

10

Z Pracowni Fیزیologicznej  
Tow. Nauk. Warsz.

Kazimierz Białaszewicz.

# Przyrząd do badania wymiany gazowej u zwierząt niższych.

ODBITKA ZE SPRAWOZDAŃ Z POSIEDZEŃ TOWARZYSTWA NAUKOWEGO WARSZAWSKIEGO.  
WYDZIAŁ NAUK MATEMATYCZNYCH I PRZYRODNICZYCH.  
POSIEDZENIE Z DNIA 7 GRUDNIA 1916 ROKU. ROK IX. ZESZYT 9.

## Appareil d'analyse respiratoire pour les animaux inférieurs.

Extrait des Comptes Rendus de la Société des Sciences de Varsovie.  
1916. IX Année. Fascicule 9.



WARSZAWA.

DRUKARNIA i LITOGRAFIA p. f. „JAN COTTY”, KAPUCYŃSKA 7.

1916.



Z Pracowni Fیزیologicznej  
Tow. Nauk. Warsz.

**Kazimierz Białaszewicz.**

# Przyrząd do badania wymiany gazowej u zwierząt niższych.

ODBITKA ZE SPRAWOZDAŃ Z POSIEDZEŃ TOWARZYSTWA NAUKOWEGO WARSZAWSKIEGO.  
WYDZIAŁ NAUK MATEMATYCZNYCH I PRZYRODNICZYCH.  
POSIEDZENIE Z DNIA 7 GRUDNIA 1916 ROKU. ROK IX. ZESZYT 9.

## Appareil d'analyse respiratoire pour les animaux inférieurs.

Extrait des Comptes Rendus de la Société des Sciences de Varsovie.  
1916. IX Année. Fascicule 9.



WARSZAWA.

DRUKARNIA I LITOGRAFIA p. f. „JAN COTTY”, KAPUCYŃSKA 7.

1916.



Kazimierz Białaszewicz:

## Przyrząd do badania wymiany gazowej u zwierząt niższych.

(Z Pracowni Fیزیologicznej Towarzystwa Naukowego Warszawskiego).

Komunikat zgłoszony dn. 20 Września 1916 r.

W badaniach porównawczych nad przemianą materii oddawna odczuwa się brak odpowiedniego przyrządu, umożliwiającego metodycznie niezłożone i dostatecznie ścisłe doświadczenia nad wymianą gazową zwierząt niższych. Wobec stale wzrastającego zainteresowania światem zwierząt bezkręgowych, posiadanie odpowiedniego przyrządu, ułatwiającego szybkie wykonanie seryi doświadczeń oddechowych, może być w wielu razach pożyteczne. Kierując się względem powyższym, podaję opis przyrządu oddechowego, którym od dłuższego czasu posługuję się w badaniach nad przemianą materii zwierząt bezkręgowych.

Zasada niżej opisanego przyrządu polega na tem, że zwierzęta badane przez cały czas doświadczenia znajdują się w odmierzonej objętości powietrza, szczelnie zamkniętego w zbiorniku szklanym; ciecz, pochłaniająca dwutlenek węglowy, znajduje się poza zbiornikiem, dzięki czemu pochłanianie można rozpocząć lub przerwać w chwili dowolnej. Ilości tlenu i dwutlenku węglowego, biorące udział w wymianie gazowej, wylicza się ze zmian objętości normalnej powietrza w przyrządzie. Kontrolę objętościowego wyznaczenia dwutlenku węglowego stanowi analiza cieczy pochłaniającej na zawartość tego gazu.

### Opis.

Przyrząd<sup>1)</sup> składa się z trzech (p. tabl.) połączonych z sobą naczyń szklanych: ze zbiornika gazowego (*A*), naczynia absorbcyjnego (*B*) i pompki (*CC*<sub>1</sub>).

Stałe krążenie powietrza w przyrządzie umożliwia pompka, połączona ze zbiornikiem za pośrednictwem naczynia absorbcyjnego, pełniącego jednocześnie rolę wentyla, który umożliwia ruch powietrza w przyrządzie w jednym tylko kierunku.

<sup>1)</sup> Wykonany przez firmę Berent i Plewiński w Warszawie.

Pompka składa się z dwu komunikujących z sobą za pośrednictwem rurki gumowej ( $g$ ) naczyń ( $CC_1$ ), napełnionych rtęcią. Naczynie lewe ( $C$ ) za pomocą rurki włoskowatej  $rc$  łączy się z taką samą rurką  $rc_1$  naczynia absorbcyjnego, u dołu zaś posiada kran  $k_7$ , który służy do ustawienia rtęci w rurce  $rc$  na wysokości punktu zerowego ( $o$ ). Prawe zaś naczynie  $C_1$  jest zawieszona na nitce ekscentrycznie na tarczy  $D$ , poruszanej z pomocą małego motorka elektrycznego ( $E$ ), którego szybkość obrotów regulować można dowolnie. Działanie pompki polega na rytmicznym obniżaniu i podnoszeniu poziomu rtęci w obu naczyniach, co pociąga za sobą kolejne wtłaczanie i wyciąganie powietrza z kolbki absorbcyjnej.

Odpowiednio do działania pompki jest pomyślana konstrukcja wentyla w naczyniu absorbcyjnym, umożliwiająca ruch powietrza w przyrządzie tylko w jednym kierunku.

Naczynie absorbcyjne ( $B$ ) składa się z kolbki miarowej, napełnionej do znaku cieczą absorbującą  $CO_2$  (roztworem  $Ba(OH)_2$  lub  $KOH$ ), i — ze szczelnie przyszlifowanej szyjki  $b$ . Od szyjki odchodzą trzy rurki  $rc_1$ ,  $rob$  i  $rdb$ , z których prawa ( $rc_1$ ) włoskowata, zagięta ku górze, służy do połączenia z pompką, dwie zaś pozostałe — z odpowiednimi rurkami zbiornika  $A$ .

Rurka  $rdb$  poza szyjką  $b$ , w którą jest wlotowana, łączy się z rurką zbiornika  $roa$  i posiada na swej drodze kran  $k_5$ , w obrębie zaś szyjki przebiega środkowo i sięga ku dołowi poniżej poziomu cieczy pochłaniającej. W czasie zmniejszania się ciśnienia, spowodowanego obniżeniem się poziomu rtęci w pompce, przez rurkę tę powietrze przechodzi ze zbiornika do kolbki i tutaj, przeciskając się przez ciecz absorbującą w postaci pęcherzyków, pozbawia się dwutlenku węglowego.

