

O pewnem zjawisku, podobnem do dyspersyi optycznej.

III. Studium z teoryi trzęsień ziemi.

przez

M. P. Rudzkiego.

Wniesiono na posiedzeniu z dnia 4 kwietnia 1898 r.; ref. czł. Natanson.

W ostatniem (II-em) studyum pokazaliśmy, że fale sprężyste, rozchodzące się w jednorodnym ale nieizotropowym ośrodku mogą tylko w pewnych wyjątkowych przypadkach składać się z drgań wyłącznie podłużnych lub poprzecznych, zazwyczaj zaś składają się z drgań o charakterze mieszanym, t. j. jednocześnie podłużnych i poprzecznych. Jednocześnie pokazaliśmy, że w podobnych ośrodkach kształt powierzchni falowej jest bardzo skomplikowany, że fala sprężysta rozpada się na kilka oddzielnych fal, rozchodzących się z różnemi prędkościami, przyczem, ponieważ fale zazwyczaj nie są kuliste, przeto prędkości rozchodzenia się drgań są nie tylko różne w różnych falach, ale też niejednakowe w różnych kierunkach. Nareszcie wskazaliśmy, że ilość oddzielnych fal, przechodzących przez pewien dany punkt ośrodka, nie jest dla wszystkich punktów jednakowa, że do pewnego stopnia zależy od położenia punktu względem ogniska wstrząśnień, albowiem niektóre oddzielne fale mają taki kształt, iż mogą zupełnie ominąć niektóre punkty, niektóre okolice ośrodka.

W obecnem III-em studyum zajmujemy się pewnem zjawiskiem, podobnem do optycznej dyspersyi. Nowsze spostrzeżenia nad trzęsie-

niami ziemi dowodzą, że zazwyczaj wstrząśnienia trwają tem dłużej, im stacya, na której je spostrzegamy, jest bardziej oddalona od ogniska trzęsienia ziemi. Co więcej, przekonano się, że bardzo często, prawdopodobnie zawsze, szybkie drgania wyprzedzają powolne. Szybkie drgania przychodzą do odległych stacyj z pozorną prędkością, która często przenosi 10 i 12 kilom. na sek., podczas gdy powolne drgania przychodzą z pozorną prędkością, wynoszącą zazwyczaj około 3 kilom. na sek. Pierwsze, t. j. szybkie drgania są zazwyczaj bardzo słabe, drugie, t. j. powolne są o wiele silniejsze: „główna faza“ wstrząśnienia, t. j. faza, w czasie której narzędzia obserwacyjne są w najsilniejszym ruchu, następuje zwykle wtedy, gdy nadejdą owe powolne oscylacje.

Przytoczone spostrzeżenia w każdym razie dowodzą, że między rzeczywistą prędkością rozchodzenia się drgań i ich okresem musi istnieć pewien przyczynowy związek.

Podobny przebieg zjawiska, jak w czasie rzeczywistych trzęsień ziemi, daje się zauważyć w sztucznych trzęsieniach ziemi, sprawionych przez wybuchy naboju prochu lub dynamitu, przez uderzenia wielkich młotów fabrycznych etc.

W doświadczeniach Abbota, Milne'a¹⁾, Bertelli'ego²⁾, Fouqué'go i Lévy³⁾ najpierw spostrzegano słabe delikatne drganie, poczem dopiero następowało jedno lub więcej silnych wstrząśnień. Niestety przy tych sztucznych trzęsieniach ziemi czas trwania całego zjawiska jest tak krótki, że nie można spostrzedz, czy owe pierwsze słabe drgania różnią się co do okresu od następnych silniejszych drgań.

Ponieważ optyczna dyspersya polega na tem, iż prędkość rozchodzenia się drgań jest funkcją ich okresu — przeto nazwiemy analogiczne zjawiska, spostrzegane przy rozchodzeniu się trzęsień ziemi — dyspersją seismiczną lub jeśli kto woli, sprężystą.

Wiadomo, że w próżni światło rozchodzi się zawsze z tą samą prędkością, niezależnie od barwy, ale w ciałach, złożonych z materji ważkiej, prędkość światła zależy od jego barwy, t. j. od okresu drgań. Dyspersya polega właśnie na tej niejednostajności w rozchodzeniu się światła różnych barw. Mówimy, że dyspersya jest normalna, skoro prędkość światła wzrasta wraz z okresem drgań. W skutek tego pryzmat normalnie rozpraszający światło, odchyła najbardziej promienie

¹⁾ Rep. Br. Ass. (Ipswich, 1895) str. 159—163.

