

Polskie Towarzystwo Przyrodników
im. KOPERNIKA

KOSMOS

Seria B
PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK I

ZESZYT 2

WARSZAWA 1955

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

POLSKIE TOWARZYSTWO PRZYRODNIKÓW
Im. KOPERNIKA

K O S M O S

Seria B: PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK I

WARSZAWA 1955

ZESZYT 2

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

Redaktor Naczelny
LEOPOLD INFELD

Zastępca Red. Naczelnego
KAZIMIERZ MASŁANKIEWICZ

Członek Komitetu Redakcyjnego
JÓZEF HURWIC

Sekretarz Redakcji
WŁODZIMIERZ KOŁOS

Adres Redakcji: Warszawa, ul. Hoża 69

PANSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — DZIAŁ CZASOPISM
Warszawa, Krakowskie Przedmieście 79

Nakład 1610 + 118	Oddano do składania 4.II.55	
Ark. wyd. 7,44, ark. druk. 5,5	Podpisano do druku 24.V.55	
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g 70 x 100/16	Druk ukończono w maju 1955	
Cena zł 9.—	Zam. 42	B-6-1485

Stł. Drukarnia Naukowa, Warszawa, Sniadeckich 8

Hugo Steinhaus

ZAGADNIENIE NIEODWRACALNOŚCI *

„Może się wydawać zuchwalstwem, gdy ktoś próbuje wysuwać nowe argumenty co do kwestii, w której przeszło lat 80 trwała namiętna kontrowersja, przy czym najznakomitsi fizycy i matematycy stawali po różnych stronach lub popierali przeciwne rozwiązania — Boltzmann, Loschmidt, Zermelo, H. Poincaré, Ehrenfest, Einstein, J. von Neumann, Max Born..., że wymienię tylko tych, którzy przychodzą mi od razu na myśl. Ale, według mnie, zarówno w tym przypadku, jak i w kilku innych „nowa doktryna“, która pojawiła się w roku 1925/6, raczej zaciemniła niż oświeciła umysły....“ Tak pisze Erwin S c h r ö d i n g e r w rozprawie *Irreversibility* (Proceedings of the Royal Irish Academy, vol. 53, section A, pp. 189—195, Dublin 1950), w której sam proponuje pewien nowy sposób uratowania zasady nieodwracalności — „nowa doktryna“ to teoria kwantów: S c h r ö d i n g e r występuje tu przeciw B o r n o w i, który od tej teorii oczekuje ocalenia spornej zasady (Max B o r n, *Natural Philosophy of Cause and Chance*, Oxford 1949).

Autor niniejszego referatu cytuje S c h r ö d i n g e r a na dowód, że wciąż jeszcze zagadnienie nieodwracalności można uważać za aktualne, i to nawet na tle starej fizyki, to jest fizyki sprzed odkrycia kwantów, bo S c h r ö d i n g e r na tym właśnie klasycznym gruncie chce bronić zasady nieodwracalności.

Gdy J. C. M a x w e l l i L. B o l t z m a n n stworzyli kinetyczną teorię gazowego stanu materii, może nie zdawali sobie sprawy z tego, jak drogo okupili postęp w tłumaczeniu zjawisk termodynamicznych. Postępem nazywam tu zburzenie muru dzielącego termodynamikę od mechaniki klasycznej: spełniło się stare marzenie atomistów, żeby sprowadzić zjawiska w materii kontynualnej do gry cząstek wyobrażonych jako doskonale elastyczne, miniaturowe piłeczki, podlegające prawom tej mechaniki, którą Francuzi XVIII wieku nazywali racjonalną, aby podkreślić zgodność jej praw z rozsądnym rozumowaniem. Ale drogim okupem nazywam natychmiastową rezygnację z fantastycznego projektu L a p l a c e'a, żeby przewidywać przyszłe stany świata z obecnego stanu przez całkowanie układów równań różniczkowych ruchu, tak jak to czynią astronomowie przepowiadający przyszłe położenia planet. Rezygnacja wydawała się konieczna, bo liczba drobin w jednym litrze powietrza (pod ciśnieniem 1 atm. i w temperaturze 0°) jest taka wielka, że samo napisanie równań opisujących zachowanie się powietrza w litrowym naczy-

* Referat wygłoszony na konferencji fizyków w Spale we wrześniu 1954 r. Niniejszy tekst jest rozszerzony o odpowiedzi autora na kwestie i zarzuty postawione podczas dyskusji.

niu, wymagałoby całych jezior atramentu. Twórcy teorii kinetycznej poszli inną drogą: rozszerzyli zakres statystyki, która dotąd stosowała rachunek prawdopodobieństwa do opisu zjawisk masowych w populacjach ludzkich, obejmując nim populacje złożone z molekuł. Tym sposobem kinetyczna teoria materii sprowadziła termodynamikę do mechaniki, ale nie do mechaniki racjonalnej. Mimo to nikt nie podniósł wtedy zarzutu indeterminizmu przeciw teorii kinetycznej. Ponieważ jednak za czasów *Maxwella* i *Boltzmann*a, a nawet za życia *Smoluchowskiego*, brak było rachunkowi prawdopodobieństwa mocnych fundamentów (które położono dopiero po I wojnie światowej), więc nieporozumienia i sprzeczności nie dały długo na siebie czekać.

W termodynamice fenomenologicznej odgrywa ważną rolę zasada wzrostu entropii z czasem. Jest ona uogólnieniem i ścisłym wyrazem takich obserwacji szczegółowych, jak np. ta, że ciało chłodniejsze nie może udzielić ciepła cieplejszemu, lub ta, że po przebicciu otworu w przegrodzie oddzielającej połowę naczynia wypełnioną powietrzem od połowy pustej następuje wyrównanie ciśnień w obu połowach. *E. Zermelo* zarzucił tej zasadzie niezgodność z tak zwanym twierdzeniem quasiergodycznym, które pierwszy wygłosił *H. Poincaré*, a udowodnił poprawnie *C. Carathéodory*, posługując się teorią miary *Lebesgue'a*. Orzeka ono, że izolowane układy mechaniczne muszą — po dostatecznie długim czasie — zbliżyć się dowolnie do stanu początkowego, a tylko wyjątkowe stany początkowe nie mają tej własności. *Loschmidt* zauważył, że każdemu układowi mechanicznemu można przyporządkować drugi, którego ruch pokazuje film zdjęty z pierwszego układu, gdy nawiniemy taśmę przeciwnie; to, co zobaczymy na ekranie, jest też zgodne z prawami mechaniki — jak wytłumaczyć wobec tego zasadę wzrostu entropii, która przecież pozwala rozstrzygnąć, czy taśma została założona prawidłowo, czy nie?

Niełatwo dziś odnaleźć w pismach *Boltzmann*a lub *Smoluchowskiego* argumenty, którymi zbijali zarzuty *Loschmidta* i *Zermeli*; prof. *Weyssenhoff* jest zdania, że *Boltzmann* niezupełnie zdawał sobie sprawę z sytuacji, że jednak *Smoluchowski* nigdy nie zaangażował się po stronie naiwnych zwolenników zasady nieodwracalności.

Jak godzili uczeni owej epoki twierdzenie o wzroście entropii z prawami klasycznej mechaniki, której obce jest odróżnienie czasu płynącego „wprzód” od czasu płynącego „wstecz”? Nie umiem odpowiedzieć na to pytanie kategorycznie, jednak wolno przypuszczać, że pojęcie tak zwanego chaosu było — może niezupełnie świadomie — uważane za deskę ratunku. Uważano wtedy, że warunkiem stosowania rachunku prawdopodobieństwa do ruchu molekuł jest chaotyczność tego ruchu — z drugiej strony olbrzymia liczba molekuł i znaczna ich prędkość oraz zderzenia właśnie stwarzają ów pożądany chaos; wtedy jakoś tak się dzieje, że prawa mechaniki klasycznej — ważne dla każdej molekuley z osobna — tracą ważność dla *kolektywu*, a o jego zachowaniu decydują prawa statystyczne, które wprawdzie niczego nie orzekają o indywidualnych drobinach, ale mówią o zachowaniu się różnych wielkości średnich, jak ciśnienie na ściany naczynia, temperatura gazu itd.

Wiare, że to pobożne życzenie pogodzenia mechaniki ze statystyką

zostanie wysłuchane przez naturę, ułatwiała ówczesna nieokreśloność pojęcia „praw statystycznych“.

Przestudiumy grę przypadku na modelu S c h r ö d i n g e r a, który jako doskonały chwyt dydaktyczny powinien wejść do zbioru rekwizytów szkolnych. Wyobraźmy sobie, że w lewej połowie zamkniętego naczynia jest sto jednakowych kulek numerowanych od 1 do 100 i że poruszają się one chaotycznie; w przegrodzie, która jest płaszczyzną symetrii naczynia i oddziela lewą połowę od prawej, jest otwór, przez który mogą się przemieszczać kulki, ale nigdy więcej niż jedna na raz.

Tak zwane „koło szczęścia“ ma 100 jednakowych wycinków numerowanych od 1 do 100. Wyobraźmy sobie, że kulki słuchają praw przypadku i że właśnie „koło szczęścia“ jest ich prawodawcą; co chwila puszcza je w ruch, a gdy stanie na numerze n -tym, to kulka nr n przeskakuje przez otwór z tej połowy, w której się znajduje, do drugiej. Jeżeli więc pierwszy numer wskazany przez koło jest np. 17, to kulka nr 17 przeskoczy z lewej połowy do prawej, jeżeli jednak drugie losowanie dało 39, to drugi przeskok przerzuci kulkę nr 39 z lewej do prawej połowy. W podręczniku fizyki teoretycznej C l. S c h a e f e r a można znaleźć diagram, który pokazuje bieg eksperymentu wykonanego według przepisu tu podanego: oś czasu jest pozioma, a kolejne przeskoki następują po sobie co jednostkę czasu, pionowo odcinamy ilość kulek znajdujących się w lewej połowie w danym momencie. Na diagramie widać wyraźnie, jak początkowa setka maleje, z początku szybko, w miarę jak stan zbliża się do 50 coraz wolniej, a później stan liczbowy lewej połowy (a zatem i prawej) oscyluje nieznacznie koło liczby 50. Oto szkolne doświadczenie, które sprawdza a zarazem i tłumaczy zasadę wzrostu entropii na modelu izolowanym, bo o takich mamy mówić w niniejszym referacie.

Przyjrzyjmy się bliżej tej pięknej zabawce. Gdy w lewej połowie jest już tylko 70 kulek a zatem w prawej 30, prawdopodobieństwo, że koło wskaże numer jednej z kulek znajdujących się w lewej połowie, jest $70/100$, że wskaże numer jednej z prawych kulek, jest $30/100$. Tak więc prawdopodobieństwo p , że po stanie $70 : 30$ nastąpi stan $69 : 31$ jest $70/100$, a że nastąpi $71 : 29$, jest $30/100$, a więc znacznie mniejsze. Oto uzasadnienie wzrostu entropii. Ale to uzasadnienie jest błędne. Błędne dlatego, że do zaobserwowania zjawiska $70 \rightarrow 69$ trzeba, żeby było naprzód 70 kulek po lewej stronie a potem 69. Trzeba zatem zaobserwować stan $70 : 30$ a potem przeskoczyć do stanu $69 : 31$. Wobec równouprawnienia obu połów naczynia prawdopodobieństwo stanu $70 : 30$ jest $P = \binom{100}{70} (1/2)^{100}$, natomiast prawdopodobieństwo przeskoku $70 \rightarrow 69$, gdy już stan $70 : 30$ zaistniał, czyli tak zwane prawdopodobieństwo warunkowe, jest (jak już wiemy) $p = 70/100$. Stąd znana reguła rachunku prawdopodobieństwa daje prawdopodobieństwo Π , że zaobserwujemy przeskoczenie $70 \rightarrow 69$:

$$(1) \quad \Pi = P \cdot p = \binom{100}{70} (1/2)^{100} \cdot \frac{70}{100}.$$

Obliczmy w podobny sposób prawdopodobieństwo przeciwnego zjawiska, to jest przeskoku $69 \rightarrow 70$; otrzymamy:

$$(1) \quad \Pi' = P' \cdot p' = \binom{100}{69} (1/2)^{100} \cdot \frac{31}{100}.$$

Ale natychmiastowy rachunek uczy, że $\binom{100}{70} \cdot 70 = \binom{100}{69} \cdot 31$, więc $\Pi = \Pi'$. Okazuje się, że równie często będziemy obserwowali zjawisko $70 \rightarrow 69$ jak zjawisko $69 \rightarrow 70$, które odpowiada pierwszemu, gdy nawiniemy przeciwnie taśmę filmową — z tego widać, że obserwacja przeskoków nie pozwoli odróżnić prawidłowego nawinięcia od nieprawidłowego, a więc nie pozwoli wskazać strzałki czasu sposobem statystycznym. Rachunek okazuje też, że z prawdopodobieństwem 1 stan początkowy $100:0$ będzie się powtarzał nieskończenie wiele razy.

Przeciw tej interpretacji modelu S c h r ö d i n g e r a można podnieść następujące zarzuty: 1) Skąd wzięliśmy wzór podający P ? Ten wzór byłby uzasadniony, gdybyśmy losowali 100 razy po kolei orłem-reszką, gdzie należy umieścić kulkę nr 1, kulkę nr 2, kulkę nr 100. Tymczasem opis modelu wcale tego nie przewiduje: stan początkowy naczynia jest dany $(100:0)$, a następnie wynikają z losowania przeskoki. 2) Model S c h r ö d i n g e r a nie odpowiada tym prawom statystycznym, które rządzą materią ciągłą, bo tam należałoby wprowadzić nieskończenie wiele punktów materialnych, chociaż chcąc zachować ideę kinetycznej teorii — która zrywa z kontinuum — należałoby ograniczyć się do przeliczalnie nieskończonego zbioru punktów materialnych. 3) Model ma tylko formalne podobieństwo z prawdziwym przebiegiem zjawisk w naczyniu wypełnionym molekułami — jego legitymacja polega wyłącznie na hipotezie, że wszystkie molekuły mają jednakowe prawdopodobieństwo, iż im przypadnie najbliższy przeskok.