Stąd po zwiększeniu się ciśnienia w kolbce, powietrze powraca do zbiornika przez rurkę włoskowatą  $rob$ , wygiętą w kształcie litery  $S$ . Na swej drodze przechodzi ono rozszerzenie kulcowate  $f$  i następnie wchodzi do zbiornika przez ramię poziome, które jest połączone z odpowiednią rurką  $rda$  zbiornika. W kulce  $f$  znajduje się kilka kropel wody zakwaszonej, która umożliwia ruch powietrza w rurce  $rob$  tylko w kierunku zbiornika.

W czasie wyciągania powietrza z naczynia absorbcyjnego do pompki, poziom wody w rurce  $rob$  podnosi się, w doprowadzającej zaś rurce  $rdb$  opada; w chwili przechodzenia pęcherzyków

powietrza przez ciecz absorbującą, poziom wody w lewym ramieniu rurki *rob* zatrzymuje się na pewnej wysokości i pozostaje na tym poziomie przez cały czas trwania ciśnienia odjemnego w naczyniu absorbcyjnym. W okresie zaś wtłaczania powietrza z pompki poziomy cieczy zachowują się wręcz przeciwnie: w rurce *rdw* ciecz absorbująca podnosi się do pewnej wysokości, w rurce zaś *rob* opada i powraca do kulki *f*; stąd powietrze ma wolne przejście powrotne do zbiornika gazowego.

W ten sposób skutecznia się stały ruch powietrza ze zbiornika do naczynia absorbcyjnego i z powrotem do zbiornika i odbywa się ustawiczne uwalnianie powietrza z dwutlenku węglowego.

Zbiornik gazowy *A*, w którym w czasie doświadczenia znajdują się zwierzęta, jest to naczynie w kształcie kolby z dnem płaskim; w części górnej naczynia jest przyszlifowana szyjka *a*, posiadająca dwie pary rurek doprowadzających i odprowadzających powietrze do zbiornika. Mianowicie w górnej części szyjki jest wlotowana pionowo czterodrożna rurka włoskowata, sięgająca ramieniem dolnym (*roa*) prawie do dna zbiornika; po bokach zaś szyjki są wlotowane dwie inne rurki włoskowate *rda* i *rdp*, bezpośrednio komunikujące ze zbiornikiem.

Znajdujące się z lewej strony zbiornika dwie rurki *rdp* i *rop* z kranami  $k_1$  i  $k_2$  służą do przepędzania przez zbiornik czystego powietrza lub jakiegokolwiekbaż z zewnątrz gazu, pozbawionego  $\text{CO}_2$ ; rurkę *rop* łączy się wtedy z pompką wodną, rurkę zaś *rdp* z szeregiem płuczek, usuwających z powietrza wstępującego dwutlenek węglowy.

Do rurki *rop*, odprowadzającej powietrze ze zbiornika, jest ponadto wlotowana pionowo rurka *p* z kranem  $k_3$ , służąca do brania z przyrządu próbek powietrza do analizy gazowej.

Inne dwie rurki, *roa* i *rda*, odchodzące z prawej strony szyjki, łączą się z odpowiednimi rurkami naczynia pochłaniającego: rurka górna (*roa*) służy do odprowadzania powietrza ze zbiornika do naczynia absorbcyjnego, przez rurkę zaś dolną (*rda*) powietrze wraca do zbiornika.

Dalszy ciąg ramienia górnego rurki czterodrożnej stanowi manometr rtęciowy *m*, wykazujący różnicę między ciśnieniem gazu w zbiorniku a ciśnieniem atmosferycznym.

Połączenia wszystkich części składowych przyrządu są uszczelnione z pomocą rurek gumowych i uszczelnione rtęcią ( $u_1$ ,  $u_2$  i  $u_3$ ). Połączenia  $u_1$  i  $u_2$  są stałe, połączenie zaś  $u_3$  ustala się każdorazowo przed rozpoczęciem doświadczenia. Ponadto wokoło szlifów zbiornika i naczynia absorbcyjnego znajdują się kołnierze szklane z rtęcią, uszczelniające szlify ( $us_1$  i  $us_2$ ).

Zestawienie przyrządu i rękoczynny z przyrządem w czasie doświadczenia uskutecznią się w sposób następujący:

W zbiorniku *A* umieszcza się odważone zwierzęta, które mają być poddane doświadczeniu. Przed połączeniem zbiornika z szyjką *a* za pomocą szlifu, pokrytego cienką warstwą smaru, ramię dolne rurki *rda*, biegnące po środku zbiornika, okręca się paskiem bibuły, którą zwilża się wodą w celu szybkiego doprowadzenia powietrza do stanu nasycenia parą wodną. Po połączeniu szyjki ze zbiornikiem szlif uszczelnia się rtęcią, którą wlewa się do kołnierza szklanego  $us_1$ . Następnie, do zupełnie suchej kolbki naczynia absorbcyjnego *B* wlewa się szybko dokładnie odmierzoną objętość cieczy pochłaniającej  $CO_2$  (zwykle  $55\text{ cm}^3$  0.0895 n. roztworu  $Ba(OH)_2$ ), i natychmiast łączy się kolbkę z szyjką *b*, pokrywając szlif warstwą smaru i zalewając go również rtęcią ( $us_2$ ).

W celu ustalenia możliwie jednakowej temperatury powietrza we wszystkich częściach przyrządu, wstawia się go do basenu (*F*) z wodą, której temperatura jest utrzymywana na stałym poziomie z pomocą bardzo czułego termoregulatora. Częściami przyrządu, niezanurzonemi w wodzie, jest część rurki manometrycznej, znajdująca się powyżej kranu  $k_4$  i górna część łukowato zgiętej rurki włoskowatej naczynia absorbcyjnego (*rob*). Pozatem, całkowicie w powietrzu znajduje się pompka  $CC_1$ , wraz z rurką włoskowatą, która w chwili odczytywania manometru jest wypełniona rtęcią do znaku zerowego. W ten sposób tylko nieznaczna ilość powietrza, zawartego w przyrządzie, nie jest ogrzana do temperatury wody. Z tej racji temperaturę gazu w przyrządzie przyjmuje się za równą temperaturze wody, w której przyrząd został zanurzony.