²⁾ E. Rudolph. Ueber submarine Beben. Beitr. zur Geophys. tom III, str. 286.

³⁾ Mission d'Andalousie. Mem. prés. à l'Acad. des Sc. II ser., tom XXX. (Paryż, 1889) str. 57—77.

fioletowe, zaś najmniej czerwone, i widmo, przez taki pryzmat wytworzone, przedstawia zwykle następstwo barw tęczy. Mówimy dalej, że dyspersya jest anormalna, gdy pewne części widma wydają się jakby przesuniętymi wobec innych. Pochodzi to stąd, że prędkość światła wprawdzie w pewnych odstępach wzrasta wraz z okresem drgań, w innych atoli bardzo prędko się zmniejsza i spada poniżej swych wartości w poprzednim odstępie. Być może nawet, że owe spadki prędkości odbywają się w sposób zupełnie nagły tak, że prędkość światła, rozważana jako funkcyja okresu drgań, nie jest funkcyją ciągłą. Anormalna dyspersya stoi w bliskim związku z selektywną absorpcyą, t. j. ciała anormalnie rozpraszające światło jednocześnie silnie pochłaniają światło pewnej barwy lub barw, t. j. światło o pewnych określonych okresach drgań.

Można na pewno powiedzieć, że niektóre drgania muszą być zupełnie albo prawie zupełnie pochłaniane przez skały. Trudno sobie wyobrazić, jak mogą rozchodzić się w skałach fale o długości porównywalnej z rozmiarami kryształów i ziarn. Takie fale zapewne bardzo prędko przechodzą w pewien zupełnie nieregularny ruch, energia musi bardzo prędko zużywać się na wytworzenie ciepła, muszą one ginąć w bardzo niewielkiej odległości od miejsca, gdzie powstały. Sądzimy, że dla każdego gatunku skał musi istnieć pewna tej skale właściwa granica długości fal, które jeszcze mogą w niej się rozchodzić. Jeżeli długość pewnych fal jest mniejsza od owej granicznej długości, to te fale zupełnie się nie rozejdą w danym ośrodku. Takiego rodzaju zupełna absorpcya byłaby jednak różna od optycznej selektywnej absorpcyi, albowiem tam, t. j. w optyce mamy pochłanianie pewnych barw, t. j. drgań o pewnych okresach, podczas gdy inne barwy, t. j. drgania tak o większym jak o mniejszym okresie drgań z łatwością przechodzą przez dany ośrodek. Czy i tego rodzaju absorpcya istnieje w skałach, niewiadomo. Dotąd przynajmniej niema żadnych danych, wskazujących, że taka absorpcya istnieje.

Powiedzieliśmy już, że, o ile można sądzić z dotychczasowych doświadczeń, szybkie drgania prędzej rozchodzą się w ziemi aniżeli powolne. Prawdę mówiąc, nie będziemy mogli dużo więcej powiedzieć o seismicznej dyspersyi, albowiem brak nam jeszcze dostatecznego i odpowiedniego materiału. Jest to zjawisko jeszcze mało znane, nie można jeszcze na seryo mówić o jakimś dokładnem empirycznem prawie tej dyspersyi, temniemniej warto zastanowić się i nad tem, co już nam jest wiadome. Przedewszystkiem zauważmy, że jeżeli szybkie drgania rozchodzą się z większą prędkością aniżeli powolne, to prawo seismicznej dyspersyi w pewnych przynajmniej granicach jest nietylko wręcz prze-