Zarzut 1) jest poważny. Zarzut 2) kwestionuje nie tylko sam model S c h r ö d i n g e r a, lecz całą klasyczną teorię kinetyczną, która nie może zerwać ze skończonymi zbiorami molekuł — jak wiadomo teoria ta podaje efektywnie licznosc tych zbiorów w każdym procesie konkretnym. W tym artykule, który zajmuje się rzekomą sprzecznością klasycznej teorii kinetycznej z prawami mechaniki racjonalnej, nie wolno nam zmieniać podstaw tych doktryn. Niewątpliwie jednak jest naszym obowiązkiem zająć się zarzutami 1) i 3). Zrobimy to w ten sposób, że zbudujemy inny model, własny, na którym pokażemy to samo, co przed chwilą na modelu S c h r ö d i n g e r a, ale niezależnym naszą dedukcję od sztucznego charakteru tamtego modelu, przez co unikniemy zarzutów 1) i 3) i wielu innych, które można by wysunąć przeciw staremu modelowi.

Nowym modelem będzie sześcienné pudełko litrowe o nieruchomych ścianach. W nim ustawiamy pewną liczbę molekuł, np. 6 000 000, w określonych miejscach, np. na odcinku poziomym, połowiącym lewą ścianę, w równych odstępach. Molekuły wyobrażamy sobie jako punkty materialne — są one numerowane tak, że numery rosną (w początkowym ustawieniu) od przedniej ściany do tylnej. Podajemy efektywnie szybkość początkową każdej molekuły jako funkcję jej numeru. Gdy założymy klasyczne prawa doskonale elastycznego odbijania, będziemy mogli znaleźć miejsce, w którym znajduje się w dowolnie podanym momencie cząstka o dowolnie podanym numerze — w przykładzie efektywnym (podanym w jednej z prac niżej cytowanych) rachunek rozwiązujący to zadanie nie potrwa dłużej niż kwadrans i jest elementarny. O tym modelu możemy udowodnić, że rozkład cząstek odpowiada dokładnie temu, który przewiduje teoria kinetyczna, operująca klasycznym rachunkiem prawdopodobieństwa, chociaż w opisie modelu nie występuje wcale założenie chaotyczności,

a wzory podające ruch molekuł nie mają nic wspólnego z teorią prawdopodobieństwa. Konkretnie: gdy podzielimy sześcian na lewą i prawą połowę (bez przegrody materialnej), będziemy mogli obliczyć, jak często będzie w lewej połowie o co najmniej 5% więcej molekuł niż w prawej. „Jak często” oznacza tu frakcję czasową, podczas której będzie zrealizowana owa nadwyżka $\geq 5\%$, a frakcję czasową należy rozumieć jako limes dla $T \rightarrow \infty$ wyrażenia $1/2T$ razy suma długości interwałów czasowych w $(-T, T)$, podczas których realizuje się nadwyżka $\geq 5\%$. Gdy w tym i innych podobnych twierdzeniach zastąpimy termin „frakcja czasowa” przez „prawdopodobieństwo”, otrzymamy twierdzenia o zachowaniu się modelu, które chciała wyprowadzić rachunkiem prawdopodobieństwa klasyczna teoria kinetyczna z założenia chaosu. W naszej, nowej terminologii nie mówi się nic o prawdopodobieństwie, a twierdzenia są udowodnione bez reszty. Wzory są dokładnie te same, co w teorii klasycznej — można z nich otrzymać wszystko, co orzeka ta teoria o modelu, gdy przyjmie się taką definicję: prawdopodobieństwo, że w momencie wybranym na chybił-trafił obserwator skonstatuje stan S jest równe frekwencji czasowej stanu S (a frekwencję stanu S określa się jako frakcję czasową realizacji stanu S). W szczególności otrzymamy wzór $P = \binom{N}{r} (1/2)^N$ podający relatywną frekwencję stanu $(N - r) : r$. Otrzymamy jednak znacznie dokładniejsze informacje, np. relatywną frekwencję tego stanu, w którym w każdym z tysięcy cm^3 składających się na litrowe naczynie będzie nie mniej niż 5940, a nie więcej niż 6060 cząstek.

Jaka jest metoda dowodu? Niech $x_n(t)$, $y_n(t)$, $z_n(t)$ oznaczają współrzędne n -tej molekuly w chwili t : napisanie tych trzech funkcji czasu nie przedstawi trudności, gdy położymy osi x, y, z przez krawędzie schodzące się w narożu sześcianu; we wzorach wystąpią oczywiście składowe ξ_n , η_n , ζ_n prędkości początkowej n -tej molekuly, z góry dane. O tych składowych zakładamy, że są arytmetycznie niezależne, to znaczy, że równanie

$$(2) \quad \sum_{n=1}^N (a_n \xi_n + b_n \eta_n + c_n \zeta_n) = 0$$

o całkowitych a_n, b_n, c_n da się spełnić wyłącznie przez nadanie wartości zerowych wszystkim a, b, c . Gdy tak jest, to można udowodnić niezależność układu $3N$ funkcji opisujących ruch całego systemu złożonego z N drobin. Własność niezależności (poprawnie: niezależności stochastycznej) określa się dla dwóch funkcji $f(t)$, $g(t)$ przez relację

$$(3) \quad |E(f(t) < a, g(t) < b)| = |E(f(t) < a)| \cdot |E(g(t) < b)|;$$

ma ona zachodzić dla wszystkich liczb a i b ; tu $E(W)$ oznacza frekwencję stanu wyrażonego warunkiem W (mówiąc matematycznie $E(W)$ wyraża

zbiór tych t , które spełniają W , a E wyraża miarę relatywną zbioru E w $(-\infty, \infty)$. W naszym zagadnieniu żądamy niezależności łącznej układu $3N$ funkcji, co wyraża się analogicznie do (3), ale wszędzie wystąpią iloczyny $3N$ czynników zamiast dwóch. Że ta niezależność zachodzi, można udowodnić przy pomocy kryterium M. K a c a (por. *Studia Mathematica*

VI (1936), pp. 46-58) z teorii funkcji niezależnych, gdy się założy arytmetyczną niezależność prędkości początkowych, jak to uczyniliśmy. Od tego miejsca rozumowania są podobne do tych, które znajdujemy w podręcznikach rachunku prawdopodobieństwa, różnią się tylko interpretacją.

Zanim przedyskutujemy głębiej naszą metodę, stwierdźmy, że znaleźliśmy model, który ma następujące cechy:

α) Własności jego wynikają z równań ruchu molekuł (w sensie mechaniki racjonalnej) przez kompletną dedukcję matematyczną. β) Wyprowadzenie tych własności odbywa się bez rachunku prawdopodobieństwa. γ) Model jest kompletnie deterministyczny — w sensie Laplace'a. δ) Model ma wszystkie te własności, które klasyczna teoria kinetyczna usiłowała wyprowadzić za pomocą rachunku prawdopodobieństwa, rezygnując mimowiednie z zasady determinizmu w fizyce. W końcu stwierdźmy, że jest to model izolowany, a więc ograniczony przestrzennie i niepodlegający siłom zewnętrznym.

Te własności wystarczają do tego, żeby obalić rzekomą sprzeczność teorii kinetycznej z newtonowym determinizmem i żeby wykazać błędność zasady nieodwracalności, chociaż tylko w odniesieniu do układów izolowanych. Rzeczywiście, frekwencja zjawiska polegającego na tym, że wszystkie molekuły są w lewej połowie naczynia, jest $(1/2)^{6000000}$, z czego już wynika, że łączny czas zachodzenia tego zjawiska jest nieskończony, co jest jaskrawym zaprzeczeniem nieodwracalności.

Czas dopuścić do głosu oponenta, który podniesie następujące zarzuty:

a) Czy dowód przeprowadzono kompletnie? b) Jaki jest sens fizyczny założenia o niezależności prędkości początkowych? c) Jakie są ograniczenia co do położenia początkowych? d) Na czym polega dowód, że molekuły będą nieskończenie wiele razy zbierały się wszystkie w lewej połowie naczynia? e) Czy wszystko, co wykazaliśmy, nie jest specjalną własnością naczynia sześciennego, a zatem wyjątkiem w świecie realnym, w którym takie idealne formy nigdy nie występują?

Najłatwiej odpowiedzieć na pierwszą wątpliwość. Dowody znajdują się w pracy ogłoszonej w r. 1953 w XIII tomie *Studia Mathematica*, pp. 1-17, pod tytułem *Sur les fonctions indépendantes* (X). Jest to trzecia praca o roju punktów w naczyniu sześciennym. Pierwsza z nich (*Studia Math.* IX, 1948, pp. 1-20) dotyczy zachowania się środka masy roju punktów przy założeniach identycznych z tymi, które przyjęliśmy dla naszego modelu — okazuje się, że oscylacje środka masy około środka sześcianu podlegają prawu Gaussa-Laplace'a z rachunku prawdopodobieństwa, gdy tym prawom nadać interpretację frekwencyjną, wyżej określoną. Drugą pracę napisali pp. Egerváry i Turán (*S.M.* XII, 1951, pp. 170—180), aby usunąć pewien zarzut, który nie figuruje na liście a) — e). Ten zarzut odnosi się także do trzeciej pracy (choć nie było jej, gdy węgierscy matematycy ogłosili swoją) i polega na tym, że frekwencja zjawiska określona w obu moich pracach nie zmienia się, gdy zmienimy w dowolny sposób ruch modelu w przedziale skończonym, np. obejmującym miliard lat. Z tego wynika, że możemy nie doczekać się obserwacji nawet takich stanów modelu, które — według naszych rachunków — występują z frekwencją 99%. Otóż cytowani autorowie węgierscy rozwiązali to zagadnienie, które jest przedmiotem trzeciej pracy, tak żeby można oszacować czas czekania na dane zjawisko, np. na to, które polega na wyrównaniu liczby

molekuł w obu połowach naczynia z błędem nie większym niż 5%. Powrócimy jeszcze do tej sprawy, ale zanotujmy zaraz, że zarzut z całą siłą uderza i w klasyczną teorię kinetyczną: tam prawdopodobieństwo 99%, obliczone dla jakiegoś stanu, też nie gwarantuje, że kiedyś w życiu je zobaczymy.

W pytaniu b) o fizyczny sens założenia niezależności prędkości początkowych kryje się następujący zarzut: Warunek niezależności określony przez nierozwiązalność (2) może być spełniony dla jakiegoś układu prędkości, a jednak dla innego, dowolnie bliskiego układu nie spełniony. Ponieważ obserwacje fizyczne nigdy nie są absolutnie dokładne, więc niezależność nie da się nigdy stwierdzić. Na to odpowiemy, że warunek niezależności jest spełniony w przestrzeni $(\xi_1, \dots, \xi_N)$ prawie wszędzie, to znaczy, że zbiór punktów tej przestrzeni, które odpowiadają prędkościom początkowym z a l e ż n y m, ma miarę (Lebesgue'a) zero, a więc prawdopodobieństwo natrafienia takiego stanu początkowego jest zerem; wobec tego byłoby właśnie zgodne z fizycznym poglądem przyjąć, że niezależność zachodzi z a w s z e. Gdyby jednak ten argument budził wątpliwości, to musielibyśmy się zastanowić nad zachowaniem modelu przy z a l e ż n y c h wzajemnie prędkościach początkowych. Przykładem takim jest układ punktów o prędkościach początkowych pionowych. Jest oczywiście, że wtedy liczba molekuł w lewej połowie szklanicy jest niezmienna i wyrównanie nie nastąpi, jeżeli go nie było na początku — w tym przykładzie zatem zasada nieodwracalności zawodzi. Wprawdzie jest to tylko najprostsz przykład zależności (2), ale nie ma żadnego powodu do przypuszczania, że związanie prędkości początkowych zależnością (2) w innych przypadkach uratuje nieodwracalność.

W inny sposób obronili się od zarzutu b) E g e r v á r y i T u r á n: w ich pracy prędkości początkowe są skrupowane też pewnymi warunkami, ale te warunki są wyrażone przez n i e r ó w n o ś c i, a więc można stwierdzić za pomocą obserwacji, czy — w konkretnym przykładzie fizycznym — są spełnione. Natomiast te warunki są spełnione tylko w pewnej części przestrzeni $(\xi_1, \dots, \xi_N)$ prędkości początkowych.

Odpowiedź na pytanie c): położenia początkowe są dowolne, jeżeli założymy, że zderzenia są niemożliwe. Jeżeli jednak nie chcemy tego założenia, musimy wyłączyć pewne położenia początkowe. Prowadzi to do wyłączenia pewnych punktów w $6N$ -wymiarowej przestrzeni fazowej $x_1, \dots, x_N; \xi_1, \dots, \xi_N$, które tworzą razem w tej przestrzeni zbiór o mierze zerowej. Jak zauważyli E g e r v á r y i T u r á n, można się obejść bez tego uszczuplenia ogólności stanu początkowego, gdy założymy, że punkty materialne zderzają się tak, iż podczas zderzenia następuje wymiana wektorów prędkości. Wtedy jednak słabnie determinacja ruchu: możemy wprawdzie użyć poprzednich rachunków do obliczenia, gdzie znajdzie się molekula nr k w momencie t , i rzeczywiście w punkcie obliczonym znajdzie się w owym momencie molekula, lecz nie będzie to koniecznie właśnie molekula nr k .