Po zanurzeniu w wodzie naczyń *A* i *B*, połączonych na stałe za pomocą uszczelnaczy  $u_1$  i  $u_2$ , łączy się pompkę z naczyniem absorbcyjnym za pośrednictwem rurek  $rc_1$  i  $rc$ , uszczelniając połączenie rtęcią ( $u_3$ ), poczem poziom rtęci w rurce  $rc$



doprowadza się do punktu zerowego (0), zamykając następnie kran  $k_7$  pompki.

W celu usunięcia  $\text{CO}_2$  z powietrza zbiornika przed rozpoczęciem doświadczenia, rurkę *rdp* zbiornika łączy się z rurą, wypełnioną wapnem sodowanym, i — z szeregiem płuczek, pochłaniających  $\text{CO}_2$ , zaś rurkę *rop* — łączy się z pompką wodną, otwierając poprzednio krany  $k_1$  i  $k_2$  i zamykając krany  $k_3$  i  $k_4$ . Po przepuszczeniu mocnego prądu powietrza, pozbawionego dwutlenku węgłowego, pozostawia się krany  $k_1$  i  $k_2$  otwartymi przez pewien czas, potrzebny dla nasycenia się powietrza parą wodną i dla zrównania się temperatury powietrza w przyrządzie z temperaturą wody w basenie (p. niżej).

W chwili rozpoczęcia doświadczenia zamyka się krany  $k_1$  i  $k_2$ , komunikujące z powietrzem zewnętrznym i, prócz tego, przerywa się komunikację powietrza w zbiorniku z cieczą, pochłaniającą  $\text{CO}_2$ , zamykając krany  $k_5$  i  $k_6$  naczynia absorbcyjnego. Natomiast kran  $k_4$  otwiera się w celu połączenia manometru ze zbiornikiem.

Przed rozpoczęciem pochłaniania dwutlenku węgłowego, które zwykle skutecznia się w końcu doświadczenia, otwiera się przedewszystkiem krany  $k_6$  i  $k_5$ , a następnie kran  $k_7$  pompki, i puszcza się w ruch tarczę *D* z pomocą motoru elektrycznego *E*. Szybkość motoru reguluje się w ten sposób, aby tarcza obracała się około 30—40 razy w ciągu jednej minuty, co dla przyrządu, którym się posługiwałem, odpowiada szybkości ruchu powietrza, równej około 7.2—9.6 litrów na godzinę.

Po skończonem pochłanianiu  $\text{CO}_2$  motorek *E* zatrzymuje się, a rtęć w rurce *rc* pompki doprowadza się ponownie do punktu zerowego.

Próbki gazu, potrzebne dla wykonania analizy powietrza, pobiera się przez rurkę *p*, zamykając poprzednio kran manometru i otwierając w chwili odpowiedniej kran  $k_3$ .

Zasadniczy sposób mierzenia gazów, biorących udział w przemianie materji, polega na wyznaczeniu zmian objętości normalnych powietrza w przyrządzie w trzech głównych momentach doświadczenia: przedewszystkiem — na początku doświadczenia, po zamknięciu kranów  $k_1$  i  $k_2$ , następnie — po upływie pewnego czasu, w którym zwierzęta zmieniają skład pierwotny powietrza, pobierając tlen i produkując dwutlenek węgłowy i wreszcie — po

pochłonięciu dwutlenku węglowego. Ponieważ objętość normalną gazu wylicza się, redukując go do ciśnienia atmosferycznego w temperaturze zera w stanie suchym, przeto ścisłość wyznaczenia objętości normalnej zależy od dokładności odczytania tych wartości, które są brane pod uwagę przy wyliczeniu objętości normalnej gazu.

Redukcję uskutecznia się według znanego wzoru

$$V_0 = \frac{V(B - w + m)}{760(1 + \alpha t)},$$

gdzie  $V_0$  jest to zredukowana objętość gazu,  $V$  — pojemność gazowa przyrządu,  $B$  — ciśnienie barometryczne w danym momencie,  $w$  — prężność pary wodnej w danej temperaturze,  $m$  — ciśnienie manometryczne, które może być dodatnie lub ujemne,  $t$  — temperatura gazu i  $\alpha$  — współczynnik rozszerzalności gazów.

Pojemność gazową przyrządu określa się w sposób zwykły — przez odważenie wody, wypełniającej całkowicie wolną przestrzeń przyrządu, po uwzględnieniu rozszerzalności wody w danej temperaturze.

Temperaturę gazu odczytuje się z dokładnością do 0.05°. Ciśnienie barometryczne wyznacza się z dokładnością do 0.1 mm.; z takim samym stopniem dokładności odczytuje się różnicę poziomów rtęci w manometrze, posługując się w tym celu katetometrem. Prężność zaś pary w danej temperaturze, wyrażoną w milimetrach, znajduje się w tablicy Regnault'a.

### Dokładność.

Jak wynika z powyższego opisu, przyrząd niniejszy różni się pod pewnymi względami od aparatu oddechowego typu Regnault'a i Reiset'a. Gdy mianowicie w przyrządzie autorów wspomnianych dwutlenek węglowy usuwa się z powietrza ustawnie, a ilość zużytego tlenu jest kompensowana dopływem świeżego tlenu, dzięki czemu skład normalny powietrza nie ulega zmianie — w przyrządzie opisanym dwutlenek węglowy usuwa się zwykle dopiero w końcu doświadczenia, zawartość zaś tlenu w miarę zużycia stałej ulega redukcji. Różnice te decydują

o ilości gazów, które mogą być wyznaczone w doświadczeniu i kładą kres czasowi trwania doświadczenia.

Ponieważ nieszkodliwa dla organizmu zmiana składu powietrza wynosi około 3—4% dla obu składników wymiany gazowej, przeto zarówno przyrost  $\text{CO}_2$  jak i ubytek  $\text{O}_2$  w powietrzu nie powinny przekraczać powyższej granicy. Zależnie więc od intensywności wymiany gazowej zwierzęcia badanego, uwarunkowanej w pierwszym rzędzie wagą ciała, i w zależności od nakreślonego czasu trwania doświadczenia, dobiera się odpowiednio wielkość zbiornika, zachowując warunek powyższy, aby zawartość  $\text{CO}_2$  w powietrzu pod koniec doświadczenia nie przekraczała nakreślonej granicy.

Z tego powodu, iż w badaniach nad bezkręgowcami nie ma się zwykle do czynienia z większym natężeniem wymiany, jak około  $12 \text{ cm}^3$  gazu na dobę, pojemność zbiornika w przyrządach, któremi się posługiwałem, wynosiła około  $300\text{--}400 \text{ cm}^3$ .