ciwne prawu optycznej normalnej dyspersyi, ale zarazem, różne od prawa anormalnej dyspersyi. Ale pewne spostrzeżenia dowodzą, że niektóre drobne szybkie drgania przychodzą dopiero jednocześnie z wolnymi oscylacyami głównej fazy. Rebeur-Paschwitz¹⁾ utrzymuje, że pewne zmiany położenia wahadła poziomego bywają spowodowane przez nadzwyczaj drobne i szybkie drgania, przychodzące już dobrze po początku trzęsienia ziemi, często jednocześnie z główną fazą. O ile mi się zdaje Rebeur-Paschwitz uważa te drgania bodaj za szybsze aniżeli owe pierwsze drobne drgania, zapowiadające trzęsienie ziemi. Skąd się biorą tak drobne i szybkie a spóźnione drgania? Jeżeli także skutkiem dyspersyi, to wtedy należałoby przypuścić, że w miarę tego jak okres drgań zmniejsza się, prędkość rozchodzenia się fal najpierw wzrasta, a następnie doszedłszy do pewnego maximum, poczyna się zmniejszać. Jeżeli n. p. prędkość osiąga maximum w drganiach o okresie $\tau = \tau_1$, to we wszystkich drganiach, których $\tau < \tau_1$, prędkość byłaby już funkcją malejącą jednocześnie z τ . A zatem prawo dyspersyi byłoby w drganiach o okresach mniejszych niż τ_1 przynajmniej w pewnych granicach podobne do prawa normalnej optycznej dyspersyi.

Niestety nie można tego domysłu uważać za dowiedziony, albowiem można równie dobrze objaśnić owe spażnianie się niektórych szybkich drgań przy zupełnie innym prawie dyspersyi. Załóżmy n. p. że prędkość rozchodzenia się nie osiąga maximum w drganiach o pe-ryodzie $\tau = \tau_1$, ale że wogóle wzrasta, może zdążając asymptotycznie do jakiejś górnej granicy, w miarę tego, jak okres drgań zmniejsza się. Dalej założymy, że nasz ośrodek posiada własności podobne, jak ośrodki rozpatrywane w II studyum. Wtedy każde wstrząśnienie musi dzięki dyspersyi wywołać szereg fal, posiadających różne indywidualne prędkości, zależne od okresu drgań (wzrastające w miarę tego, jak okres drgań zmniejsza się) ale prócz tego każda fala musi znów rozpaść się na kilka oddzielnych fal, rozchodzących się z różnymi prędkościami (jestto właśnie owe w poprzednim studyum opisane zjawisko podobne do podwójnego załamania się światła) a zatem drgania o pewnym danym okresie τ mogą w pewnym kierunku rozchodzić się z prędkościami: v, v', v'' etc. . . . Widzimy ztąd że owe spóźnione szybkie drgania mogą być poprostu drganiami o tych samych okresach co owe drgania zapowiadające trzęsienie ziemi, ale należącemi do innej seryi fal i obdarzonymi inną prędkością rozchodzenia się.

Można wreszcie całe zjawisko jeszcze inaczej wytłómaczyć. Próż

¹⁾ Horizontalpendelbeobachtungen etc.... Beitr. zur Geophysik, tom II str. 430.

fal przychodzących wprost, t. j. możliwie najkrótszą drogą, mogą też przychodzić fale odbite w pewnych powierzchniach, gdzie ciągłość ośrodka ulega zerwaniu. Oczywiście fale odbite muszą przychodzić później niż fale, przychodzące możliwie najkrótszą drogą.

Wyżej już mówiliśmy o tem, że prawdopodobnie najkrótsze fale, a raczej fale, których długość jest mniejsza od pewnej granicznej długości, wcale nie mogą się rozchodzić. Należy uwzględnić tę okoliczność w następujący sposób.

Wiadomo, że między prędkością rozchodzenia się drgań v , okresem τ i długością fali λ zawsze istnieje związek:

$$\lambda = v \cdot \tau.$$

Ponieważ uważamy prędkość v za funkcję peryodu τ , to *eo ipso* τ jest także funkcją v . Załóżmy, że istnieje pewna graniczna długość fali λ_1 taka, że skoro $\lambda < \lambda_1$, to fale wcale nie mogą się rozchodzić. Aby ten warunek mógł być spełniony, trzeba, aby równanie

$$v \cdot \tau = \lambda \quad \text{gdzie } \tau = f(v)$$

gdy $\lambda = \lambda_1$ miało tylko pierwiastek $v = 0$, zaś gdy $\lambda < \lambda_1$ miało tylko urojone pierwiastki. Sądzymy, że każde prawo seismicznej dyspersyi powinno czynić zadość tego rodzaju warunkowi.