Pytanie d) dotyczy zachowania się odciętych $\{x_n\}$ molekuł. Sama niezależność arytmetyczna prędkości ξ_n wystarcza do udowodnienia, że relatywna częstość zdarzenia określonego przez spełnienie równoczesne N nierówności $0 < x_n < 1/2$ ($n = 1, 2, \dots, N$) wynosi $1/2^N$, co już wykazuje, że nigdy nie przestanie cała masa gazu wracać do lewej połowy naczynia. To

nasuwa inną kwestię: czy można uznać nasz model za ekwiwalent zabawki z kołem szczęścia? Wyobraźmy sobie, że nigdy dwie molekuly naraz nie przejdą przez płaszczyznę $x = 1/2$ dzielącą sześcián na dwie połowy. Wtedy można mówić o ciągu zdarzeń $Z_1, Z_2, \dots, Z_k \dots$ polegających na kolejnych przejściach przez tę płaszczyznę. Matematyczne sformułowanie pytania jest następujące: czy w ciągu $\{Z\}$ częstość przejść z lewej do prawej odpowiada zabawce *Sch r ö d i n g e r a*? Wyraźniej mówiąc: czy — gdyby było sto molekul w naczyniu — częstość zjawiska $70 \rightarrow 69$ w ciągu Z byłaby równa prawdopodobieństwu Π obliczonemu przez nas w (1)?

Konsekwencje pozytywnej odpowiedzi byłyby interesujące: obala ona bowiem za jednym zamachem zarzuty 1), 2) i 3) przeciw modelowi *Sch r ö d i n g e r a*. Niestety odpowiedź jest przecząca, co łatwo zobaczyć na przykładzie 100 molekul, z których jedna, np. molekula nr 37, ma iksową składową prędkości tysiąc razy większą niż pozostałe molekuly — wtedy w każdym stanie naczynia najczęściej nastąpi przejście tej molekuly z jednej połowy do drugiej a więc nie z tej połowy, w której jest więcej cząstek, lecz — przeważnie — z tej, w której jest cząstka nr 37. Zamiana modelu *Sch r ö d i n g e r a* na mechaniczny nie jest więc bezpośrednia, a nie wiadomo, czy w ogóle możliwa. Tym więc potrzebniejszy okazuje się nowy model.

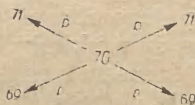
Przejdźmy do pytania e). Sześcienny kształt naczynia jest istotny: wprowadzie prostopadłościán można by traktować tak samo, ale oponentowi nie o to chyba chodzi. Wyobraźmy sobie naczynie sferyczne, w nim N molekul o takich prędkościach i położeniach początkowych, że żadna prosta położona przez położenie początkowe molekuly w kierunku jej prędkości początkowej nie trafia środka sfery — na ogół to założenie jest spełnione (w przestrzeni fazowej położén prędkości zbiór punktów niespełniających tego założenia na miarę 0), a z niego wynika natychmiast, że istnieje sfera koncentryczna z naczyniem, do której wnętrza nigdy nie dotrze żadna molekula. W tym przykładzie nie będzie zatem nigdy rozmieszczenia zbliżonego do równomiernego, ale naruszenie zasady wzrostu entropii jest jaskrawe. Inne formy geometryczne, np. czworościán, nastrezczają duże trudności matematyczne. Nawet sześcián przedzielony materialną membraną $x = 1/2$, w której znajduje się otwór (np. kwadratowy), już wymaga wysokich środków matematycznych i po dziś dzień nie zdołano wykazać, że rój punktów w takim sześcianie podlega podobnym prawom statystycznym, jakie wyprowadziliśmy dla sześciánu pierwotnego.

Jest też generalny zarzut: sześcián jest idealną postacią geometryczną, a w przyrodzie takich form nie ma. Nie ma także molekul punktowych i doskonale elastycznych. Otóż idealizacja naszego modelu nie różni się od tej, którą uprawia mechanika klasyczna, a za nią fizyka teoretyczna na każdym kroku. W dyskusji *pro* i *contra* zasadzie wzrostu entropii tego zarzutu żadna ze stron nie wysuwała. Cecha nieidealności jest negatywna i nie wiadomo, co z niej wynika — nie ma powodu przypuszczać, że naczynia o ściánach nieregularnych i molekuly o skończonych rozmiarach zderzające się niecentralnie właśnie dadzą nieodwracalność.

Możemy zresumować dotychczasowe wyniki: Istnieje model określony w sposób właściwy mechanice klasycznej, którego ruch jest zdeterminowany, i to nie tylko zasadniczo, lecz efektywnie, a który — tak jak wszelkie modele tego rodzaju — nie pozwala wyznaczyć zwrotu czasu

z obserwacji jego ruchu. Model ten zachowuje się jednak co do ruchu środka masy i co do rozkładu cząstek zgodnie z tymi twierdzeniami, które kinetyczna teoria wyprowadza z rachunku prawdopodobieństwa. Wobec tego jest zupełnie obojętną sprawą, czy są inne modele, zachowujące się inaczej: ten jeden przykład obala złudzenie, jakoby w teorii kinetycznej ukrywały się tajemnice, które pozwalają uratować teoretycznie zasadę nieodwracalności; nasz model nie wykracza przeciw wzorom tej teorii, a jest odwracalny. Wszystkie inne modele mechaniczne, które dotąd zbadano, bądź zachowują się jak model sześcienny, bądź też inaczej, ale w tym drugim przypadku wszystkie przeczą zasadzie nieodwracalności. Jest to ogólne zjawisko, którego teoretyczne uzasadnienie powinno skupić wysiłki matematyków. Nie jest to powtórzenie uwagi *L o s c h m i d t a*, lecz twierdzenie dotyczące mechaniki statystycznej.

Można jednak zaatakować naszą tezę inaczej, jak to czynią niektórzy. Zarówno w modelu *Schrödingera*, jak w naszym jest $p > p'$ (p i p' określono w (1) i (1')). Jeżeli przy obserwacji modelu ograniczymy się do stanów 70:30 i będziemy badali frekwencję skoków $70 \rightarrow 69$ i skoków $70 \rightarrow 71$ i zauważymy, że pierwsze są częstsze, to wywnioskujemy, że to, co nazywamy stanem późniejszym, jest rzeczywiście późniejsze, a więc uda się nam określić zwrot czasu (gdy obserwacja da wynik przeciwny, wysnujemy wniosek przeciwny). To rozumowanie polega jednak na sofizmacie. Poprawne rachunki dają bowiem taką sytuację:



Zarówno prawdopodobieństwo, że stan 71 poprzedza 70, jak że następuje po 70, jest p ; tak samo prawdopodobieństwo, że stan 69 poprzedza 70 jak i to, że następuje po 70, wynosi p' . Z tego wynika, że drugi obserwator, który ogląda film nawinięty przeciwnie (w stosunku do filmu oglądanego przez pierwszego), otrzyma też potwierdzenie prawidłowego nawinięcia, posługując się tym samym kryterium, co pierwszy. Jeszcze wyraźniej: bez względu na sposób nawinięcia taśmy zawsze obserwacja da częściej $70 \rightarrow 69$ niż $70 \rightarrow 71$.

Ostatni argument *contra* pochodzi od praktyków. Gdy skompresujemy tłokiem gaz w lewej połowie cylindra, a potem nagle cofniemy tłok, gaz natychmiast wypełni cały cylinder. Jest to proces nieodwracalny, bo nigdy gaz sam nie skupi się w lewej połowie.

Mówiąc po prostu: napróżd było nierówne, a potem równe rozmieszczenie gazu — strzałkę czasu wyznacza obserwacja; tam gdzie nierówno, jest bełt, gdzie równo — grot strzały. Ale tu istota argumentu polega na tym, że eksperymentator uważa kompresję za przygotowanie i dopiero po nim podnosi kurtynę i każe przypatrywać się zjawisku. Jeżeli jednak będziemy je śledzić od początku, zobaczymy taki przebieg: „równonierównorówno” i reguła da dwie strzały przeciwnie zwrócone. W gruncie rzeczy praktyk w chwili, gdy ręką wciskał tłok do cylindra, był sam jedną z części systemu, a potem oddzielił się od całości i kazał nam obserwować drugą część — jest to naruszenie postulatu, że system ma być izolowany. Jeżeli jednak praktyk powie, że wolno rozpoczynać obserwację w dowolnym punkcie

ignorując wszystko, co było przedtem, popełnia *petitio principii*: prawo ignorowania przeszłości wymaga odróżnienia tej półosi czasowej, której odpowiada przeszłość — jeżeli ktoś przed eksperymentem, a więc bez niego, już umie odróżnić tę półoś od tej, która wskazuje w przyszłość, może się obejść bez eksperymentu! Tak więc argument nie ma nic wspólnego z doświadczeniem. Wprawdzie nikt nie ma trudności w oznaczaniu zwrotu czasu w życiu codziennym, ale to oznaczenie polega na biologicznej różnicy między noworodkiem a nieboszczykiem, a nie na studiowaniu mechanizmów.

Można zapytać, jakie wobec tego znaczenie praktyczne ma zasada nieodwracalności. Czy wolno inżynierowi twierdzić, że stal wypływająca z wysokiego pieca wystygnie? Skąd to wiemy? Otóż stany dalekie od równowagi są bardzo rzadkie (to pokazuje i nasz model sześcienny) zarówno w przyszłości, jak i w przeszłości: gdy widzimy ciekłą stal, możemy nie tylko przepowiedzieć, że wystygnie, ale także, że była zimna, taka jak otoczenie (to sformułowanie zawdzięczam prof. M a r c z e w s k i e m u). Nie należy przy tym zapominać, że wszystko, o czym mówimy, odnosi się do mechanizmów izolowanych przestrzennie a nieizolowanych czasowo. Izolacja przestrzenna zakazuje człowiekowi interweniować w eksperymencie, a więc łączyć mechanizm z innymi (choćby chwilowo) — nieizolacja czasowa oznacza zakaz obcinania osi czasowej — obserwacja musi się rozciągać w obie strony czasowe.

Wróćmy do rozprawy S c h r ö d i n g e r a zacytowanej na wstępie. W niej autor proponuje następującą obronę nieodwracalności:

Przedmiotem obserwacji są dwa układy U_1 i U_2 . Są one nie izolowane w czasie t poprzedzającym a i w czasie t następującym po b , ale izolowane w czasie między a a b . Entropię układu U_1 w momentach a , b oznaczmy przez E_{1a} , E_{1b} , analogicznie — przez E_{2a} , E_{2b} , entropię układu U_2 w tych momentach. Zasada entropii u S c h r ö d i n g e r a orzeka, że zawsze obie różnice $(E_{1b} - E_{1a})$, $(E_{2b} - E_{2a})$ mają ten sam znak: jeżeli obie są dodatnie, b jest późniejsze od a , jeżeli obie są ujemne, b jest wcześniejsze od a . Niestety autor niniejszego referatu nie rozumie uzasadnienia zawartego w cytowanej pracy.

Na końcu pragnąłbym podziękować wszystkim tym uczestnikom konferencji fizyków w Spale we wrześniu 1954 roku, którzy w rozlicznych dyskusjach pozwolili mi sformułować a często uświadomić sobie wieloraki aspekt przedmiotu niniejszego referatu.

C I E P Ł O

Na pytanie, co to jest ciepło, odpowiedzielibyśmy zapewne jednym słowem: energia lub może dwoma: forma energii. Tymczasem sprawa nie jest tak prosta.

*

Pojęcie ciepła ma swoją historię w rozwoju myśli ludzkiej. Splot wrzeń zmysłowych „ciepła” i „zimna” sprawia, jak pamiętamy z lat dziecińczych, wiele kłopotu, gdy trzeba rozróżnić ciepło od temperatury. W wiekach średnich, w okresie panowania w przyrodoznawstwie filozofii *A r y s t o t e l e s a*, sprowadzano zjawiska do „substancji” i ich „przypadłości”. W tym to sposobie myślenia miały swe źródło koncepcje dotyczące ciepła, rozpowszechnione przed doświadczeniem *J. P. J o u l e’ a*. Uważano ciepło za substancję, zwaną cieplikiem. Różne przedmioty miały różną pojemność cieplną; ta sama „ilość” ciepłika, zawarta w różnych ciałach, wywoływała większą lub mniejszą „gorącość”, podobnie jak ta sama ilość wody, wsiąkając w dwie gąbki o różnej porowatości, sprawia, że jedna jest bardziej, a druga mniej wilgotna.

Zwrot w sposobie pojmowania ciepła przyniosły w połowie ubiegłego stulecia doświadczenia *J. P. J o u l e’ a* i prace teoretyczne *H. H e l m h o l t z a*, *R. C l a u s i u s a*, *W. T h o m s o n a* (Lorda *K e l w i n a*). Znane było już wówczas pojęcie pracy mechanicznej oraz energii mechanicznej, kinetycznej i potencjalnej. Znana była również zasada zachowania energii mechanicznej w układach, w których nie ma tarcia. W układach takich, np. w idealnym wahadle bez tarcia, następowałaby jedynie w czasie ruchu ilościowa przemiana energii kinetycznej w potencjalną i odwrotnie. Suma ich pozostawałaby stała. Zasada ta jednak zawodziła w układach, w których występowało tarcie; energia mechaniczna znikiała w nich bezpowrotnie.

Wyniki doświadczeń *J o u l e’ a* interpretuje się zazwyczaj jako stwierdzenie, że energia mechaniczna zamienia się na ciepło. Powiada się często krótko: praca zamienia się na ciepło, ciepło powstaje z pracy itp. Ten sposób wyrażania się i pojmowania ciepła jako formy energii rozpowszechnił się w termodynamice, przyjęty przez takich uczonych jak *R. C l a u s i u s*, *W. T h o m s o n*, *P. D u h e m*, *J. W. G i b b s*. Podczas gdy przedtem uważano ciepło za substancję, teraz pojmowano je jako energię.

W roku 1909 matematyk *T. C a r a t h é o d o r y* zwrócił uwagę, że przy interpretowaniu doświadczenia *J o u l e’ a* nie ustalono z wystarcza-

jącą ostrością granic stosowalności wprowadzonych do teorii pojęć. Wskutek tego zapoznano charakterystyczną cechę pojęcia „ciepła“.