Pojemność kolbki naczynia absorbcyjnego nie powinna również przekraczać pewnej wielkości, pozostając w określonym stosunku do pojemności zbiornika. Mając zwykle do czynienia ze współczynnikami oddechowym, nie przekraczającym jednostki, i posługując się dla pochłaniania  $\text{CO}_2$  0.0895 n, roztworem  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , którego  $1 \text{ cm}^3$  jest w stanie pochłonać  $1 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$ , obliczamy, że pojemność kolbki nie powinna być większa od jednej piątej części pojemności zbiornika: w naszym przyrządzie wynosiła ona  $60\text{--}70 \text{ cm}^3$ .

Dokładność mierzenia objętości gazów, biorących udział w wymianie, powinna być odpowiednio wysoka: błąd nie powinien przekraczać 2% mierzonej objętości, która w naszych doświadczeniach wynosiła przeciętnie około  $12 \text{ cm}^3$  gazu. Stąd błąd bezwzględny pomiaru powinien być mniejszy niż  $0.24 \text{ cm}^3$ .

Ażeby wymagań temu uczynić zadość, należy przestrzegać pewne ostrożności, mające na celu ominięcie całego szeregu źródeł błęd, których rozpatrzenie szczegółowe podajemy poniżej.

1<sup>o</sup>. Wpływ najmniejszy na ścisłość pomiarów wywiera błąd w wyznaczeniu pojemności przyrządu. W zwykłych warunkach doświadczenia (pojemność około  $300 \text{ cm}^3$ , temperatura  $25^\circ$  i normalne ciśnienie atmosferyczne), nieścisłość, wynosząca około  $1 \text{ cm}^3$  pojemności, pociąga za sobą błąd równy zaledwie  $0.02 \text{ cm}^3$ . Ponieważ zaś pojemność przy-

rzędu można z łatwością określić z dokładnością do  $0.1 \text{ cm}^3$ , błąd zatem powyższy zmniejszy się dziesięciokrotnie. Z tego też względu objętość, którą zajmuje zwierzę w przyrządzie, można uważać za równą jego masie.

2°. Wpływ znacznie większy na wynik pomiaru wywierają błędy w odczytaniu temperatury, ciśnienia barometrycznego i ciśnienia w manometrze. W zwykłych (wspomnianych powyżej) warunkach doświadczenia błąd w odczytaniu temperatury, wynoszący  $0.05^\circ$ , pociąga za sobą błąd w wyznaczeniu objętości powietrza w przyrządzie, wynoszący  $0.07 \text{ cm}^3$ ; z tego względu na dokładność w odczytaniu temperatury baczna należy zwracać uwagę. Niedokładność zaś w wyznaczeniu ciśnienia bądź barometrycznego, bądź manometrycznego, wynosząca  $0.1 \text{ mm}$ . powoduje błąd, równy  $0.04 \text{ cm}^3$ . Największy więc błąd, przewidziany w razie przypadkowego zsumowania się błędów pojedynczych może wynieść powyżej  $\pm 0.15 \text{ cm}^3$ .

Ścisłość empiryczna jest oczywista wypadkową błędów poszczególnych. Z dwunastu kolejno po sobie wykonanych seryj odczytań temperatury, ciśnienia manometrycznego i barometrycznego — przy niezmiennej normalnej objętości powietrza w przyrządzie, równej  $281.42 \text{ cm}^3$  — wynika, że największy błąd rzeczywisty w oznaczeniu objętości powietrza  $= \frac{+0.08}{-0.07} \text{ cm}^3$ , zaś błąd średni  $= \pm 0.05 \text{ cm}^3$ .

3°. Znaczna nieściśłość wynika bądź wskutek niezupełnego wyrównania się temperatury powietrza w przyrządzie z temperaturą wody, bądź też — z powodu niedostatecznego nasycenia parą wodną. Błąd ten może być uniknięty w zupełności, jeżeli się ustali czas najmniejszy, potrzebny dla zupełnego nasycenia się powietrza parą wodną i dla dojścia do równowagi cieplnej z kąpielą wodną, zwłaszcza — na początku doświadczenia, od chwili zanurzenia przyrządu w wodzie.

Próby w tym kierunku były prowadzone w ten sposób, że po zamknięciu w przyrządzie zupełnie suchego powietrza w zębknięciu z paskiem bibuły, zwilżonej wodą i po przeniesieniu przyrządu z temperatury pokojowej do wody ogrzanej do  $25^\circ$ , odczytywano w krótkich odstępach czasu stan manometru i ba-

rometru. Ustalenie się ciśnienia, pod którym znajduje się powietrze w przyrządzie, jest momentem ustalenia temperatury powietrza i nasycenia parą wodną.

Z kilku moich doświadczeń, prowadzonych w sposób powyższy, wynika, że po upływie trzydziestu minut następuje kompletne ustalenie się ciśnienia. Wskazuje to na to, że przyrząd może być zamknięty dopiero po upływie przynajmniej trzydziestu minut od chwili zanurzenia go w wodzie.

4°. Woda barowa w stężeniu, stosowanem w doświadczeniach (0.0895 n.), szybko i dokładnie pochłania dwutlenek węgla. Dokładność pochłonięcia całkowitej ilości dwutlenku węglowego, wyprodukowanego przez zwierzęta w czasie doświadczenia, zależy od jego ilości i od szybkości i czasu trwania przepływu powietrza przez naczynie absorbcyjne.

Dla określenia czasu najmniejszego, w ciągu którego winno trwać krążenie powietrza w przyrządzie — celem możliwie dokładnego pochłonięcia CO<sub>2</sub>, zostały przeprowadzone trzy doświadczenia, w których po przerwaniu krążenia brano próbki powietrza z przyrządu i analizowano je na zawartość CO<sub>2</sub>, niepochłoniętego przez wodę barową:

Nr doświadczenia	Czas trwania pochłaniania h	Ilość CO <sub>2</sub> pochłoniętego przez wodę barową cm <sup>3</sup>	Objętość normalna powietrza cm <sup>3</sup>	Zawartość CO <sub>2</sub> %	Bezwzględna ilość niepochłoniętego CO <sub>2</sub> cm <sup>3</sup>
1	1.75	10.69	277.35	0.07	0.19
2	2.00	16.89	267.79	0.09	0.24
3	2.75	10.38	279.11	0.05	0.14

Z liczb tablicy powyższej wynika, że po działaniu pompki w ciągu dwu godzin pozostaje w powietrzu jeszcze około 0.2 cm<sup>3</sup> niepochłoniętego CO<sub>2</sub>. Błąd ten kompensuje się jednak prawie całkowicie tą ilością CO<sub>2</sub>, która została wyprodukowana

przez zwierzęta w ciągu pół godziny, poprzedzającej zamknięcie przyrządu na początku doświadczenia.