W optyce przypisujemy zjawisko dyspersyi wpływowi reakcyi materyi ważkiej na eter świetlany i *vice versa*. Przytem wyobrażamy sobie cząsteczki materyi jako małe ciała rozsiane wśród eteru. Między skałami są niektóre, składające się przeważnie z bezpostaciowego cementu z dość rzadko rozsianymi kryształami. Wewnętrzna budowa takich skał jest podobna do owej hypotetycznej budowy ciał rozpraszających światło. Można by tedy od biedy zastosować do nich teorię optycznej dyspersyi. Ale od razu widać, że ta teoria nie dałaby się przystosować do skał, składających się z mieszaniny kryształów z małą ilością cementu. Prócz tego w teorii optycznej dyspersyi hypotetyczne związki między eterem a ważką materją są tego rodzaju, że trudno je przenieść do teorii seismicznej dyspersyi i nadać im racjonalne znaczenie. Z tego powodu sądzymy, że dyspersya seismiczna nie da się podciągnąć pod teorię dyspersyi optycznej. Zresztą widzieliśmy wyżej, że prawdopodobnie prawa tych dyspersyi nie są jednakowe. Wskutek tego trzeba by utworzyć samoistną teorię dyspersyi seismicznej.

Taka teoria naturalnie nie da się zbudować w ramach klasycznej teorii sprężystości, w tej bowiem teorii prędkości rozchodzenia się fal są zawsze funkcjami li tylko współczynników sprężystości danego ośrodka (oraz kierunków), ale nie mogą zależeć ani od okresu, ani od

prędkości ani od długości fali. Wskutek tego nasuwa się pytanie, w jaki sposób i pod jakim względem należy uzupełnić równania zwykłej klasycznej teorii sprężystości, aby otrzymać zadawalające analityczne modele ośrodków sprężystych rozpraszających.

Odpowiedź na to pytanie nie jest bynajmniej łatwą, — dla czego? zaraz to zobaczymy. Załóżmy, że uzupełniliśmy równania zwykłej teorii sprężystości, żeśmy dodali do nich pewne wyrazy wyrażające jakąś prawdopodobną własność ośrodka, następnie podstawmy w te równania funkcje kołowe o argumentach zawierających czas i współrzędne, aby otrzymać tak zwane nieokreślone całki równań sprężystych. Po podstawieniu zawsze otrzymamy pewne związki, wyrażające zależność prędkości i długości fal od okresu. Stosownie do kształtu obranych równań różniczkowych, te związki mają ten lub inny charakter, zmieniając zaś kształt obranych równań w odpowiedni sposób, możemy otrzymać prawie zupełnie dowolne związki między prędkością, długością fali i okresem. Zdawałoby się, że ta okoliczność jest bardzo dogodną. Zdawałoby się, że dość między różnymi analitycznymi modelami wybrać ten, który daje związek między prędkością i okresem najbardziej podobny do empirycznego związku wyprowadzonego ze spostrzeżeń nad seismiczną dyspersją (naturalnie rozumujemy tu tak, jak gdybyśmy już mieli materiał dostateczny, aby móc takie empiryczne prawo dyspersji wyprowadzić), z drugiej zaś strony wyraża najbardziej prawdopodobne hipotezy co do wewnętrznej budowy ośrodka oraz co do jego fizycznych własności.

Atoli takie mniemanie byłoby błędne dla pewnych powodów, które zaraz wyłuszczymy. W optyce zazwyczaj rozważamy tylko nieokreślone całki (n. p. w razie, gdy mamy do czynienia z płaskimi falami, mamy nieokreślone całki kształtu: $A \cos (at \pm \beta x)$, $B \sin (at \pm \beta x)$), ale te całki właściwie przedstawiają drgania, trwające od nieskończonego odległego przeszłego czasu do nieskończonego odległej przyszłości (oraz ściśle mówiąc, wypełniające całą przestrzeń). Otóż w optyce można zadowolnić się rozważaniem takich całek, albowiem peryody drgań świetlnych oraz długości świetlnych fali są nieskończenie małe wobec okresów czasu i wymiarów przestrzeni dostępnych dla naszych zmysłów. Weźmy n. p. wiązkę światła padającą na pryzmat. Załóżmy, że w pewnej chwili czasu pierwsze fale weszły do pryzmatu. Zaledwie upłynie mały ułamek sekundy, już mamy do czynienia ze stanem, który z praktycznego punktu widzenia może tylko bardzo nieznacznie się różnić od stanu przedstawionego przez nieokreślone całki, t. j. od stanu odpowiadającego drganiom wiecznotrwałym, albowiem od chwili, gdy pierwsze fale weszły do pryzmatu, już miliony drgań przebiegły przez pryzmat i przez otaczające

ośrodki. Jeżeli zatem będziemy mierzyli czas okresami drgań, to okaże się, że owa początkowa chwila już jest niesłychanie odległą. Dzięki temu, można w optyce porównywać wnioski oparte na dyskusyi nieokreślonych całek z rezultatami doświadczalnych spostrzeżeń.