*

Aby zrozumieć należycie myśl *Carathéodory'ego*, należy zanalizować dokładnie przebieg doświadczenia *Joule'a*.

Oto mamy naczynie z wodą. Umieszczony jest w nim wiatraczek. Gdy wiatraczek się obraca, przeszkadza mu tarcie. Wiatraczek poruszany jest kosztem zewnętrznej energii mechanicznej, np. potencjalnej energii jakiegoś ciężaru. Znamy sposoby mierzenia tej energii, umiemy mierzyć pracę włożoną w obrót wiatraczka. Praca ta, wiemy to z mechaniki, równa jest ubytkowi użytej energii mechanicznej.

Jeżeli chcemy z obserwacji tego co się dzieje z wodą w czasie doświadczenia wyciągnąć poprawne wnioski, musimy spełnić dwa warunki. Musimy ustalić ścisły sposób określania zmian stanu wody oraz powtarzać wielokrotnie doświadczenie w identyczny sposób. Z wyniku bowiem jednorazowej obserwacji nie można wyciągać naukowych wniosków; trzeba stwierdzić przedtem, że obserwacje są powtarzalne i dają takie same wyniki.

Dla określenia stanu wody wystarczy znać jej masę, skład chemiczny, ciśnienie, pod jakim się znajduje i objętość lub temperaturę. Wszystkie te wielkości muszą być identyczne, aby można powiedzieć, że woda znajduje się w identycznym stanie. Powiadamy krótko, że stan wody jest funkcją wymienionych parametrów.

Chcąc powtórzyć doświadczenie w sposób identyczny, będziemy brać za każdym razem tę samą masę takiej samej wody, znajdującej się pod tym samym ciśnieniem i zajmującej tę samą objętość. Będziemy używać stale tego samego naczynia i będziemy wykonywać tę samą dokładnie pracę.

Cóż nam wówczas pokaże doświadczenie? Oto spostrzeżemy, że ilekroć wykonamy tę samą pracę, tylekroć stan wody zmieni się w identyczny sposób, co możemy stwierdzić spostrzegając np., że objętość wody zwiększy się za każdym razem o tyle samo lub, że termometr zanurzony w niej wykaże za każdym razem taką samą zmianę temperatury.

Naturalnie nasuwa się przypuszczenie, że przyczyną tej zmiany stanu wody jest wykonana praca.

Chcąc znaleźć związek między tą pracą a zmianą stanu wody będziemy się więc starali ochronić wodę od wszelkich innych ubocznych wpływów, jak np. od działania promieni słonecznych, od wiatru itp. W tym celu sporządzimy naczynie z takiego materiału, który od tych wpływów zabezpiecza. Sporządzimy naczynie, którego ściany miałyby własności, jak powiadamy, tzw. odgraniczenia adiabatycznego.

Wynik naszych doświadczeń streścimy zatem tak: ilekroć doprowadzimy w sposób adiabatyczny tę samą ilość pracy do wody będącej na początku w tym samym stanie, tylekroć stan jej ulegnie identycznej zmianie.

Przechodząc teraz od doświadczenia do abstrakcyjnej myśli, budujemy na nim postulat teorii. Czynimy to w sposób następujący.

W zjawisku obserwowanym w doświadczeniu *Joule'a* znika w otoczeniu pewna określona ilość energii mechanicznej, a równocześnie poja-

wia się określona, przy tej samej ilości zużytej energii mechanicznej. ta sama zawsze zmiana stanu wody. Rozszerzamy zatem zasadę zachowania energii mechanicznej i stawiamy postulat: istnieje funkcja stanu układu, nazwijmy ją U , której zmiana równa się w przemianie adiabatycznej ilościowo zmianie energii mechanicznej E ,

$$\Delta U = \Delta E.$$

Ponieważ zaś ΔE zostaje ilościowo zużyte w takiej przemianie na wykonanie pracy W , możemy napisać, że w przemianie adiabatycznej

$$\Delta U = W.$$

Funkcję stanu U nazywamy energią wewnętrzną. Używając tej nazwy powiemy, że w doświadczeniu J o u l e' a pewna ilość energii mechanicznej została pracą zamieniona na energię wewnętrzną wody.

Ale gdyśmy już na podstawie doświadczenia J o u l e' a postulowali istnienie funkcji stanu U możemy, opierając się na tym postulatcie, pójść o krok dalej i uwolnić się od ograniczania się do przemiany adiabatycznej. Niechaj układ ze stanu 1, w którym jego energia wewnętrzna wynosi U_1 , przejdzie do stanu 2, w którym jego energia wewnętrzna wynosi U_2 , raz na drodze adiabatycznej, drugi raz na drodze nieadiabatycznej. Ponieważ energia wewnętrzna U jest funkcją stanu i w stanie 2 wynosi zawsze U_2 , wszystko jedno po jakiej drodze układ do tego stanu doszedł, przeto w obu przemianach zmiana energii wewnętrznej wyniesie $\Delta U = U_2 - U_1$.

Jak wiemy na drodze adiabatycznej

$$\Delta U = U_2 - U_1 = W.$$

Na drodze nieadiabatycznej praca będzie inna. Wiadomo bowiem z fizyki, że praca wykonana zależy od drogi, po której zachodzi przemiana. Stąd w przemianie nieadiabatycznej

$$\Delta U = U_2 - U_1 \neq W.$$

Innymi słowy w przemianie nieadiabatycznej

$$\Delta U - W \neq 0.$$

Oznaczamy tę różnicę literą Q i nazywamy ciepłem. Otrzymamy więc

$$\Delta U = W + Q.$$

Pamiętając, że ΔU jest zmianą energii układu, a W pracą powiemy: w czasie przemiany energia zostaje przekazana układowi pracą W i ciepłem Q i zamagazynowana w układzie w formie energii wewnętrznej w ilości ΔU .

Jak wiadomo z fizyki, praca nie jest formą energii, ale wielkością fizyczną ściśle zdefiniowaną i mierzoną w ergach.

Podobnie ciepło *nie jest formą energii*, ale jedynie odmienną od pracy wielkością fizyczną, mierzoną również w ergach czy kaloriach, a zdefiniowaną równaniem $Q = \Delta U - W$ i grającą rolę przy przekazywaniu energii.

*

Lecz może ktoś powiedzieć; przecież ciepło mierzymy kalorymetrem w kaloriach, a więc ciepło jest energią. Rozważmy ten zarzut bliżej.

Przed wszystkim uprzytomnijmy sobie, że w kalorymetrze mierzymy tylko masę i temperaturę substancji kalorymetrycznej, nie więcej. Wszystkie dalsze wnioski oparte są na tych pomiarach i na *teorii*. Ale teoria postuluje tylko funkcję U . Z pomiarów temperatury i jej zmian w kalorymetrze wnosimy o takiej a takiej zmianie stanu substancji kalorymetrycznej, a stąd na zasadzie postulatu o istnieniu funkcji U wnosić możemy jedynie o wyrażonej w kaloriach zmianie energii wewnętrznej tej substancji.

Aby to wyraźniej pokazać, przeprowadzimy następujące doświadczenie. Niechaj źródłem energii będzie jakaś reakcja utleniania i redukcji. Niechaj różnica energii między produktami a substratami tej reakcji wynosi ΔU . Doświadczenie przeprowadzają dwie osoby. Jedna z nich, nazwijmy ją obserwatorem, dokonuje potrzebnych odczytów na kalorymetrze przed rozpoczęciem reakcji, po czym wychodzi z pokoju. W czasie jej nieobecności druga z nich, eksperymentator, przeprowadza reakcję chemiczną tak, by wyzwolona energia reakcji przekazana została ciepłem kalorymetrowi lub jak się potocznie mówi, przekazana została mu jako ciepło. Po skończonej reakcji obserwator powraca do pokoju i stwierdza w kalorymetrze zmianę temperatury. Jeśli stoi na stanowisku *C a r t h é o d o r y' e g o*, wnioskuje stąd, że kalorymetrowi dostarczono energii w ilości ΔU . Jeśli jest bardziej pochopny w sądach, powie, tym razem trafnie, że kalorymetrowi doprowadzono ciepło $Q = \Delta U$.

Innym razem eksperymentator zrobił inaczej. Przeprowadził wprawdzie w czasie nieobecności obserwatora reakcję, ale zdala od kalorymetru, po czym ustawił, dla niepoznaki, wszystko tak, jak było za poprzednim razem na końcu doświadczenia. Ale w między czasie wprowadził do kalorymetru wiatraczek, obracany za pomocą np. urządzenia zasilanego prądem elektrycznym. Wiatraczek obracał tak długo, aż termometr pokazał tę samą temperaturę co poprzednio, po czym skrzętnie wiatraczek i przewody elektryczne usunął. Obserwator po wejściu do pracowni znajdzie zupełnie ten sam stan kalorymetru co poprzednio. Jeżeli powie, że kalorymetrowi dostarczono energii ΔU i że o tyle wzrosła jego energia wewnętrzna oceni rzecz trafnie. Jeśli powie, że kalorymetrowi doprowadzono ciepło $Q = \Delta U$ popełni tym razem błąd, kalorymetrowi bowiem doprowadzono energię pracą.

Trzecim razem eksperymentator postąpi jeszcze inaczej. Z substratów reakcji sporządzi ogniwo galwaniczne i nim zasilać będzie urządzenie poruszające wiatraczek. Tym razem energia reakcji ΔU zostanie przekazana kalorymetrowi częściowo ciepłem, częściowo pracą. Ostateczne wskazanie termometru będzie znów takie samo jak poprzednio. Obserwator i tym razem opisie trafnie zjawiska jedynie wtedy, gdy ograniczy się do stwierdzenia zmiany energii wewnętrznej kalorymetru.

Z omówionego przykładu widzimy wyraźnie, że sam kalorymetr pozwala jedynie na wnioski co do zmiany jego energii wewnętrznej. Aby móc powiedzieć, czy ta zmiana była związana z pracą, czy ciepłem, czy też z oboma naraz, trzeba znać prócz tego sposób przeprowadzania eksperymentu, *sposób przekazywania energii*. Jest teraz jasne, dlaczego nie można ciepła uważać za formę energii ale, podobnie jak pracę, jedynie za wielkość fizyczną: mierzona ona jest w ergach czy kaloriach a zdefiniowana równaniem $Q = \Delta U - W$ i, jak widzimy, związana ze sposobem przekazywania energii. Ani praca, ani ciepło *nie znajdują się* w układzie, tak jak to czyni energia. Pojęcia ciepła i pracy mają sens jedynie w trakcie przekazywania energii i tylko wtedy.

*

To rozróżnienie pomiędzy ΔU jako różnicą energii i Q i W , ciepłem i pracą, jako wielkościami fizycznymi, związanymi ze sposobem przekazywania energii, jest od razu zrozumiałe dla matematyka. Energia wewnętrzna U jest funkcją stanu i jej zmiana nie zależy od drogi, a jedynie od końca i początku przemiany, ciepło Q i praca W są funkcjonalami drogi, zależnymi od sposobu prowadzenia przemiany.

*

Z tego co dotąd było powiedziane wynika, że nie można mówić o przechodzeniu pracy w ciepło i odwrotnie. Istotnie wyobraźmy sobie drut* znajdujący się w tej samej temperaturze co jego otoczenie. Drut włączamy w obwód elektryczny. W pierwszej chwili po załączeniu prądu drut otrzymuje pewną porcję energii drogą pracy elektrycznej. Jego energia wewnętrzna wzrasta. Ponieważ temperatura drutu i otoczenia były równe, nie ma jeszcze w tym momencie żadnej wymiany energii między nimi. Mamy jedynie zamianę pracy na energię wewnętrzną drutu. Ale wskutek wzrostu energii wewnętrznej drutu wzrasta i jego temperatura. Z tą chwilą rozpoczyna się równoczesna wymiana energii między drutem i otoczeniem i drut przekazuje otoczeniu energię wewnętrzną ciepłem. Po pewnym czasie wytworzy się stan stacjonarny: w jednostce czasu tyle samo energii wewnętrznej drut zyskuje pracą elektryczną, ile oddaje otoczeniu ciepłem. Mówiąc więc krótko, jak to jest w zwyczaju, że praca prądu zamienia się wówczas ilościowo na ciepło, przeskakujemy aż dwa ogniwą zjawiska.

*

Czyż więc wobec wszystkiego, co wyżej było powiedziane, trzeba zaniechać utartego sposobu wyrażania się, przyjętego zarówno w potocznej dyskusji, jak i w pracach i podręcznikach naukowych, i wobec tego, że ciepło nie jest formą energii wystrzegać się posługiwania się zwrotami: ciepło doprowadzone, ciepło wydzielone, ciepło pobrane, ciepło oddane, ciepło właściwe, ciepło utajone, ciepło reakcji itd., itd. Chyba nie. Używamy

* E. Guggenheim: *Thermodynamics*.

wszak spokojnie zwrotu: przepływ ciepła, wiedząc od dawna, że ciepło nie jest rodzajem substancji. Utarty sposób pisania i mówienia może nadal nam służyć. Trzeba tylko dobrze rozumieć, jaka treść kryje się pod tymi zwrotami, trzeba rozumieć, że powiedzenie „ciepło” w niektórych wypadkach, jak np. ciepło właściwe, oznacza zmiany energii wewnętrznej, w innych wskazuje na sposób przekazywania energii, jak np. ciepło doprowadzone czy oddane, w innych zaś może oznaczać zarówno zmiany energii wewnętrznej, jak i wskazywać na sposób przekazywania energii, zależnie od kontekstu, jak np. duże ciepło reakcji, wydzielone ciepło reakcji. Aby te wszystkie znaczenia wyrazu „ciepło” trafnie za każdym razem odróżniać, wystarczy pamiętać, że formą energii jest energia wewnętrzna, a ciepło jest jedynie *wielkością fizyczną*, mierzoną w ergach czy kaloriach, zdefiniowaną równaniem $Q = \Delta U - W$ i związaną ze sposobem przekazywania energii.