5<sup>o</sup>. Błąd w miareczkowym wyznaczeniu dwutlenku węglowego, który został pochłonięty przez wodę barową, wobec możliwości wykonania przynajmniej trzech równoległych miareczkowań (biorąc każdorazowo do analizy po 10 cm<sup>3</sup>), oceniam, jako nie przekraczający 0.1 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>.

Powyżej zostały omówione główne źródła błędu. Z zestawienia rozważań tych wynika, że przy zachowaniu całego szeregu ostrożności i przy odpowiednio ścisłym wykonaniu pomiarów poszczególnych, największy błąd prawdopodobny nie powinien przekraczać 0.15 cm<sup>3</sup>, co stanowi przeciętnie około 1.5% ilości gazów, które zwykle są wyznaczane w doświadczeniu.

### Zastosowania.

Możność rozpoczęcia i ukończenia pochłaniania CO<sub>2</sub> w chwili dowolnej stanowi jedną z najdogodniejszych właściwości przyrządu. Dzięki temu przyrząd ten może znaleźć zastosowanie wielorakie, umożliwia bowiem w zależności od specjalnych celów badawczych odpowiednie wyzyskanie swej konstrukcji.

Dla zdania sobie sprawy z możliwych kombinacji doświadczalnych, przytaczam poniżej opis czterech najprostszyc typów doświadczeń, które z pomocą przyrządu opisanego mogą być wykonane.

I-szy typ doświadczeń — najprostszyc, może być stosowany wtedy, gdy chodzi o szybkie, aczkolwiek mniej dokładne przeprowadzenie szeregu następujących po sobie doświadczeń. Składniki wymiany gazowej—tlen i dwutlenek węglowy, są wyznaczane li tylko z różnicy normalnej objętości gazu w przyrządzie. Objętość normalną gazu ( $B=760$ ,  $t=0^{\circ}$  i stan suchy) wylicza się z odczytań temperatury, ciśnienia barometrycznego i manometrycznego, wykonywanych w czasie doświadczenia trzykrotnie, mianowicie: po zamknięciu przyrządu, przed i po pochłonięciu dwutlenku węglowego.

Ilość pochłoniętego przez zwierzęta tlenu wylicza się z różnicy między objętością gazu na początku doświadczenia, a objętością jego w końcu, po dokładnem usunięciu CO<sub>2</sub>. Dwutlenek

węglowy oblicza się z różnicy objętości gazu przed i po pochłonięciu go, wprowadzając jednak następnie poprawkę, uwzględniającą czas trwania pochłaniania. Poprawkę powyższą wylicza się według wzoru, do którego dochodzimy z rozważań następujących.

Przypuśćmy, że  $V$  jest to wyrażona w centymetrach normalnych objętość gazu w przyrządzie na początku doświadczenia,  $V_{z_1}$  — objętość po upływie  $z_1$  godzin od początku doświadczenia, przed samem rozpoczęciem pochłaniania  $\text{CO}_2$ , zaś  $V_{z_2}$  — objętość po usunięciu  $\text{CO}_2$ , w czasie  $z_2$  od początku doświadczenia. Wtedy ilość centymetrów sześciennych tlenu, zużyta przez zwierzęta w czasie  $z_2$ , jest równa

$$O_2^{(z_2)} = V - V_{z_2}. \quad (1)$$

Dla wyliczenia  $\text{CO}_2$ , wyprodukowanego w tymże czasie, posługujemy się wartością  $V_{z_1}$ , wychodząc z założenia, że zmiana objętości gazu w przestrzeni zamkniętej, w której znajdują się zwierzęta, jest wypadkową dwu zmian: przyrostu dwutlenku węglowego, wydzielonego przez zwierzęta w czasie  $z_1$  ( $\text{CO}_2^{(z_1)}$ ), i ubytku tlenu, zużytego w tymże czasie ( $O_2^{(z_1)}$ ):

$$V_{z_1} = V + \text{CO}_2^{(z_1)} - O_2^{(z_1)},$$

Skąd

$$\text{CO}_2^{(z_1)} = V_{z_1} - V + O_2^{(z_1)} \quad (2)$$

W równaniu tem wartość  $O_2^{(z_1)}$ , t. j. ubytek tlenu w chwili  $z_1$ , poprzedzającej rozpoczęcie pochłaniania  $\text{CO}_2$ , jest niewiadoma, wyliczamy ją posługując się równaniem, wyrażającym ubytek tlenu w czasie  $z_1$ :

$$O_2^{(z_1)} = (V - V_{z_2}) \frac{z_1}{z_2}.$$

Produkcję zatem dwutlenku węglowego w czasie  $z_1$ , można obliczyć według równania:

$$\text{CO}_2^{(z_1)} = V_{z_1} - V + (V - V_{z_2}) \frac{z_1}{z_2}$$

zaś produkcja  $\text{CO}_2$  w czasie trwania całego doświadczenia ( $z_2$ ) będzie się równała:

$$\text{CO}_2^{(z_2)} = \left[ V_{z_1} - V + (V - V_{z_2}) \frac{z_1}{z_2} \right] \frac{z_2}{z_1}.$$

Stąd dochodzimy do wzoru uproszczonego

$$\text{CO}_2^{(z_2)} = V - V_{z_2} + (V_{z_1} - V) \frac{z_2}{z_1}$$

lub

$$\text{CO}_2^{(z_2)} = O_2^{(z_2)} + (V_{z_1} - V) \frac{z_2}{z_1}. \quad (3)$$

Czyli, że ilość zjawiającego się w czasie doświadczenia  $\text{CO}_2$ , jest równa objętości pobranego tlenu, zwiększonej o różnicę objętości powietrza w przyrządzie, jaka wystąpiłaby w końcu doświadczenia w porównaniu z objętością początkową, gdyby dwutlenek węglowy nie został usunięty z powietrza. Według tego wzoru (3), przewidującego współczynniki oddechowe zarówno mniejsze jak i większe od jednostki, zostały obliczone ilości  $\text{CO}_2$  we wszystkich niżej podanych doświadczeniach.