Ale gdy chodzi o drgania seismiczne, postać rzeczy znacznie się zmienia; tu czas trwania wstrząśnienia w ognisku trzęsienia ziemi jest wielkością tego samego rzędu co peryody drgań, a przytem trzeba uwzględnić tę okoliczność, że w pewnej chwili czasu ruch jest ograniczony do pewnej określonej części ośrodka, do tak zwanego ogniska drgań. Dla tego też nie można się zadowolnić dyskusją nieokreślonych całek, trzeba zbadać, jak rozchodzą się dowolne wstrząśnienia ograniczone w pewnej chwili czasu do pewnej określonej przestrzeni.

Ta ostrożność nie jest bynajmniej zbytęzną, albowiem mamy przykłady dowodzące, że ze sposobu rozchodzenia się drgań wiecznotrwających, przedstawionych przez nieokreślone całki niezawsze można wnioskować o sposobie rozchodzenia się dowolnych wstrząśnień. Weźmy n. p. z teoryi elektryczności równanie znane pod nazwą równania telegrafistów ¹⁾.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 2b \frac{\partial u}{\partial t} \quad \dots \dots \dots \text{I}$$

Jeżeli $b = 0$, równanie I przechodzi w znane równanie klasycznej teoryi sprężystości:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad , \quad \dots \dots \dots \text{II}$$

której ogólna całka:

$$f_1(x + at) + f_2(x - at)$$

przedstawia płaskie niezmiennie fale rozchodzące się ze stałą prędkością a . Wyraz: $- 2b \frac{\partial u}{\partial t}$, którego brak w równaniu II, przedstawia wpływ wewnętrznego tarcia. Dodatnia stała b oznacza współczynnik pochłaniania. Zauważmy mimochodem, że modele tego typu co równania I są dla teoryi rozchodzenia się drgań w pokładach ziemskich nieprzydatne, albowiem wyraz przedstawiający wpływ tarcia jest proporcjonalny do absolutnej prędkości cząsteczek, podczas gdy w tej teoryi wyrazy, odnoszące się do tarcia, powinny być zależne od prędkości

¹⁾ Poincaré. C. R. tom 117, str. 1027—1032.

Picard. C. R. tom 118, str. 16 — 17, oraz Bull. Soc. math. de France tom XXII str. 2—8.

Boussinesq. C. R. tom 118, str. 162—166, 223—226, 271—276.

O. Heaviside. Electrical papers. Tom II (Londyn 1892) str. 381 i nast.

względnej. Nieokreślone całki równania I fal o pewnej oznaczonej długości są:

$$Ae^{-bt} \cos(\alpha x \pm \sqrt{a^2 x^2 - b^2} \cdot t)$$

$$Be^{-bt} \sin(\alpha x \pm \sqrt{a^2 x^2 - b^2} \cdot t)$$

przyczem długość fali

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha}$$

okres
$$\tau = \frac{2\pi}{\sqrt{a^2 x^2 - b^2}}$$

wreszcie prędkość rozchodzenia się fal:

$$v = \frac{\lambda}{\tau} = \frac{a}{\sqrt{1 + \left(\frac{b\tau}{2\pi}\right)^2}} = \sqrt{a^2 - \left(\frac{b\lambda}{2\pi}\right)^2}.$$

Widzimy ztąd, że prędkość rozchodzenia się fal jest funkcją ich długości (lub okresu) i że fale o długości większej, aniżeli $\frac{2\pi a}{b}$ nie mogą się rozchodzić, albowiem gdy:

$$\lambda > 2\pi \frac{a}{b},$$

prędkość v staje się urojona.