Taka jest odpowiedź, jaką daje termodynamika na postawione na wstępie pytanie. Jeszcze głębiej pozwala wniknąć w to zagadnienie teoria kinetyczna. Wyjaśnia ona bliżej, jakie rodzaje energii molekularnej składają się na energię wewnętrzną U oraz na czym polega ów sposób przekazywania energii, z którym związana jest wielkość fizyczna Q , zwana ciepłem. Ale o tym już innym razem.

ROZMIESZCZENIE I KRAŻENIE IZOTOPÓW WĘGLA W PRZYRODZIE

Spośród długiego szeregu pierwiastków wchodzących w skład ciał organicznych rola węgla jest dominująca. Atomy tego pierwiastka tworzą niejako szkielet cząsteczek składających się na komórkę. Nie jest to jednak szkielet stabilny, zbudowany trwale z tych samych atomów. Jak wykazały prace ostatniego dziesięciolecia prowadzone metodami wskaźników izotopowych, trwały pozostaje tylko schemat budowy cząsteczek i komórek, cegiełki natomiast, z których komórki te są zbudowane, a więc atomy, a nawet grupy atomów, ulegają nieustannym wymianom, znajdującym swój wyraz w niesłychanie szybko następujących po sobie procesach asymilacji i dezasymilacji pierwiastków i związków chemicznych. W ten sposób, pomimo pozornej niezmienności komórki organicznej, stałości liczby atomów różnych pierwiastków wchodzących w jej skład i niezmienności ich konfiguracji, odbywa się nieustanna wymiana atomów, np. węgla na inne atomy tegoż węgla, a więc elementy albo identyczne pod względem właściwości chemicznych i fizycznych, albo też, o ile miejsce atomów węgla opuszczającego komórkę zajmują inne izotopy tegoż pierwiastka, niemal identyczne pod względem chemicznym, lecz różne pod względem ciężaru atomowego, a w związku z tym o nieco innych cechach fizycznych.

Te drobne różnice właściwości fizycznych różnych izotopów węgla powodują, że w procesach związanych z krążeniem węgla w przyrodzie, a więc w procesach biologicznych (asymilacji i dezasymilacji), jak również w procesach chemicznych, zachodzących w substancjach nieorganicznych zawierających węgiel (np. węglany) — uprzywilejowane zostają jedne izotopy (np. lżejsze) w stosunku do innych (np. cięższych). Na skutek tego ustala się pewien stacjonarny rozkład składu izotopowego węgla, charakterystyczny dla określonego rezerwuaru (biosfera, atmosfera itd.). Materiał doświadczalny, jakim dysponuje w dobie obecnej nauka, jest jeszcze za szczupły na to, ażeby móc dokładnie prześledzić wszystkie procesy syntezy, prowadzące do rozdziału izotopowego. Potrafimy już jednak stwierdzić, że rozdział taki istotnie występuje, określić wartości liczbowe koncentracji poszczególnych izotopów w różnych rezerwuarach oraz odtworzyć obraz globalnego ruchu izotopów węgla w przyrodzie. Do chwili obecnej fizycy wyodrębnili sześć różnych izotopów, tj. odmian atomów węgla, różniących się między sobą ciężarami atomowymi, posiadającymi jednak identyczną strukturę powłok elektronowych. Wszystkie te izotopy posiadają po 6 elektronów w powłoce elektronowej rozmieszczonych w dwu warstwach w identycznej konfi-

guracji $2 + 4$. W związku z tym zasadnicze, jakościowe cechy chemiczne tych izotopów są identyczne. Poszczególne izotopy różnią się natomiast między sobą składem jąder atomowych, a ściśle liczbą neutronów wchodzących w skład jądra, obok nieziennej dla wszystkich jąder liczby 6 protonów. I tak izotopy węgla zawierające w jądrze 4, 5, 6, 7, 8 i 9 neutronów symbolicznie zapisujemy ^{10}C , ^{11}C , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ^{15}C , przy czym górny lewy wskaźnik podaje łączną liczbę nukleonów (protonów i neutronów) w jądrze atomowym. Tylko dwa izotopy węgla, a mianowicie ^{12}C i ^{13}C , są trwałe, pozostałe cztery ^{10}C , ^{11}C , ^{14}C , ^{15}C są nietrwałe i ulegają transmutacji jądrowej, związanej z emisją dodatniego lub ujemnego elektronu. Zamieszczona tabelka (Tabela I) zbiera cechy charakterystyczne odkrytych i zbadanych dotychczas izotopów węgla. Obok wspomnianych wyżej liczb protonów i neutronów w jądrze atomowym podano ciężary atomowe izotopów, względną częstość występowania ich w przyrodzie, typ rozpadu oraz okresy połowicznego zaniku.

TABELA I

Izotopy węgla

Symbol	Skład jądra		Ciężar Atomowy	Względna częstość występowania w przyrodzie	Typ rozpadu	Maksymalna energia elektronów w MeV	Okres połowicz- nego zaniku
	Pro- tony	Neu- trony					
^{10}C	6	4	10,01833	0	e^+	3,4	8,8 sec
^{11}C	6	5	11,01499	0	e^+	0,95	20,5 min
^{12}C	6	6	12,00386	100	trwały	—	—
^{13}C	6	7	13,00766	1,11	trwały	—	—
^{14}C	6	8	14,00780	10^{-10}	e^-	0,15	5568 $\pm$ 30 lat
^{15}C	6	9	$\sim 15,00$	0	e^-	?	krótko- wieczny

Jak z zamieszczonej tabeli wynika, w węglu naturalnym mogą występować przede wszystkim izotopy trwałe ^{12}C , ^{13}C . Ze względu na nietrwałość innych izotopów i ich bardzo krótki (wobec wieku Ziemi) czas połowicznego zaniku warunkiem występowania ich na Ziemi byłaby stała ich regeneracja w procesach jądrowych. Procesy, dzięki którym otrzymuje się na drodze sztucznej ^{10}C , ^{11}C i ^{15}C , w przyrodzie nie występują i z tego względu można izotopów tych w ogóle nie brać pod uwagę przy rozważaniu składu izotopowego węgla naturalnego. Inaczej przedstawia się sprawa z ^{14}C . Jak wykazały badania, najwydatniejszą reakcją prowadzącą do powstania ^{14}C jest reakcja pochycenia powolnego neutronu przez jądro azotu ^{14}N . Powstające po pochyceniu neutronu, wzbudzone jądro ^{15}N emituje proton przechodząc w ^{14}C . Symbolicznie zachodzącą tu reakcję zapisuje się $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$. Okolicznością zapewniającą stałą produkcję ^{14}C z azotu atmosferycznego jest fakt występowania na dużych wysokościach nad ziemią (10—20 km) silnego promieniowania neutronowego, wytwarzanego przez cząstki pierwotne promieniowania kosmicznego w wyniku oddziaływania ich na jądra atomów atmosfery. Jak wykazały bezpośrednie pomiary, natężenie strumienia promieniowania neu-

tronowego na tych wysokościach wyraża się liczbą 2,6 neutronów na cm^2 i sec. Równocześnie stwierdza się, że na poziomie morza promienowanie neutronowe praktycznie nie istnieje. Obserwacja tych faktów pozwoliła wysunąć hipotezę stałej generacji ^{14}C (tzw. „radiowęgla“) w atmosferze.

Znając natężenie strumienia neutronów oraz wielkość powierzchni Ziemi można natychmiast obliczyć całkowitą liczbę N_n atomów „radiowęgla“ generowaną w atmosferze w jednostce czasu oraz łączną ich masę.

$$N_n = 5,1 \cdot 10^{18} \cdot 2,6 = 13,3 \cdot 10^{18} \text{ atomów } ^{14}\text{C/sec} = 9,7 \text{ kg } ^{14}\text{C rocznie.}$$

Ze względu jednak na nietrwałość „radiowęgla“ równolegle z produkcją jego atomów w atmosferze postępuje samorzutny rozpad. Dla ustalenia się stanu stacjonarnego potrzeba, ażeby całkowity (niezależny od ilości radiowęgla na Ziemi) przyrost atomów radiowęgla, generowanych w atmosferze, równał się liczbie atomów ulegających samorzutnemu rozpadowi. Ponieważ liczba rozpadających się w jednostce czasu atomów ^{14}C jest wprost proporcjonalna do całkowitej ich ilości na Ziemi, a odwrotnie do średniego czasu τ ich życia,

przeto

$$N_n = \frac{N_c}{\tau},$$

skąd $N_c = 13,3 \cdot 10^{18} \text{ atomów. sec}^{-1}$. $253 \cdot 10^9 \text{ sec} = 3,37 \cdot 10^{30} \text{ atomów} = 5,66 \cdot 10^6 \text{ moli} = 77,8 \text{ ton } ^{14}\text{C}$, z czego widać, że całkowity zapas ^{14}C na Ziemi winien wynosić ok. 80 ton. Powstające atomy ^{14}C zostają natychmiast utlenione na $^{14}\text{CO}_2$ i wchodzi w skład atmosferycznego dwutlenku węgla.

Miejsce produkcji $^{14}\text{CO}_2$ leży wprawdzie bardzo wysoko, ale ze względu na stosunkowo bardzo długi czas życia atomów radiowęgla przedstawiają się one wskutek ruchów pionowych, zachodzących w atmosferze, na powierzchnię Ziemi, gdzie asymilowane przez świat roślinny wchodzi do biosfery, a ponadto zostają wiązane w reakcjach wymiany w węglanach nieorganicznych $\text{CO}_3^{''}$, HCO_3' i H_2CO_3 rozpuszczonych w morzach.

Ilość węgla niepromieniotwórczego, w którym może znajdować się radiowęgiel, można dość dobrze ocenić. Cztery wielkie rezerwuary mogą uczestniczyć w „rozpuszczaniu“ radiowęgla w węglu trwałym. Tymi rezerwuarami są:

1. Węgiel rozpuszczony pod postacią węglanów w morzach. Zawartość jego może być oceniona na podstawie wartości wskaźnika pH wody oceanicznej. Opierając się na znanej wartości pH, określanej na 8,0 i odbiegającej od tej wartości o mniej niż 0,1 dla różnych miejsc obserwacji, i uwzględniając wartości stałych dysocjacji dla H_2CO_3 i HCO_3' , ocenia się zawartość węgla w wodzie morskiej na 26,2 mg/kg wody. Daje to w sumie $3,7 \cdot 10^{19} \text{ g}$ tj. 37 bilionów ton węgla z błędem ok. 10%. W ocenie zawartości węgla w węglanach jako „rozpuszczalnika“ ^{14}C może budzić pewne wątpliwości to, czy proces mieszania się wody oceanicznej przebiega istotnie tak szybko, że okres zupełnego wymieszania się wody może być uważany za krótki w porównaniu z okresem połowicznego zaniku ^{14}C . Argumenty przemawiające za dokładnym wymieszaniem się wody są następujące:

skorupa ziemska traci rocznie 30 cal/cm^2 ; jeżeli tyleż ciepła dostarcza wodzie dno oceaniczne, to dla odprowadzenia tego ciepła w drodze kondukcji konieczny byłby gradient temperatury wynoszący $8 \cdot 10^{-4}$ stopni/cm, co odpowiada przy grubości warstwy wody 1000 m różnicy temperatury 80°C .

Nawet przy znacznie mniejszym gradiencie temperatury musiałaby powstać konwekcja ciepła i związane z nią mieszanie się węgla zawartego w oceanie. Opierając się na tym schemacie można obliczyć, że wspomniany proces zapewnia na głębokości 6000 m pod poziomem morza koncentrację ^{14}C w węglu nieorganicznym, rozpuszczonym w H_2O w wysokości przynajmniej 90% w stosunku do koncentracji ^{14}C na powierzchni morza.

2. Drugim rezerwuarem ^{14}C jest węgiel organiczny rozpuszczony w wodzie morskiej. Ilość tego węgla ocenia się na ok. 3 biliony ton.

3. Trzecim rezerwuarem jest biosfera. Ilość węgla w tym rezerwuarze można ocenić na podstawie znanych wartości masy węgla wiążanego w biosferze w procesach fotosyntezy i średniego czasu życia atomów w biosferze.

Jeżeli m oznacza masę węgla wiążanego w jednostce czasu w biosferze, t_b — średni czas życia atomów w biosferze, to całkowita masa węgla w stanie stacjonarnym $M = t_b \cdot m$.

Na t_b przyjmuje się wartość 10 lat. Przyjęcie tego pozornie krótkiego okresu podyktowane jest tym, że w całkowitym bilansie węgla biosfery plankton oceaniczny o stosunkowo krótkim czasie życia uczestniczy w 90%. Przyjmując na m wartość $1,75 \cdot 10^{17} \text{ g}$ rocznie otrzymuje się na M ok. $1,75 \cdot 10^{12} \text{ t}$.

4. Czwartym rezerwuarem ^{14}C jest atmosfera. Według wielu oszacowań zawartość węgla w atmosferze Ziemi określa się liczbą $0,6 \cdot 10^{12} \text{ t}$.