Jako przykład doświadczeń pierwszego typu, przytaczam następujące, przeprowadzone na dwu karaczanach:

Pojemność całego przyrządu oddechowego wynosiła  $424.28 \text{ cm}^3$ ; objętość wody barowej =  $55 \text{ cm}^3$ ; objętość (= waga) dwu karaczanów =  $1.21 \text{ cm}^3$ . Stąd pojemność części przyrządu, wypełnionej powietrzem =  $367.57 \text{ cm}^3$ .

Przyrząd zanurzono w wodzie dn. 4/X g. 2<sup>30</sup> pp.; w ciągu 15 minut przepuszczano przez zbiornik silny prąd powietrza, pozbawionego  $\text{CO}_2$ ; następnie czekano do zupełnego nasycenia się parą wodną i wyrównania się temperatury powietrza w przyrządzie minut trzydzieści, poczem o g. 3<sup>15</sup> pp. doprowadzono poziom rtęci w pompce do zera i zamknięto zewnętrzne krany zbiornika i krany, łączące zbiornik z naczyniem absorbcyjnym. Temperatura wody, barometr i manometr wykazywały stan następujący:

$$\begin{aligned} t &= 25.0^\circ \\ B &= 752.8 \text{ mm.} \\ m &= 0 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Stąd obliczona normalna objętość powietrza

$$V = 323.04 \text{ cm}^3.$$



Dn. 5/X g. 12<sup>15</sup> pp. rozpoczęto pochłanianie CO<sub>2</sub>, puszczać w ruch pompkę rtęciową po uprzednim ustaleniu komunikacji między zbiornikiem a naczyniem absorbcyjnym. Przed rozpoczęciem pochłaniania

$$\begin{aligned}t &= 25.0^{\circ} \\ B &= 756.2 \text{ mm.} \\ m &= -2.4 \text{ mm.} \\ \text{stąd } V_{z_1} &= 323.49 \text{ cm}^3.\end{aligned}$$

Krążenie powietrza i pozbowanie go CO<sub>2</sub> trwało do g. 1<sup>45</sup> pp. W tym czasie

$$\begin{aligned}t &= 25.0^{\circ} \\ B &= 756.1 \text{ mm.} \\ m &= -32.6 \text{ mm.} \\ \text{skąd } V_{z_2} &= 310.07 \text{ cm}^3.\end{aligned}$$

Z danych powyższych wyliczamy ilość pobranego przez karaczany tlenu przez cały czas doświadczenia ( $z_2$ ), trwającego 22.5 godzin:

$$O_2^{(z_2)} = 323.04 - 310.07 = 12.97 \text{ cm}^3,$$

zaś ilość dwutlenku węgłowego, wydzielonego przez karaczany w tymże czasie, będzie równa:

$$CO_2^{(z_2)} = 12.97 + (323.49 - 323.04) \frac{22.5}{21.0} = 13.45 \text{ cm}^3.$$

Współczynnik oddechowy:

$$RQ = \frac{13.45}{12.97} = 1.037.$$

II-gi typ doświadczeń, w których przez cały czas doświadczenia odbywa się pochłanianie CO<sub>2</sub>. Odczytywanie co pewien czas — po zatrzymaniu pompki i po doprowadzeniu w niej rtęci do zera — temperatury i stanu barometru i manometru umożliwia wyznaczenie ilości tlenu, pobieranego przez zwierzęta w krótkich odstępach czasu. Ilość wyprodukowanego przez cały czas doświadczenia dwutlenku węgłowego określa się przez wyznaczenie zasadowości wody barowej na początku i w końcu doświadczenia, miareczkując ją kwasem solnym mianowanym. Tego rodzaju doświadczenie oddechowe stosuje się w tym przypadku, jeśli chodzi o zbadanie bezpośredniej reakcji oksydacyjnej zwierzęcia na działanie jakiegoś czynnika eksperymentalnego. Przez porównanie sumarycznej ilości O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> zyskuje się określenie

charakteru spalań (RQ), jaki zwierzęta ujawniły w czasie całego doświadczenia.

III-ci typ. W doświadczeniach tego typu tlen wyznacza się, podobnie jak w pierwszych dwóch typach doświadczeń, z różnicy normalnej objętości powietrza na początku doświadczenia i po pochłonięciu dwutlenku węglowego, zaś dwutlenek węglowy — dwiema metodami: 1<sup>o</sup> z różnicy objętości powietrza przed i po zaabsorbowaniu CO<sub>2</sub>, po wprowadzeniu poprawki dla czasu trwania pochłaniania, i 2<sup>o</sup> drogą wyznaczenia CO<sub>2</sub>, pochłoniętego w kolbce absorbcyjnej, na podstawie określenia różnicy miana wody barowej.

Przytaczam poniżej jako przykład doświadczenie, przeprowadzone na 12-tu larwach mącznika (*Tenebrio molitor*).

Pojemność gazowa przyrządu (po uwzględnieniu objętości wody barowej i objętości zwierząt) wynosiła 367.15 cm<sup>3</sup>. Po przepędzeniu przez zbiornik powietrza czystego i, następnie, po upływie 30 minut, przyrząd zamknięto dn. 18/IV g. 3<sup>30</sup> pp.

$$\left. \begin{array}{l} t = 24.7^{\circ} \\ B = 745.4 \text{ mm.} \\ m = 0 \text{ mm.} \end{array} \right\} V = 319.94 \text{ cm}^3.$$

Pochłanianie dwutlenku węglowego rozpoczęło dnia następnego, 19/IV g. 11<sup>50</sup> rano. W tym czasie

$$\left. \begin{array}{l} t = 24.1^{\circ} \\ B = 750.5 \text{ mm.} \\ m = -14.0 \text{ mm.} \end{array} \right\} V_{z_1} = 317.14 \text{ cm}^3$$

Ukończono pochłanianie tegoż dnia o g. 1<sup>30</sup> pp. Stan temperatury, manometru i barometru był następujący:

$$\left. \begin{array}{l} t = 24.0^{\circ} \\ B = 750.8 \text{ mm.} \\ m = -33.8 \text{ mm.} \end{array} \right\} V_{z_2} = 308.48 \text{ cm}^3.$$

Z powyższych objętości normalnych powietrza na początku doświadczenia i po upływie czasu  $z_1 = 20.3$  i  $z_2 = 22.0$  obliczamy

$$O_2^{(z_2)} = 319.94 - 308.48 = 11.46 \text{ cm}^3.$$

$$CO_2^{(z_2)} = 11.46 + (317.14 - 319.94) \frac{22.0}{20.3} = 8.25 \text{ cm}^3.$$

Znając miano i objętość roztworu  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  w kolbce absorbcyjnej na początku doświadczenia i miareczkując go kwasem solnym w końcu doświadczenia, wyliczamy z różnicy miana ( $= 8.17 \text{ cm}^3 \cdot 0.0895 \text{ n.}$ ) ilość pochłoniętego przez wodę barową dwutlenku węglowego, jako równą  $8.17 \text{ cm}^3$ .

