciągnął ku niej ramiona błagalne, jakby z prośbą, by go przyjęła i wybaczyła, że tak długo w szczęściu o niej zapomniał. Jakby kochankę utęsknioną i uwielbioną chwyciono ją w ramiona, znaleziono w niej oddźwięk własnych uczuć i myśli, a całą głębię tego nowożytnego stosunku człowieka do przyrody najsilniej i najdobitniej wypowiedział wielki poeta:

„Jako w objęciu tam namiętnem
 Snycerz płonąca wtulił skroń
 W posągu swym, aż głośnem tętnem
 Lodowy marmur odgrzmiał doń;
 Z takim uczuciem Pigmaliona,
 Piastując w łonie wieszczu szął,
 Objąłem ongi świat¹⁾ w ramiona,
 Aż tchnął i z martwych do mnie wstał.

I dzieląc, dzieląc pełnię życia,
 Niemowa on zaszeptał w słuch,
 Zrozumiał serca mego bicie,
 Odcałowywał jako druh.
 I pieśń powstała w niebogłosy!
 Drzewo tam, kwiecie, strumień z gór,
 Bezdusznych nawet głązów stosy
 Odwtórowały rażno w chór“.

(„*Idealy*“ Schillera, przekł. Bohł. Zaleskiego).

¹⁾ W oryginale:

„So schlang ich mich mit Liebesarmen
 Um die *Natur* mit Jugendlust“.

Tak potężne uczucie budzi przyroda w duszy poety. Zapewne, człowiek ze swemi dążeniami i ze swemi zawodami, człowiek w swej wielkości i w swym upadku pozostanie zawsze głównym przedmiotem poezyi, źródło jej wszakże z przyrody tryska. Czyż zdoła ująć zawile drgania ducha ludzkiego, czyż zdoła poruszyć serca nasze, kto wobec uroku przyrody zimnym i obojętnym pozostaje? Czyż zdoła przejąć się gorącym współczuciem dla losów człowieka i ludzkości całej, kto miłością przyrody wszystkiej nie otacza? Dlatego też tętno umiłowania natury bije głośno u wszystkich wielkich poetów nowoczesnych; wielkie utwory poetyczne są jakby utkane na tle przyrody, — człowiek i przyroda zlewają się w pieśni w całość harmonijną. Tą gorącą miłością i serdecznym odczuciem przyrody wyróżniają się istotne dzieła poetyczne od kutech na zimno i wymuszonych utworów literackich, ujętych w formę nowel lub wierszyków, które szarpiają nerwy nasze napróżno i niepotrzebnie, miasto współczucia niesmak tylko budząc; jątrzą tylko rany nasze, ale ich nie koją, ukojenie bowiem, które nam przyroda przynosi, gorące tylko uczucie poety przejąć z niej i w słowa przelać potrafi.

W stosunku poety do przyrody wybija się indywidualność jego; przypomnieć tylko trzeba, jak rozmaicie w obrazach przyrody występuje potęga lub rzewność uczucia u różnych poetów, jak odmiennemi stroją ją barwy i w jak odrębny sposób wrażenia swe wypowiadają, by przyznać, że krytyk, który stosunku tego na pierwszym nie ma względzie, nie zdoła uchwycić pełnej charakterystyki poety.

Jak każdy prąd, który potężnie umysły ludzkie potraça, tak też i nowoczesne zamiłowanie przyrody nie ostało się bez przesady. Pogarda dla kultury i zapal dla przyrody, jakie głosił Rousseau, znalazły silny oddźwięk wśród społeczeństwa, gnębnego zwątpieniem i niepewnością szarpanego; a gdy nowe te hasła z jednej strony jątrzyły i podniecały umysły przeciw ówczesnym stosunkom społecznym, wyrodziły z drugiej strony chorobliwą czułość, czego jaskrawy obraz skreślił Goethe w „Cierpieniach młodego Werthera“, który w poczuciu swem przyrody, jakby w uścisku ukochanej, znajduje rozkoszne drzenie, omdlewa w niem i ginie. Stulecie jednak z górą oddziela nas od chwili, gdy ta nowa ewangelia porywała umysły: rozgorączkowane podniecenie pierwszego wrażenia uspokoiło się i ułożyło do równowagi. A jak bohater „Nowej Heloizy“ odnajdywał spokój i zadowolenie

w ciszy i samotności przyrody, tak i dziś pociąga ona ku sobie wszystkich, których nęka drobiazgowość i kłopotliwość istnienia ludzkiego, co szukają wytchnienia po troskach i mokołach życia powszedniego, stateczność bowiem swoją przeciwstawia ona zmiennym wrażeniom, jakie nam chwila przynosi.

— Słuchaj — wołam do znajomego, którego na drodze spotykam — tłum najemnych zbirów napadł senatora, wracającego z posiedzenia i sztyletami go zakłuł.