5. Piąty mniejszy rezerwuar mogą stanowić skały osadowe. Jak pokazują oszacowania, ilość ^{14}C rozpuszczanego w tym rezerwuarze jest niewielka i nie przekracza 3% całkowitej masy ^{14}C . Biorąc pod uwagę wszystkie rezerwuary otrzymuje się na całkowitą masę „rozpuszczalnika“ ^{14}C liczbę około 43 bilionów ton, a stąd koncentrację ^{14}C w węglu trwałym $1,6 \cdot 10^{-12}$ tj. 1 atom ^{14}C na 630 miliardów atomów węgla trwałego ^{12}C i ^{13}C . Tę otrzymaną na drodze rozważań teoretycznych wartość koncentracji radiowęglu można sprawdzić doświadczalnie, mierząc promieniotwórczość próbek węgla naturalnego. Chodzi o to, że ze znajomości czasu połowicznego zaniku ^{14}C oraz koncentracji można ocenić, że promieniotwórczość „roztworu“ naturalnego będzie wynosić około 19,5 rozpadów ^{14}C na minutę na gram węgla naturalnego. Odwrotnie mierząc rzeczywiste promieniotwórczość próbek naturalnych można określić koncentrację ^{14}C . Liczne pomiary, dokonane przez wielu autorów, pokazują, że promieniotwórczość węgla wchodzącego w skład biosfery leży w granicach od 15,5 rozpadów (na minutę i gram) do 17,8. Okazuje się nadto, że promieniotwórczość węglanów jest około 10% silniejsza. Do sprawy tej różnicy w promieniotwórczości węgla naturalnego, pochodzącego z różnych rezerwuarów, powrócimy niżej.

Należy jeszcze wspomnieć, że z chwilą przerwania wymiany atomów węgla, należących do któregośkolwiek zbiornika, promieniotwórczość jego

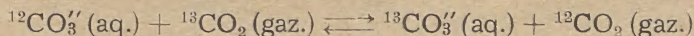
szybko zanika. Można przyjąć, że po upływie ok. 100 000 lat zanika praktycznie całkowicie. Zawartość ^{14}C jest oznaką życia.

Wspomnieliśmy już, że wszystkie izotopy węgla posiadają dokładnie te same jakościowe własności chemiczne, różnice ilościowe wynikają z różnic mas i polegają na różnych szybkościach przebiegania określonych reakcji chemicznych. Reakcje, w których udział biorą atomy ciężkich izotopów ^{13}C i ^{14}C , przebiegają nieco wolniej niż te, w których biorą udział atomy lżejsze ^{12}C . W wyniku tego rozmieszczenie atomów ^{13}C i ^{14}C nie jest w zupełności jednorodne i zależy w dużej mierze od warunków, w których powstał analizowany związek. Jak się okazuje, ilości ^{13}C i ^{14}C w biosferze są niższe niż w węglanach mineralnych. Jednym z procesów naturalnej separacji izotopów jest proces fotosyntezy związków organicznych. Okazuje się, że rośliny hodowane w sztucznej atmosferze, zawierającej mieszaninę izotopów, asymilują łatwiej lekkie izotopy, tak że w atmosferze nad roślinami zachodzi proces względnie szybkiego wzbogacania węgla w ^{14}C ewentualnie w ^{13}C . Robione były próby określania współczynnika separacji izotopów ^{12}C i ^{13}C w tym procesie. Analizy składu izotopowego atmosferycznego CO_2 i składu CO_2 wydychanego przez rośliny wykazują, że skład izotopowy węgla atmosferycznego, tj. stosunek liczby atomów ^{12}C do liczby atomów ^{13}C , wyraża się liczbą $= 91,2$. Skład natomiast węgla we wydychanym przez rośliny CO_2 wynosi odpowiednio 92,6. Podobny skład wykazuje zresztą węgiel kamienny i drzewny (92,5).

Ponieważ trudno przypuszczać, żeby w samym procesie oddychania mogło zachodzić w roślinie jakieś znaczniejsze rozdzielenie izotopów, należy przyjąć, że wydychany CO_2 ma skład identyczny ze składem asymilowanego w procesie fotosyntezy CO_2 . Porównanie wyżej wymienionych składów węgla atmosferycznego i węgla roślinnego wykazuje, że współczynnik wzbogacenia lekkiego izotopu w procesie fotosyntezy wynosi:

$$\frac{92,6}{91,2} = 1,015.$$

W przeciwnym kierunku idzie proces wytrącania się węglanów. Skład izotopowy węgla w węglanach wynosi: 90,0. Jak wykazały badania, powodem tego obniżania się wartości stosunku liczby atomów $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ jest mniejsza szybkość reakcji wymiany w procesach typu np.

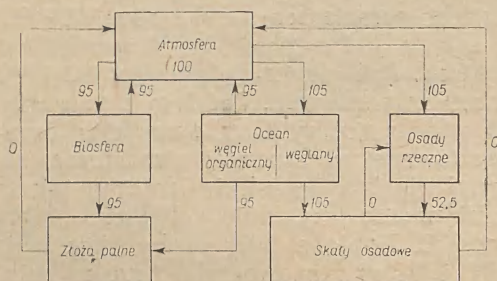


dla atomów ^{13}C w stosunku do atomów ^{12}C . W wyniku tego przy tworzeniu się węglanów izotopy cięższe ulegają wzbogaceniu w stosunku do węgla atmosferycznego o czynnik bliski 1,015. Te same prawa, rządzące rozdzielaniem izotopów ^{12}C i ^{13}C , mają miejsce w jeszcze większej mierze przy rozdziale izotopów ^{12}C i ^{14}C . Jak pokazały bezpośrednie pomiary promieniotwórczości różnych próbek, stosunek liczby atomów izotopów $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ w roślinach i węglanach ma się do siebie jak 10/11. Stosunek ten pozwala wyznaczyć współczynnik wzbogacenia izotopowego w procesach fotosyntezy i wytrącenia węglanów w przybliżeniu na około 1,05.

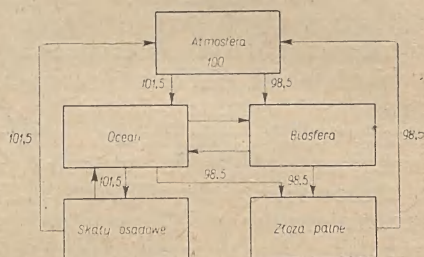
Opisane wyżej zjawiska pozwalają odtworzyć subtelniejszy od konwencjonalnego obraz krążenia węgla w przyrodzie, uwzględniający

zmianę składu izotopowego węgla wymienianego pomiędzy jego wielkimi rezerwuarami.

Zamieszczone poniżej schematy okazują te zmiany. Liczbą 100 określamy na nich koncentrację ciężkich izotopów węgla w atmosferze. Stąd, jak widać, przenikają one silniej lub słabiej do różnych rezerwuarów, aby znów ewentualnie powrócić do atmosfery.



Rys. 1. Krążenie ^{14}C .



Rys. 2. Krążenie ^{13}C .

Godny podkreślenia jest fakt, że dwa główne czynniki separacji; biosynteza oraz reakcja wymiany, działając w przeciwnych kierunkach, podtrzymują koncentrację izotopów ^{13}C w atmosferze na stałym poziomie. Jakim wahaniom w ciągu długich epok geologicznych koncentracja ta podlegała i czy istotnie procesy te dokładnie się kompensują, wykażą dalsze, wysubtelnione badania.

Tadeusz Kochmański

METODA KRAKOWIANOWA I METODA CIĄGÓW WIELOWYMIAROWYCH

I. WSTĘP

W Polsce stał się bardzo popularny po wojnie tzw. „rachunek krakowianowy” promieniując również i na zagranicę, gdzie zaczął stopniowo wypierać inne metody rachunkowe. Wydaje się niemal pewne, że znaczenie tej metody jak i metod od niej pochodnych będzie rosło z biegiem czasu mimo stosowania do obliczeń różnych automatycznych maszyn obliczeniowych, które powinny — sądząc powierzchownie — uczynić obojętną metodę rachunkową, z powodu niemal całkowitego wyłączenia z obliczeń mechanicznej pracy człowieka.

Ponieważ pomysły i teoretyczne rozbudowanie metod krakowianowych pochodzą z Polski, wydaje się ciekawe zapoznanie się z historią, istotą i celem tych rachunków.

Twórcą i głównym teoretykiem rachunku krakowianowego był niedawno zmarły świetny astronom, profesor UJ i dyrektor Krakowskiego Obserwatorium Astronomicznego dr Tadeusz B a n a c h i e w i c z. Początki tego rachunku sięgają roku 1919, a pierwsza większa publikacja T. B a n a c h i e w i c z a „Was sind die Formel neuer Art” pochodzi z roku 1926. Właściwe jednak rozpowszechnienie i rozwój osiąga rachunek krakowianowy dopiero po wyzwoleniu Polski w roku 1945. Staje się on sławny w skali światowej i prawie w każdym większym kraju świata posiada on dziś publikacje i entuzjastów, którzy dążą do jego upowszechnienia.

Prof. T. B a n a c h i e w i c z stworzył koło siebie całą szkołę rachunkową. Uczniami i kontynuatorami jego idei są chronologicznie: zmarła niedawno Z. S t a n k i e w i c z - P i e g z o w a, K. K o z i e ł, T. K o c h m a ń s k i, S. H a u s b r a n d t, Z. D o w g i r d, S. M i l b e r t i inni.

W roku 1946 wzbogaca się idea krakowianowa o nową, odrębną gałąź, tzw. „algebrę jądrową”, a w r. 1951 doczeka się dalszego uogólnienia na tzw. „ciągi wielowymiarowe”.

2. ISTOTA I CEL RACHUNKU KRAKOWIANOWEGO

Spróbujmy krótko odpowiedzieć na pytanie, jaki jest cel rachunku krakowianowego, na czym polega główna zasada prof. T. B a n a c h i e w i c z a i czemu zawdzięcza ten rachunek swoje rozpowszechnienie i sławę.

Początki idei krakowianowej są skromne. Istnieje bowiem od stu z górą lat metoda wykonywania działań na tzw. macierzach, czyli tabelach liczb, stworzona przez C a y l e y'a. Zdefiniował on przy tym 4 typy mnożenia przez siebie macierzy. Ale w praktyce przyjęła się jedynie taka metoda mnożenia przez siebie macierzy, że wiersze pierwszej tabeli mnoży się przez kolumny drugiej tabeli. Uważano — i większość matematyków uważa do dziś dnia — że ta jedynie metoda mnożenia daje największą prostotę związków teoretycznych, czyli daje najprostszą „algebrę macierzy“.

B a n a c h i e w i c z dążył do stworzenia wygodnej metody dla rachmistrza. Dlatego wybrał metodę mnożenia przez siebie tabel kolumnami albo — w pewnych wypadkach — wierszami. Jednakże ta jego decyzja wymagała stworzenia całej nowej — i to trudniejszej — „algebry“. B a n a c h i e w i c z nie tylko ją stworzył, ale i wykazał, że wymaga ona jedynie zapamiętania dwóch dodatkowych prawideł, tzw. „prawa asocjacji“ i „dysocjacji“ przy mnożeniu większej ilości tabel, co przeciętny umysł zapamiętuje już po krótkim okresie czasu. W zamian za to otrzymał B a n a c h i e w i c z nie tylko gotowe schematy rachunkowe we wzorach krakowianowych, ale prócz tego dzięki „symetrycznej“ definicji mnożenia otrzymał on również daleko lepszą jasność związków teoretycznych niż w dotychczasowych wzorach, tzw. macierzowych. Dzięki temu, a również dzięki swej wielkiej przenikliwości poznał on nowe prawa i metody dotychczas nieznanne i dzięki temu mógł znacznie dalej poprowadzić ideę działań na tabelach, niż udało się to dotychczas komukolwiek. Powstała więc metoda rozkładu macierzy na czynniki kanoniczne, metoda dzielenia macierzy, dotychczas uważana za niemożliwą, i metoda znajdowania odwrotnej macierzy czy tzw. „inwersu“.

Teoria została tak silnie rozbudowana i poszła w tak zupełnie odmiennym kierunku niż dotychczas, z zupełnym niemal zarzuceniem wyznaczników, że przy stosowaniu tej nowej idei uznał B a n a c h i e w i c z za właściwe wprowadzić dla macierzy nową nazwę „krakowianów“. Mimo zdecydowanego sprzeciwu matematyków, którzy obstawali przy słusznej zresztą tezie, że krakowiany są identyczne z macierzami, zwyciężyła jednak życiowo konieczna koncepcja, że dla zupełnie nowych metod postępowania i dla innych celów musi być wprowadzona nowa nazwa.

Ta sama bowiem nazwa „macierzy“ musiałaby doprowadzić do przeróżnych pomyłek i nieporozumień, do stosowania fałszywych wzorów, które nieozorowani czytelnicy przynosiliby z publikacji macierzowych do krakowianowych i odwrotnie.

A więc cel rachunku krakowianowego jest zdecydowanie praktyczny. Ma on dać proste, wygodne schematy rachunkowe dla rachmistrza rachującego za pomocą maszyny rachunkowej, wykorzystując tę zasadę maszyny, że może ona — bez potrzeby zanotowywania pośrednich rezultatów — obliczać sumę iloczynów, z których każdy powstaje z pomnożenia dwóch liczb. Przy tym zarabiamy na zapisywaniu tych iloczynów i na ich sumowaniu, ponieważ maszyna wykonuje automatycznie dodawanie pośrednich rezultatów przy wykonywaniu mnożenia. Cykl mnożeń wykonany jednym ciągiem na maszynie do liczenia nazwał T. K o c h m a ń s k i „sumomnożeniem“ i nazwa ta przyjęła się powszechnie. Jest to podstawowa cegielka, podstawowe działanie krakowianowe.

Wprawdzie takie samo sumomnożenie jest znane również z dotychczasowych definicji mnożenia na macierzach, jednakże wybieranie danych w jednej macierzy z wierszy, a w drugiej z kolumn jest zdecydowanie niepraktyczne i dlatego macierze o takiej definicji mnożenia nie znalazły tak powszechnego zastosowania do praktycznych obliczeń, jak „krakowiany”. A co więcej nawet to zastosowanie, które znalazły, zawdzięczają one krakowianom, wskutek przetransponowania metod krakowianowych na metody macierzowe. Macierze *Cayley'a* bowiem wskutek przyjętej „niesymetrycznej” definicji mnożenia (wiersze przez kolumny) niesłychanie utrudniają nie tylko samo rachowanie, ale również zaciemniają teorię, wskutek czego nikt nie potrafił znaleźć przy ich pomocy związków i metod, które natychmiast zauważył zarówno Twórca krakowianów, jak i jego uczniowie i naśladowcy.