Dwoma różnymi drogami otrzymano zatem dla  $\text{CO}_2$ , wyprodukowanego przez mączniki w czasie doświadczenia, następujące wartości:

$$\text{CO}_2^{(z_2)} \text{ (z różnicy objętości powietrza)} = 8.25 \text{ cm}^3$$

$$\text{CO}_2^{(z_2)} \text{ (z analizy wody barowej)} = 8.17 \text{ „}$$

$$\text{Przeciętnie} = 8.21 \text{ cm}^3.$$

$$\text{RQ} = \frac{8.21}{11.46} = 0.716.$$

Ten typ doświadczenia oddechowego, dzięki zastosowaniu dwu odmiennych metod — analizy miareczkowej jako kontroli pomiaru objętościowego — daje możliwość ścisłego wyznaczenia  $\text{CO}_2$ , które biorąc na ogół jest mniej ścisłe niż wyznaczenie  $\text{O}_2$ . Zbieżność dwu liczb, osiągniętych różnymi metodami, daje probierz dokładności przeprowadzonego doświadczenia i pewność, że oba składniki wymiany gazowej zostały wyznaczone z pożądanym stopniem dokładności. Takiego rodzaju kontrola pozwala doświadczenia oceniać i wyłączać te z nich, które są „złe“, t. j. takie, do których wkradł się większy błąd metodyczny.

IV -ty typ doświadczeń. Zarówno  $\text{O}_2$  jak  $\text{CO}_2$  są wyznaczone każdy dwiema metodami. Tlen: 1° z pomocą analizy gazowej powietrza na początku doświadczenia i po pochłonięciu dwutlenku węglowego, obliczając z danych procentowych bezwzględny ubytek tlenu w powietrzu; 2° z różnicy normalnej objętości powietrza w przyrządzie na początku doświadczenia i w końcu, po pochłonięciu dwutlenku węglowego. Dwutlenek węglowy jest wyznaczany również dwiema metodami, stosowanymi już w drugim typie doświadczeń: 1° z różnicy objętości powietrza przed i po pochłonięciu  $\text{CO}_2$ , po wprowadzeniu poprawki dla czasu trwania pochłaniania; 2° wyznaczając drogą analizy miareczkowej ilość  $\text{CO}_2$ , pochłoniętego przez wodę barową.

Jako przykład tego najbardziej złożonego typu podaję następujące doświadczenie, przeprowadzone na 12-tu larwach mącznika (*Tenebrio molitor*).

Pojemność gazowa przyrządu = 329.77 cm<sup>3</sup>. Przyrząd został zamknięty, po wypełnieniu zwykłych zabiegów (p. poprzednie doświadczenia), dn. 16/II g. 2<sup>25</sup> pp. Odczytane wartości t, B i m były następujące:

$$\begin{aligned} \text{Po zamknięciu przyrządu} & \left[ \begin{array}{l} t = 25.1^0 \\ B = 740.2 \text{ mm.} \\ m = 0 \text{ mm} \end{array} \right] V = 284.68 \text{ cm}^3 \\ \\ z_1 = 21.8 & \left[ \begin{array}{l} t = 25.1^0 \\ B = 735.1 \text{ mm.} \\ m = -5.3 \text{ mm.} \end{array} \right] V_{z_1} = 280.54 \text{ cm}^3 \\ \\ z_2 = 23.8 & \left[ \begin{array}{l} t = 25.1^0 \\ B = 734.9 \text{ mm.} \\ m = -37.2 \text{ mm.} \end{array} \right] V_{z_2} = 267.79 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Analiza gazowa powietrza, zawartego w przyrządzie, wykonana na początku doświadczenia i po pochłonięciu CO<sub>2</sub>, dała następujące wyniki:

Na początku:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 0\% \\ \text{O}_2 &= 20.70\% \\ \text{N}_2 &= 79.30\% \end{aligned}$$

W końcu:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 0.09\% \\ \text{O}_2 &= 15.72\% \\ \text{N}_2 &= 84.19\% \end{aligned}$$

Stąd obliczamy ubytek tlenu, wyznaczony dwiema metodami:

1<sup>o</sup>. Z różnicy normalnej objętości powietrza w przyrządzie:

$$\text{O}_2^{(z_2)} = 284.68 - 267.79 = 16.89 \text{ cm}^3.$$

2<sup>o</sup>. Z danych analizy gazowej

$$\text{O}_2^{(z_2)} = \frac{284.68 \times 20.70 - 267.79 \times 15.72}{100} = 16.83 \text{ cm}^3$$

$$\text{Przeciętnie} = 16.86 \text{ cm}^3 \text{ O}_2.$$

Wyznaczone zaś również dwiema metodami ilości dwutlenku węgłowego wynosify:

1<sup>o</sup>. Z różnicy objętości powietrza w przyrządzie:

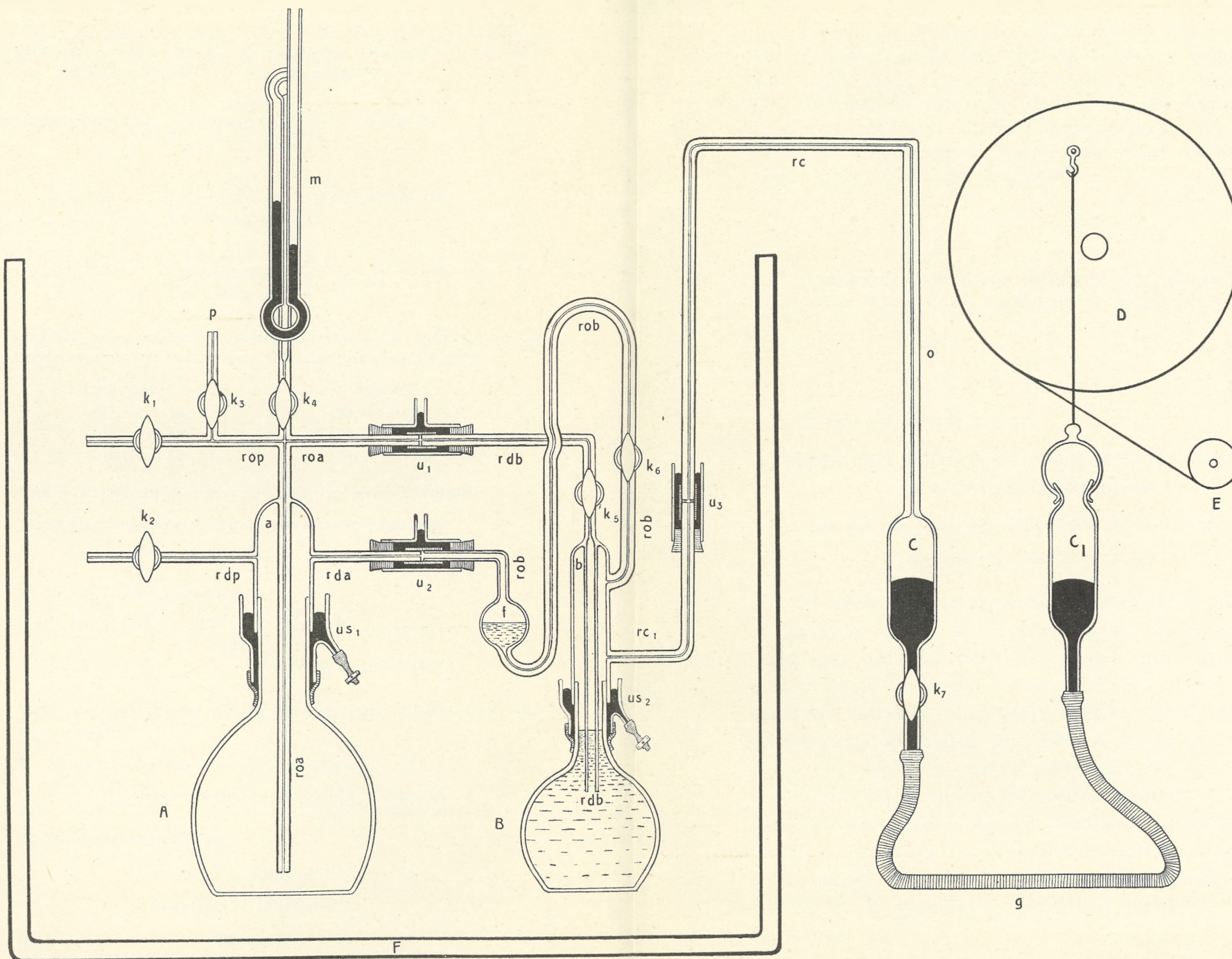
$$\text{CO}_2^{(z_2)} = 16.89 + (280.54 - 284.68) \frac{23.8}{21.8} = 12.37 \text{ cm}^3$$

2<sup>o</sup>. Z analizy wody barowej;

$$\text{CO}_2^{(z_2)} = 12.19 \text{ cm}^3$$

$$\text{Przeciętnie} = 12.28 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2.$$

$$\text{RQ} = 0.728.$$



K. Białaszewicz: Przyrząd do badania wymiany gazowej.

St. Glass pinx.

Typ powyższy doświadczeń oddechowych należy do najbardziej skomplikowanych, lecz, bez wątpienia, i do najściślejszych, jakie wogóle mogą być wykonane z pomocą przyrządu opisanego. Doświadczenia typu powyższego stosuje się w tych wyjątkowo przypadkach, jeśli chodzi o rozstrzygnięcie, czy inny gaz, prócz tlenu i dwutlenku węgłowego, nie bierze udziału w wymianie materji badanego zwierzęcia.

---

Poczuwam się do miłego obowiązku podziękowania p. Stanisławowi Glassowi za wykonanie rysunku przyrządu.

---

RÉSUMÉ.

K. Białaszewicz:

**Appareil d'analyse respiratoire pour les animaux inférieurs.**

Du Laboratoire de Physiologie de la Societé des Sciences de Varsovie.

Communication annoncée le 20. IX. 1916.

La construction de l'appareil est basée sur le principe que les animaux soumis à l'expérimentation séjournent pendant l'expérience dans des récipients en verre hermétiquement fermés, contenant une quantité d'air exactement mesuré; le liquide absorbant l'anhydride carbonique se trouve en dehors du récipient principal renfermant l'air: grâce à cela on peut à l'instant voulu commencer ou rompre l'absorbition du CO<sub>2</sub>. On calcule les quantités d'oxygène et d'anhydride carbonique, intervenant dans l'échange gazeux, d'après le changement du volume normal de l'air qui se trouve dans l'appareil; la mesure supplémentaire de la quantité de CO<sub>2</sub> du liquide absorbant nous donne le contrôle de la quantité de CO<sub>2</sub> trouvé d'après le changement du volume.

L'appareil se compose de trois récipients en verre parfaitement ajustés: récipient à air (A), récipient à absorption de  $\text{CO}_2$  (B) et d'une pompe pneumatique à mercure ( $\text{CC}_1$ ), mise en mouvement par l'intermédiaire d'une roue (D) relié à un moteur (E). L'action de la pompe consiste à imprimer au mercure qui se trouve dans les deux récipients unis ( $\text{CC}_1$ ), un mouvement rythmique de soulèvement et d'abaissement, ce qui détermine la pénétration et la soustraction alternative de l'air du récipient absorbant. Ainsi, grâce à l'existence d'un système de tubes lesquels unissent le récipient absorbant avec le récipient à l'air, il y a un mouvement continu de l'air seulement dans une direction déterminée, c. à d. par le tube du récipient à air (*roa*) au récipient absorbant (*rdb*), et par le tube *rob* et *rda* dans le sens contraire.

La circulation de l'air dans l'appareil a pour but la soustraction d'anhydride carbonique de l'air et cela pendant que l'air passe en petites bulles à travers le récipient avec le liquide absorbant.

La grandeur de l'appareil peut être bien variée; l'appareil dont je me suis servi pour mes propres recherches avait une capacité de  $300 \text{ cm}^3$  environ.

Il ressort de mes expériences sur la respiration que l'exactitude des mesures, prises avec toutes précautions possibles, oscille dans les limites 1 — 2% de quantité de gaz mesuré. Cet appareil, grâce à ce qu'on peut à l'instant voulu commencer ou rompre l'absorption du  $\text{CO}_2$ , facilite l'exécution des différentes combinaisons expérimentales dont les principaux types sont décrits en détails dans le texte polonais.

---