— Gdzie, kiedy? — pyta przerażony, zaciekawiony.

— W Rzymie, za Nerona.

I oto pryska zupełnie zajęcie, jakie wiadomość ta budziła; cóż nas obchodzi wypadek tak dawny i tak daleki!

Powiastką podobną charakteryzuje dobrze Hieronim Lorm życie nasze, wrażeniami chwili miotane, wśród pozornej rozmaitości jednostajne, w sprzeczności ze wspaniałym spokojem i urozmaiconem w swej jednostajności życiem przyrody. Pod jej technieniem spokojnem i bezwiednem cichną wzburzone fale podniecających wrażeń naszych i do równowagi ustalają. Nietylko więc po zdrowie ciała, ale i po zdrowie umysłu na łono przyrody biegniemy: jest ona higieną dla duszy naszej.

Przyzywa też ku sobie dusze tęsknotą przejęte i serca zranione, bolesną ich świadomość najestatyczną i obojętną swą bezwiednością otacza i do snu utula, cierpienia ich łagodzi i uspokaja. Jest higieną i dyetetyką duszy zarazem.

W ten sposób rozważyliśmy stosunek człowieka do przyrody, by wykazać, że jest ona mistrzynią zarówno umysłu, jak i serca naszego. Z niej tryska źródło nietylko wiedzy, ale i uczuć naszych, z niej czerpie człowiek swych myśli przędzę i swych uczuć kwiaty. Do chwilowej powołany świadomości, wszelkiemi jednak węzły tkwi w przyrodzie i zerwać ich nie może; ona go darzy nietylko środkami utrzymania bytu materialnego, ale jest i podstawą życia duchowego, umysłowego zarówno jak uczuciowego. Daje podstawy wiedzy rzetelnej i uczucia budzi szlachetne.

Pogląd ten usuwa kłatwę, rzucaną przyrodzie i wiedzy przyrodniczej, że są źródłem pojęć materialistycznych, że znoszą cześć ideału i wiodą do egoizmu. Nie dowodziłem tu, rozważałem tylko. Poza obszarem bowiem dociekań, który można rachunkiem ująć, albo doświadczeniem przekonywajacem przed oczy sprowadzić, nie istnieją dowody, są tylko poglądy.

Jeżeli z przyrody jad zatruwający płynie, ona też i balsamu

uzdrawiającego dostarcza. Jak więc do jej rozumienia, tak też i do jej poczucia wychowywać należy, wychowanie bowiem i do mądrości i do cnoty prowadzić winno.

Przez ciąg stuleci snują się dwie zasady, które nam starożytność przekazała: „Znaj siebie samego“ — głosi filozof zachodni; „kochaj bliźniego“ — brzmi nakaz od Wschodu. Wypowiadając swą zasadę o znajomości samego siebie, zalecał oczywiście filozof starożytny jedynie tylko rozejrzenie się we własnych zaletach i przywarach, nie przewidywał on jednak zapewne, jak rozległy zakres wiedzy w poleceniu jego się mieści; znajomość bowiem człowieka rozwinąć się może jedynie na podstawie doskonałej znajomości praw przyrody, której on jest tworem najwyższym i najbardziej zawilym, a badanie jego władz duchowych jest ledwie poczynającą się gałęzią wiedzy przyrodniczej. Ale i miłość bliźniego jest uczuciem złożonem, którego nakazać nie można, które trzeba kształcić i rozwijać, jak w pojedynczym człowieku, tak i przez ciąg pokoleń; a ku celowi temu znowu prowadzi przyroda, budząc w nas bez przymusu współczucie ku sobie i rozwijając je w uczucia szlachetne.

Przez rozumienie przyrody wnosimy się do znajomości człowieka, a przez ukochanie przyrody — do jego miłości.

SPIS RZECZY TOMU I.

	<i>Str.</i>
Słowo wstępne przez S. Dicksteina	I
Szkice przyrodnicze z dziedziny Fizyki, Geofizyki i Astronomii.	
Przedmowa	1 — 4
I. Czas.	5 — 62
II. Zagadka wnętrza Ziemi	63— 95
III. Historia gazów i ich znaczenie w nauce dzisiejszej.	96—129
IV. Przed sklepem mechanika. Uwagi luźne o znaczeniu przy- rzędów w nauce	130—148
V. Stulecie metra	149—167
VI. O rozwoju sztuki mierzenia	168—200
VII. Historia wynalezienia i udoskonalenia termometru.	201—217
VIII. Na kresach ciepła i zimna	218—247
IX. Okres lodowy w dziejach Ziemi	248—270
X. Stulecie galwanizmu	271—304
XI. Atom elektryczny	305—323
XII. Ciała promieniotwórcze i rozpad atomów	324—341
XIII. Bez węgla	342—359
XIV. Pierścień Saturna	360—377
XV. O ważeniu ciał niebieskich	378—386
XVI. Człowiek i przyroda.	387—396