3. DEFINICJA TABELI KRAKOWIANOWEJ I DZIAŁAŃ NA NIEJ WYKONYWANYCH

Przy wielkiej ilości liczb występujących w zagadnieniu istotną trudnością staje się uporządkowanie tych liczb w taki sposób, by wszelkie operacje rachunkowe odbywały się w sposób planowy, metodyczny i możliwie prosty. Macierzą lub krakowianem nazywamy tabelę liczb uporządkowanych w formie prostokąta, przy czym poziome rzędky liczb nazywamy wierszami tabeli, a pionowe rzędky liczb nazywamy kolumnami. Tabeli takiej przydajemy jakąś nazwę algebraiczną np. ***a***, przy czym dla zaznaczenia, że jest to tabela, a nie pojedyncza liczba, używamy zgrubienia czcionki albo w ostateczności podkreślenia litery.

Poszczególne liczby, z których składa się krakowian, nazywamy *elementami krakowianu*. Oznaczamy je symbolem a_{ij} dla tabeli ***a***, przy czym wskaźnik *i* oznacza numer kolumny, *j* numer wiersza.

Dwa krakowiany uważamy za jednakowe tylko wówczas, gdy wszystkie elementy ich o tych samych wskaźnikach są sobie równe.

A więc równanie

$$\mathbf{a} = \mathbf{b} \quad (1)$$

oznacza równość

$$a_{ij} = b_{ij} \quad (2)$$

dla wszystkich wskaźników *i, j*, które występują w krakowianach ***a*** i ***b***. Widzimy więc, że równanie krakowianowe może zawierać w sobie bardzo wiele równań zwykłych.

Przez sumę krakowianów ***a*** i ***b*** rozumiemy taki krakowian ***c***, że zachodzi stale

$$a_{ij} + b_{ij} = c_{ij}.$$

Dwie kolumny krakowianowe wymnażamy w ten sposób, że tworzymy sumomnożenie elementów położonych w tych samych wierszach obu kolumn. Natomiast dwa krakowiany wielokolumnowe ***a*** i ***b*** wymnażamy — wymnażając każdą kolumnę krakowianu ***a*** przez każdą kolumnę krakowianu ***b***, otrzymując elementy iloczynu ***c***.

Zachodzi równanie

$$c_{ij} = a_i \cdot b_j, \quad (3)$$

gdzie a_i jest i -tą kolumną krakowianu a , b_j j -tą kolumną krakowianu b .

Dla zrozumienia dalszych wzorów krakowianowych należy jeszcze poznać określenie krakowianu jednostkowego τ . Będzie to krakowian, którego elementy τ_{ii} są jedynkami, a τ_{ij} dla $i \neq j$ są zerami. Zachodzi idempotencja $a \cdot \tau \equiv a$.

Krakowian $\tau \cdot a$ posiada w stosunku do krakowianu a zamienione wiersze z kolumnami. Krakowian taki nazywamy transponowanym i oznaczamy przez τa .

Zachodzą identyczności:

$$a \cdot b = \tau(b \cdot a), \quad (4)$$

$$a \cdot b \cdot c \cdot d = a(d \cdot \tau c \cdot \tau b), \quad (5)$$

$$a(b \cdot c \cdot d) = a \cdot \tau d \cdot \tau c \cdot b. \quad (6)$$

Równanie (5) nazywamy prawem asocjacji, równanie (6) prawem dysocjacji. Są one podstawowe dla algebry krakowianowej.

Nazwijmy *elementem oporowym* taki element różny od zera, poniżej którego w kolumnie nie ma już elementów różnych od zera. Krakowian, który w każdej kolumnie i w każdym wierszu posiada element oporowy, nazywamy *kanonicznym* lub *elementarnym*.

Główne twierdzenie krakowianowe, któremu zawdzięcza idea krakowianowa swoje sukcesy, brzmi krótko: *każdy krakowian, nie złożony z samych zer, da się rozłożyć na iloczyn dwóch krakowianów elementarnych*.

Piszemy to równanie w postaci:

$$a = g \cdot h. \quad (7)$$

Równanie (7) pozwala obliczać wyznaczniki, rozwiązywać równania liniowe, obliczać tzw. „inwersy krakowianów“ (patrz niżej) w sposób niezwykle prosty, dotychczas nieznanym w historii rachunków liczbowych. Jest ono jakby kluczem do rozwiązywania różnych zagadnień liczbowych. Jest to punkt wyjścia, po wykonaniu którego różne rachunki na tabelach stają się już bardzo proste.

Inwersem krakowianu a nazywamy taki krakowian a^{-1} (jeżeli istnieje), że iloczyn ich jest krakowianem jednostkowym τ .

Piszemy

$$a \cdot a^{-1} = \tau. \quad (8)$$

Obliczenie inwersu według (8) można natychmiast wykonać, jeżeli krakowian a jest krakowianem kanonicznym. Natomiast inwers dowolnego krakowianu obliczamy po wykonaniu jego rozkładu według równania (7) za pomocą związku

$$a^{-1} = g^{-1} \cdot h^{-1}. \quad (9)$$

Wiele swoich usprawnień zawdzięczają krakowiany idei dzielenia krakowianowego. Wprowadzamy je za pomocą równania:

$$\mathbf{x} \cdot \tau \mathbf{a} = \mathbf{b}. \quad (10)$$

Jeżeli w równaniu (10) krakowian $\mathbf{x}$ jest niewiadomy, a krakowiany $\mathbf{a}$ i $\mathbf{b}$ wiadome, wówczas piszemy, że

$$\mathbf{x} = \mathbf{b} : \mathbf{a}. \quad (11)$$

Dzielenie (11) jest natychmiast wykonalne, jeżeli krakowian $\mathbf{a}$ jest krakowianem kanonicznym. W przeciwnym razie wykonujemy jego rozkład według równania (7) i wówczas $\mathbf{x}$ obliczamy za pomocą dwukrotnego dzielenia

$$\mathbf{x} = \mathbf{b} : \mathbf{a} = \mathbf{b} : (\mathbf{g} \cdot \mathbf{h}) = (\mathbf{b} : \tau \mathbf{h}) : \mathbf{g}. \quad (12)$$

Szczególnym przypadkiem równania (10) i (12) jest rozwiązywanie równań liniowych, przy czym $\mathbf{x}$ przedstawia wówczas kolumnę niewiadomych, a $\mathbf{b}$ kolumnę wyrazów wolnych. Niewiadome $\mathbf{x}$ można też znaleźć z równania (10) w postaci:

$$\mathbf{x} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{a}^{-1}. \quad (13)$$

Postać (13) jest bardzo ważna, pozwala bowiem obliczyć niewiadome jako wyraźne funkcje wyrazów wolnych. Postać ta, zastosowana do różnych działów techniki, pozwoliła uzyskać bardzo duże oszczędności gospodarcze, np. przy selektywnej eksploatacji surowców (A. T r e m b e c k i).

4. ZASTOSOWANIA METOD KRAKOWIANOWYCH

Najwięcej wysiłku włożył twórca krakowianów w opracowanie teorii błędów i teorii najmniejszych kwadratów w postaci krakowianowej.

Opracowany w ten sposób rachunek wyrównawczy odznacza się niezwykłą przejrzystością, krótkością wzorów i dowodów, jednolitością postępowania i szybkością liczenia. Proces wyrównania da się przedstawić w postaci 3 działań:

- 1) podnoszenia tabeli do kwadratu (tzn. mnożenia jej przez nią samą),
- 2) pierwiastkowania kanonicznego (tzn. rozkładu na dwa identyczne krakowiany elementarne),
- 3) dzielenia krakowianowego.

Jeszcze prościej przedstawia się obliczenie błędów średnich zarówno niewiadomych wyrównania, jak i ich funkcji. Zwłaszcza przy większej ilości niewiadomych lub równań warunkowych rachunek krakowianowy staje się wręcz nieodzowny, skracając czas do ułamka czasu potrzebnego przy metodzie eliminacji G a u s s a, a prócz tego dając rozwiązanie w postaci przejrzystych i niewielkich tabel, których idea jest zawarta w bardzo prostych wzorach.

Drugim takim wielkim osiągnięciem krakowianowym było rozwiązanie problemów poligonometrii kulistej. Okazało się, że w poligonometrii są dwa zasadnicze wzory. Były one znane w trygonometrii kulistej jako wzory G a u s s a - C a g n o l i i układ D e l a m b r e'a. Zostały więc obecnie uogólnione za pomocą metody krakowianowej na poligonometrię kulistą.

Wobec istnienia tych prostych związków nie trzeba problemów poligonometrii kulistej sprowadzać do zadań trygonometrii kulistej, rozkładając poligony na trójkąty. Nowe wzory znalazły bardzo ważne zastosowanie w rozprawie K. K o z i e ĩ a o libracji Księżyca.

Ogromne usługi oddały też metody krakowianowe w budownictwie (Z. D o w g i r d i M. D o w g i r d). Usprawnienia uzyskane w tej dziedzinie pozwoliły niejednokrotnie wykonać plany gospodarcze, których wykonanie w przeciwnym razie natrafiłoby na wielkie trudności. I w tej dziedzinie metody krakowianowe okazały się najlepsze ze wszystkich znanych metod obliczeniowych.

Bardzo szerokie zastosowanie znalazły metody krakowianowe w geodezji. Oddały one usługi przy stosowaniu rachunku wyrównawczego do geodezji, przy obliczaniu potrzebnej dokładności pomiarów przy różnych tzw. „wcięciach” geodezyjnych, a wreszcie przy geodezji wyższej. To ostatnie zastosowanie rokuje jeszcze bardzo wielkie nadzieje na przyszłość. Obecnie już wydrukowano i opracowuje się dalej szereg publikacji, które wskazują na to, że geodezja wyższa będzie mogła być znacznie uproszczona i wzniesie się na wyższy stopień dokładności dzięki metodom krakowianowym (T. B a n a c h i e w i c z, T. K o c h m a ń s k i, S. M i l b e r t). Zreferujemy to dokładniej poniżej przy omawianiu dalszego rozwoju idei krakowianowej, czyli przy tzw. „algebrze jądrowej”.

5. ALGEBRA JĄDROWA

Podstawową ideą przy tworzeniu rachunku krakowianowego było ekonomiczne zastosowanie maszyn do liczenia, czyli arytmometrów. Ta właśnie idea spowodowała ograniczenie stosowania logarytmów. Ale do tego, by wzory dostosowane do logarytmów zamienić na wzory dostosowane do arytmometrów, należało przeorać szereg zagadnień, rozwiązać zagadnienia na innej drodze, otrzymując inne wzory.

W roku 1945 powziął T. B a n a c h i e w i c z myśl bardzo śmiałą przepracowania w ten sposób zagadnień geodezji wyższej. W geodezji wyższej zasadniczą rolę odgrywają funkcje w postaci szeregów potęgowych, a te są trudne do przekształcenia, zwłaszcza dla dwóch zmiennych niezależnych. B a n a c h i e w i c z zauważył, że taki szereg potęgowy dwu zmiennych da się przedstawić jako iloczyn trzech krakowianów, co można zanotować w postaci:

$$z = x a y, \quad (14)$$

gdzie jednokolumnowe krakowiany x i y oznaczają kolejne całkowite dodatnie potęgi zmiennych x i y , począwszy od potęgi zerowej, czyli od jedynki. Natomiast środkowy krakowian a składa się ze współczynników przy różnych potęgach x i y . Jeżeli elementom krakowianu a damy wskaźniki odpowiadające kolumnom i wierszom, podobnie jak to pokazano we wzorze (2), jednakże zaczynając numerację od zera, wówczas dowolny wyraz wielomianu z z wzoru (14) można przedstawić w postaci symbolu

$$a_{ij} \cdot x^j \cdot y^i \quad (15)$$

dla i, j zmieniających się od zera do nieskończoności.

Zbieżność szeregu (14) wymaga między innymi, by a_{ij} były na ogół tym mniejsze im wskaźniki i, j są większe. Dla praktycznych celów bierzemy

więc pewną ograniczoną ilość potęg zmiennych x i y . A więc zachodzi praktycznie

$$i \leq n, j \leq m,$$

gdzie n i m są pewnymi liczbami naturalnymi, zależnymi od stopnia zbieżności szeregu i potrzebnej dokładności.

B a n a c h i e w i c z stworzył dla różnych odwzorowań stosowanych w geodezji wyższej jedną wspólną teorię opartą na szeregach o typie (14). Wykazał on, że dla każdej elipsoidy odniesienia należy obliczyć pewien pomocniczy krakowian, który mnożony przez drugi krakowian — właściwy dla danego odwzorowania — pozwala otrzymać szukany krakowian współczynników. Ten krakowian współczynników pozwala wyliczyć współrzędne prostokątne danego układu odwzorowania ze współrzędnych geograficznych jakiegoś punktu za pomocą równania typu równania (14).

Krakowian współczynników a z wzoru (14) nazwał B a n a c h i e w i c z „jądrem“ danego szeregu potęgowego zarówno dlatego, że tworzy ono właściwą treść szeregu, jak i dlatego, że zajmuje on w równaniu (14) centralne położenie.

Wyodrębnienie współczynników z szeregu potęgowego w postaci osobnej tabeli „jądra“ było niezwykle ciekawym pomysłem i okazało się bardzo płodne w następstwie. Profesor postawił bowiem następne zagadnienia, jakie operacje rachunkowe należy wykonywać na elementach „jądra“ szeregu przy wykonywaniu różnych działań na szeregach. Wytworzona emulacja u pracowników Obserwatorium Krakowskiego pozwoliła niedługo porozwijać szereg nasuwających się tu problemów. Było to efektem zarówno wielkiej umysłowości Profesora, jak i wytworzonej przez Niego atmosfery pracy zespołowej. Toteż wyniki sypały się jak z rękawa.