Zupełnie co innego okaże się, gdy weźmiemy na uwagę całki ¹⁾ przedstawiające rozchodzenie się pewnego dowolnego ruchu w pewnej chwili ograniczonego do pewnej skończonej przestrzeni. Okaze się, że wszystkie takie wstrząśnienia rozchodzą się ze stałą prędkością a . W ogóle rozchodzenie się fal będzie podobne do rozchodzenia się płaskich fal w doskonale sprężystym izotropowym ośrodku (równ. II) osobliwie, jeżeli stała b posiada małą wartość wobec a . Różnica polega na tem, że amplitudy fal zmniejszają się w miarę tego, jak fale oddalają się od ogniska, oraz na tem, że charakter fali podlega pewnym zmianom, zaś po przejściu głównej fali pozostaje jeszcze pewien słaby ruch, który zresztą powoli zupełnie znika. Sądzę, że każdy przyzna, iż trudno wywnioskować te właściwości rozchodzenia się fal z nieokreślonych całek:

$$Ae^{-bt} \cos(\alpha x \pm \sqrt{a^2 x^2 - b^2} \cdot t)$$

$$Be^{-bt} \sin(\alpha x \pm \sqrt{a^2 x^2 - b^2} \cdot t)$$

¹⁾ Porównaj cytowane powyżej prace, osobliwie zaś Poincarégo i Picarda.

$$\text{oraz ze związków: } \lambda = \frac{2\pi}{\alpha} \quad \tau = \frac{2\pi}{\sqrt{a^2\alpha^2 - b^2}} \quad \text{i } v = \sqrt{a^2 - \left(\frac{b\lambda}{2\pi}\right)^2},$$

które z nich wynikają. Prędzej chyba możnaby odgadnąć te właściwości, rozważając znaczenie oddzielnych wyrazów w równaniu różniczkowym: I. Mieliliśmy więc słuszną, mówiąc, że wnioski oparte na rozważaniu nieokreślonych całek, nie są wystarczające, że trzeba badać zachowanie się całek, przedstawiających rozchodzenie się dowolnych wstrząśnień.

Aby otrzymać przydatne modele ciał sprężystych rozpraszających, musimy wziąć równania różniczkowe bardziej skomplikowane, niżli równania zwykłej teorii sprężystości t. j. równania należące do typu równ. I. Łatwo znaleźć i zbadać nieokreślone całki takich bardziej skomplikowanych równań, ale, jak to wyżej zauważyliśmy, mała z tego korzyść. Jeżeli zaś zechcemy znaleźć całki wyrażające rozchodzenie się dowolnych wstrząśnień, natrafimy na wielkie trudności, albowiem teoria takich równań różniczkowych bynajmniej nie jest jeszcze wyrobiona, a zatem trzeba przeprowadzić badanie każdego równania „ab ovo“. Z tego powodu musimy tymczasem zaniechać zamiaru przedstawienia matematycznej teorii seismicznej dyspersyi. Zresztą obecnie możnaby utworzyć taką teorię tylko tytułem próby, bo, jak wiemy, empiryczne prawo seismicznej dyspersyi nie jest jeszcze dobrze znane, a zatem nie bardzo jeszcze wiadomo, jakim warunkom musiałaby zadość czynić matematyczna teoria zjawiska.

Założenie, że pokłady ziemskie posiadają własności ośrodków rozpraszających, oraz ośrodków podwójnie załamujących w rodzaju tych, które były opisane w poprzednim II studyum, są zupełnie wystarczające, aby objaśnić wszystkie zjawiska spostrzegane w trzęsieniach ziemi. Naturalnie należy przytem założyć, że pokłady ziemskie muszą też mieć własności ośrodków pochłaniających, ale to się rozumie samo przez się, albowiem niema mowy nawet o tem, aby tarcie wewnętrzne nie miało mieć wpływu na rozchodzenie się fal. Już z okazji drobnych spóźnionych drgań, zauważonych przez Rebeura-Paschwitza wspomnieliśmy, że w ośrodku posiadającym wyżej wymienione własności, każde wstrząśnienie musi się rozpaść na mnóstwo oddzielnych fal. Dzięki rozpraszaniu się, drgania o różnych okresach rozchodzą się z różną prędkością, zaś dzięki podwójnemu załamaniu nawet drgania o pewnym określonym okresie rozchodzą się z kilku prędkościami. Powstaje tedy kilka seryi fal. Fale należące do jednej i tej samej seryi mają ten sam kształt [t. j. wszystkie kuliste, albo wszystkie ellipsoidalne i t. d.], ale różnią się od siebie peryodem i prędkością rozchodzenia się. Natu-

ralnie ilość fal, z których się składa pewna serya, jest nieograniczona, podczas gdy ilość seryi jest skończona i niewielka, n. p. kilka. Fale o jednym i tym samym okresie są reprezentowane w różnych seryach i jako należące do różnych seryj posiadają inny kształt i inną prędkość rozchodzenia się. Zdarza się też, że fale, należące do pewnej seryi z powodu kształtu właściwej im powierzchni falowej wcale nie mogą rozchodzić się w pewnym kierunku, a zatem do pewnych stacyi wprost nie dochodzą, jeżeli zaś dochodzą, to tylko przez odbicie.

Fale o długości mniejszej aniżeli pewna graniczna długość, prawdopodobnie ulegają zupełnemu pochłonięciu [o czem była już wyżej mowa]. Stosownie do natury wstrząśnienia, największą amplitudę mogą posiadać raz nieco szybsze, drugi raz nieco powolniejsze drgania. Jednakże na stacyach od ogniska trzęsienia ziemi bardzo odległych drgania powolne i długie (t. j. o znacznej długości fali) powinny zazwyczaj posiadać o wiele znaczniejszą amplitudę aniżeli drgania szybkie i krótkie. Jestto konieczny skutek wpływu wewnętrznego tarcia, które zawsze wzrasta wraz z prędkością względną, a zatem musi niweczyć drgania tem bardziej, im mniejszą jest *ceteris paribus* długość fali i również tem bardziej, im *ceteris paribus* krótszym jest okres drgań. Stąd widać, że na dalekich stacyach długie fale o długich okresach powinny zazwyczaj posiadać największe, zaś krótkie fale o krótkich okresach najmniejsze amplitudy. Spostrzeżenia, o ile wiadomo, dobrze się zgadzają z tym postulatem teoryi, przynajmniej tak zwana główna faza trzęsienia ziemi na dalekich stacyach składa się przeważnie z powolnych drgań.

Fale posiadające największe amplitudy przytrafiają się mniej więcej w każdej seryi, lecz fale o dużej amplitudzie, należące do pewnej seryi, posiadają inne prędkości, aniżeli fale o dużej amplitudzie, należące do innej seryi; — przeto na pewnej danej stacyi ruch może i powinien kilkakrotnie podnosić się do maximum, przyczem te maxima, odpowiadające przejściu różnych wielkich fal, mogą być oddzielone jedne od drugich dość znacznymi odstępami czasu. Naturalnie niektóre maxima ruchu mogą odpowiadać przejściu pewnych dużych odbitych fal. Odbicie się następuje naturalnie w tych powierzchniach, w których ciągłość ośrodka jest zerwana, n. p. na granicy między dwoma pokładami¹⁾. W tych samych powierzchniach załamują się fale seismiczne — naturalnie z wyjątkiem tego przypadku, w którym odbicie się fal jest zupełne.

¹⁾ Rozumiemy tu nie tylko pokłady zewnętrznej skorupy, ale także pokłady głębokiego wnętrza.

Dotąd wciąż mówiliśmy o prędkości jako o funkcyi okresu drgań. Niema po co wprowadzać zależność prędkości od długości fal, bo ta ostatnia, jak to widać ze znanego równania

$$\lambda = v\tau,$$

musi też być funkcyą okresu, jeżeli tylko założymy, że prędkość jest funkcyą okresu, ale mógłby kto zrobić zarzut, że nie uwzględniamy zależności prędkości od amplitudy drgań, podczas gdy taka zależność wcale nie jest *à priori* wykluczona. Ale spostrzeżenia pokazują, że amplituda drgań jest zawsze bardzo mała w porównaniu z długością fal, że stosunek amplitudy do długości fali jest zazwyczaj ułamkiem o liczniku, dajmy na to, jedność i mianowniku wynoszącym tysiące i dziesiątki tysięcy. Wobec tego można ogólnie z całą pewnością twierdzić, że kwadraty oraz iloczyny pochodnych względem współrzędnych będą bardzo małemi wielkościami wobec pierwszych potęg, a zatem można zawsze używać równań różniczkowych liniowych. Lecz w takim razie, jak wiadomo, amplituda drgań nie będzie miała żadnego wpływu ani na peryod, ani też na prędkość fal. Wypada jednakże zaznaczyć, że niektóre spostrzeżenia na pozór przeczą temu wnioskowi. Tak n. p. Abbot na podstawie swoich spostrzeżeń nad rozchodzeniem się drgań wywołanych wybuchami prochu i dynamitu — wnosi, że przy silniejszych ładunkach pierwsze drgania zapowiadające główne wstrząśnienia rozchodzą się prędzej, niż przy małych ładunkach, ale, o ile się zdaje, cała rzecz polega na względnej czułości instrumentów użytych do obserwacyi. Przy małym ładunku amplitudy wszystkich drgań, a zatem i pierwszych, zapowiadających główne wstrząśnienie, są mniejsze i mogą przejść niepostrzeżenie ¹⁾, podczas gdy przy silniejszym ładunku amplitudy są większe i te same szybko biegnące szybkie drgania, które tam przeszły niepostrzeżenie, tu dadzą się odczuć.

W pobliżu ogniska trzęsienia ziemi, ruchy przez nie spowodowane, przybierają czasem pewną specjalną formę. Mianowicie prócz zwykłych drgań seismicznych pojawiają się zupełnie różne od nich fale, które można obserwować gołym okiem. Fale, o których mówimy, posuwają się z prędkością nieporównanie mniejszą niż właściwe seismiczne drgania, podczas przejścia tych fal, powierzchnia ziemi widocznie podnosi się i opada,— drzewa kołyszą się to w tę to w ową stronę,— w grun-

¹⁾ Że nasz domysł jest słuszny, na to wskazuje n. p. skonstatowany w ostatnich czasach fakt, że poziome wahadła często nie notują najsłabszych pierwszych drgań, podczas gdy długie wahadła pionowe okazują się dość czułe na te same drgania.

cie tworzą się szczeliny, z których niektóre, chwilowo otworzywszy się, znów się zamykają. Wszyscy ci, którzy mogli obserwować te zjawiska zaznaczają wybitne podobieństwo tych fal do fal wodnych. Słusznie też Dutton ¹⁾ uważa, że są to zapewne fale grawitacyjne. Innego tłumaczenia chyba dla nich niemasz. Sądzę atoli, że niema racji nazywać je, jak to czyni Dutton, czemś tajemniczem, bo przecie wiadomo, że fale grawitacyjne mogą tworzyć się nietylko w cieczy, ale w każdym niesprężystym, niesztynnym ośrodku n. p. w miękkich pokładach. Dość na to, aby ciągłość ośrodku nie była ciągle zrywana, bo nawet miejscowe zrywanie się ciągłości nie może przeszkodzić wytworzeniu się takich fal. Poprzestaniemy na tej uwadze, bo nie mamy zamiaru w obecnej pracy wdawać się w rozbiór form ruchu, spowodowanego przez trzęsienie ziemi w samej powierzchni, ale pozwolimy sobie jeszcze wskazać o pewien błąd, w który wpadł Milne ²⁾, a za nim Dr. F. Suess ³⁾.

Milne porównywa tylko co wspomniane fale z pewnemi niby sprężystymi drganiami, które rozważał Rayleigh ⁴⁾. Porównanie to jest zupełnie niewłaściwe, najpierw dlatego, że prędkość owych fal Rayleigha jest tylko mało co mniejsza, niż prędkość rzeczywistych sprężystych fal, nie zaś o wiele mniejsza jak prędkość interesujących nas fal powierzchniowych; po drugie: drgania rozważane przez Rayleigha odbywają się w płaszczyznach równoległych do zewnętrznej powierzchni, a zatem nie wspólnego z falami, przy których ta powierzchnia się kołysze, mieć nie mogą. Zdaje się, że cały błąd powstał ztąd, że Milne nie przejrawszy wzorów Rayleigha zauważył tylko tyle, że Rayleigh mówi o pionowej i o poziomej składowej ruchu. Ale to po prostu pochodzi stąd, że i płaszczyzna graniczna i płaszczyzny, w których odbywają się drgania, wedle założenia Rayleigha stoją pionowo.

¹⁾ Charleston Earthquake IX Ann. Rep. U. S. Geol. Survey str. 267 i nast.

²⁾ Report on the Earthquake etc. . . . Rep. Br. Ass. (Ipswich 1895) str. 171.

³⁾ Erdbeben von Laibach. Jahrb. der k. k. Geol. Reichsanstalt (Wien) tom XLVI. str. 596.

⁴⁾ Proc. London math. Soc. tom XVII. Londyn 1887 str. 4—11.