I tak T. K o c h m a ń s k i podał metodę wykonywania działań na jądrach szeregów, które wymnażamy przez siebie, A. S t r z a ł k o w s k i wyraził powyższą metodę w formie mnożenia przez siebie dwu krakowianów o podanej przez niego budowie, T. K o c h m a ń s k i podał metodę odwracania szeregu jednej zmiennej za pomocą obmyślonych przez siebie symboli, K. K o z i e ł rozwiązał problem transformacji odwrotnej dwu szeregów o dwu zmiennych niezależnych za pomocą symboliki K o c h m a ń s k i e g o, L. S t a n k i e w i c z o w a uprościła nieco wzór podany przez K o c h m a ń s k i e g o, K o c h m a ń s k i uprościł znacznie obliczenie transformacji odwrotnej K o z i e ł a dla tzw. szeregów geodezyjnych itd. Widoczne było, że powstają zręby nowej dziedziny matematyki. Pierwszy zauważył to K o c h m a ń s k i wprowadzając definicję działań na jądrach szeregu, czyli działań „jądrowych“. Powstała więc definicja mnożenia, potęgowania, pierwiastkowania i dzielenia jądrowego. Niedługo potem powstała idea różniczkowania i całkowania jądrowego. A więc powstała cała „algebra jądrowa“.

Za pomocą nowych metod nietrudno było wykonywać na szeregach działania dotychczas uważane za niewykonalne z powodu piętrzących się trudności technicznych. Prócz tego dokładność rachunków była zupełnie niezwykła, przewyższająca tysiące razy dokładność dotychczas uzyskiwaną. Okazało się, że automatyczne maszyny to jeszcze nie wszystko, ponieważ trzeba jeszcze wiedzieć, co i jak liczyć.

Niezależnie od tego powstała myśl zbudowania specjalnych maszyn automatycznych, dostosowanych do działań krakowianowych i jądrowych. Maszyny takie cechowałaby niezwykła prostota i niewielkie wymiary, a więc wielka taniość, co pozwoliłoby rozprowadzić je w terenie i zaopatrzyć w nie nawet nieduże biura obliczeniowe. Jednakże mimo prostoty pomysłu nie jest on niestety dotychczas realizowany.

Powstało już szereg prac będących zastosowaniem metod „algebry jądrowej”. Wymienimy tu pracę K. Kozieła dotyczącą transformacji odwrotnej układu funkcji o dwu zmiennych niezależnych i szereg prac z geodezji wyższej S. Milberta, dotyczących przeliczania jednego układu współrzędnych odwzorowania na drugi. Między innymi podano proste wzory przeliczenia współrzędnych różnych układów, obowiązujących dawniej w Polsce, na wspólny układ współrzędnych.

6. ALGEBRA CIĄGÓW WIELOWYMIAROWYCH

Opisana powyżej „algebra jądrowa” nadawała się do wykonywania działań na szeregach potęgowych jednej i dwóch zmiennych niezależnych. Matematycy (T. Ważewski) wyrażali pogląd, że byłoby bardzo ważne uogólnić te metody na funkcje więcej zmiennych, a przynajmniej na funkcje 3 zmiennych, ponieważ z takimi funkcjami spotykamy się w przestrzennych układach. Próby takiego uogólnienia dały po kilku latach pozytywny rezultat i tak powstały tzw. „ciągi wielowymiarowe”.

Ciągi wielowymiarowe są uogólnieniem zarówno krakowianów, jak i algebry jądrowej, mieszczą więc w sobie obie poprzednie metody rachunkowe jako pewne szczególne przypadki. Przede wszystkim zostało uogólnione pojęcie macierzy (krakowianu). Macierz bowiem jest dwustopniowym uporządkowaniem liczb. Pierwszy stopień polega na uporządkowaniu liczb w zbiorach zwanych kolumnami. W każdej kolumnie jest ustalony porządek liczb i każdej z nich jest przypisany numer porządkowy, tzw. wskaźnik. Drugim stopniem uporządkowania jest uporządkowanie zbiorów pierwszego rzędu, czyli kolumn w macierz. Obecnie każdej kolumnie przydajemy numer bieżący. Jeżeli chcemy wiedzieć od razu położenie elementu w macierzy, to musimy znać zarówno numer kolumnowy, jak i położenie elementu w kolumnie, a więc numer wiersza. A więc dwa wskaźniki określają położenie elementu w macierzy.

W matematyce znamy uporządkowane zbiory. Nazywamy je ciągami. A więc macierze są dwuwskaźnikowymi albo „dwuwymiarowymi” ciągami. Jest więc oczywiste, że można ideę tę uogólnić, dodając dalsze wskaźniki, czyli tworząc ciągi złożone z macierzy, czyli ciągi „trzywymiarowe”, które nazywamy „blokami” a dalej ciągi złożone z bloków, czyli ciągi „czterowymiarowe” itd. Ogólnie biorąc będziemy mieli ciągi wielowskaźnikowe lub „wielowymiarowe”, jeżeli każdemu wskaźnikowi przydamy jeden wymiar.

Na ciągach wielowymiarowych można określać różne sposoby wykonywania mnożenia ciągów. Jeden sposób będzie polegał na mnożeniu na sposób *krakowianowy*, tzn. na mnożeniu kolumn (a więc zbiorów pierwszego rzędu) w ten sposób, że mnoży się elementy (zwane tu wyrazami) położone w tym samym miejscu zbioru, tzn. w tym samym wierszu. Algebra oparta na tym sposobie mnożenia została nazwana algebrą typu *krakowianowego*.

Drugi sposób mnożenia dwóch ciągów n -wymiarowych a_n i b_n tzw. „mnożenie jądrowe“, polega na tworzeniu sumy z iloczynów częściowych po dwa wyrazy pierwszego i drugiego ciągu, których sumy poszczególnych wskaźników obu wyrazów są jednakowe. Suma powstająca z takiego sumomnożenia jest wyrazem ciągu zwanego iloczynem jądrowym ciągów a_n i b_n , przy czym wyrazowi temu przypisujemy wskaźniki będące sumami wskaźników obu wyrazów dających jakikolwiek częściowy iloczyn.

Na przykład element zbioru c_3 , a więc tzw. „bloku“ o wskaźnikach 2, 3, 1, czyli element oznaczony symbolem $c_0(2, 3, 1)$ powstanie z dodania do siebie iloczynów, których kilka wypiszemy:

$$\begin{aligned} & a_0(0, 0, 0) \cdot b_0(2, 3, 1) + a_0(1, 0, 0) \cdot b_0(1, 3, 1) + \\ & + a_0(2, 0, 0) \cdot b_0(0, 3, 1) + a_0(0, 1, 0) \cdot b_0(2, 2, 1) + \\ & + a_0(1, 1, 0) \cdot b_0(1, 2, 1) + \dots \text{ itd.} \end{aligned}$$

Algebra ciągów wielowymiarowych nie tylko objęła algebrę krakowianową i algebrę jądrową jako szczególne przypadki, ale prócz tego znacznie uogólniła wzory i związki spotykane w tych algebrach. Ciekawe jest, że wiele z tych wzorów ma taki sam wygląd po uogólnieniu, tylko w miejscu krakowianu znajduje się w tych wzorach ciąg wielowymiarowy.

Celem tych definicji jest objęcie możliwie wszystkich trudnych i żmudnych rachunków w przejrzyste schematy rachunkowe. Wzory wyrażone tymi „liczbami zespolowymi“ są bowiem od razu prostymi schematami, bardzo łatwymi do zapamiętania i do efektywnego wykonywania obliczeń na arytmetrach. Czasem jeden niewielki wzór służy jako drogowskaz dla rachmistrza rachującego kilka lub kilkanaście dni. Ma on wypisany ten wzór przed sobą i w razie jakiegokolwiek niepewności rzuca tylko na niego okiem. Przy tym obliczenie za pomocą arytmetru przebiega niezwykle ekonomicznie, nie wypisujemy bowiem pośrednich rezultatów, które nie są potrzebne do dalszych rachunków, prócz tego sumowanie wykonuje maszyna już automatycznie, „za darmo“. A dalej wzory są typu rekurencyjnego, tzn. dopiero co obliczane wielkości służą nam do obliczania następnych wyrazów ciągu, a niewiadoma w każdym sumomnożeniu jest tylko jedna. Czasem takie sumomnożenie jest połączone z odejmowaniem, dzieleniem lub pierwiastkowaniem, ale idea postępowania jest zawsze prosta, dostępna dla sił rachunkowych słabo wykwalifikowanych, tzn. znających daną maszynę do liczenia i kilka działań na liczbach zespolowych, ale nie znających teorii, która doprowadziła do końcowego wzoru.

Uogólnienie idei działań na liczbach zespolowych ma znaczenie dwójakie. Po pierwsze pozwala ująć tą metodą możliwie wielką ilość skomplikowanych rachunków, a po drugie czyni opłacalnym zbudowanie specjalnych maszyn automatycznych do działań na liczbach zespolowych. Niemal każde bowiem obliczenie, nawet zwykłe obliczanie współrzędnych prostokątnych ze współrzędnych biegunowych da się za pomocą takich maszyn wykonać automatycznie, a więc bez użycia mechanicznej pracy ludzkiej.

Ponieważ ludzkość w miarę postępu matematyzacji nauk coraz więcej musi liczyć, więc usprawnienie techniki liczenia ma doniosłe znaczenie dla postępu i podniesienia stopy życiowej ludzi pracy.

SPIS LITERATURY

(Wzięto z *Pokłosia 50-letniej działalności naukowej Tadeusza Banachiewicza*, wyd. przez J. Witkowskiego i K. Kordylewskiego — Kraków 1953 r., str. 32—33).

U w a g a: pełnego spisu literatury krakowianowej nie podaje się z powodu zbyt wielkiej ilości tytułów.

Polska literatura krakowianowa w języku polskim

Rachunek krakowianowy stał się znany przez prace naukowe opublikowane w „Cyrkularzach Obs. Krakowskiego“, w „Acta Astronomica“, „Biuletynie PAU“ i z wykładów ich wynalazcy. O krakowianach piszą lub posługują się nimi w literaturze polskiej m. in. nast. autorowie, wymienieni w porządku chronologicznym:

- T. R a k o w i e c k i, *Drogi planet i komet* tom. I, Warszawa, 1928, str. 289—303; tom II, Warszawa 1930, str. 297—307, wyd. Kasy Mianowskiego.
- F. K o e b c k e, *O zastosowaniu krakowianów w astronomii*, (rozprawa doktorska), Poznań 1937, str. 32, nakł. Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk.
- L. S t a n k i e w i c z ó w n a, *O nowej technice rozwiązywania równań normalnych*, Lwów 1938 „Czasopismo Techniczne“, 1938, str. 302—304.
- K. W e i g e l, *Geodezja (Miernictwo)*, Warszawa 1938, str. 445—461.
- E. W a r c h a ł o w s k i, *Zastosowanie krakowianów w rachunku wyrównawczym*, Warszawa 1939, str. 51, wyd. z zapomogi Akademii Nauk Technicznych.
- E. O l s z e w s k i, *Rozwiązanie układów równań liniowych metodą krakowianów*, „Politechnika“, 1946.
- T. K o c h m a ń s k i, *Rachunek wyrównawczy w technice Gaussowskiej i krakowianowej*, Kraków 1946, skrypt, str. 164; II wyd. Kraków 1948, skrypt, str. 184.
- W. S i e r p i ń s k i, *Zasady algebry wyższej*, Warszawa — Wrocław 1946, *Monografie Matematyczne* t. XI, str. 35—36, 76—80.
- T. K o c h m a ń s k i, *Zarys rachunku krakowianowego*, Warszawa 1948, str. 46, wyd. Głównego Urzędu Pomiarów Kraju.
- T. K o c h m a ń s k i, *Zarys algebry i techniki krakowianowej*, Kom. nr 39 „Biuletynu Instytutu Naukowo-badawczego Przemysłu Węglowego“, Katowice 1948.
- S. H a u s b r a n d t, *Interpolacja bezpośrednia w ujęciu krakowianowym* (światłodruk), Warszawa 1947.
- S. H a u s b r a n d t, *Bezpośrednia interpolacja wielomianowa*, Warszawa 1950, str. 117 in 4^o, wyd. Geod. Inst. Nauk. Bad.
- M. P u d l e w i c z, *Krakowiany*, Poznań 1951, skrypt, str. 85.
- Z. D o w g i r d i R. D o w g i r d, *Krakowianowe metody obliczania konstrukcji ramowych*, część I, Warszawa 1952, str. 100, PWN.
- T. B a n a c h i e w i c z, *Metody rachunków astronomicznych*, Kraków 1952, str. 23—112, skrypt, PWN.
- T. B a n a c h i e w i c z, *Rachunek krakowianowy* (w przygotowaniu, PWN z udziałem Polskiego Tow. Astronomicznego), ok. 23 arkuszy druku.
- T. K o c h m a ń s k i, *Działania ciągami wielowymiarowymi*, Gdańsk 1951, „Archiw. Mechan. Stosowanej“, 3 str. 293—345.
- J. J a b ł k o w s k i i L. C h a b o w s k i, *Krakowianowe obliczanie zestawów szklarskich*, „Szkło i Ceramika“, Warszawa 1953, 4, str. 114—117.
- J. W i t k o w s k i, *Astronomia sferyczna*, Warszawa 1953, str. 175, PWN.
- S. H a u s b r a n d t, *Rachunki geodezyjne*, Warszawa 1953, Państw. Przedsięb. Wydawn. Kartograficznych.

Tadeusz Jerzy Wojno

O SIECI KRYSTALICZNEJ

Przed pięćdziesięciu laty w uniwersyteckim podręczniku Wilhelma Ostwalda *Zasady chemii nieorganicznej* atomistyce były poświęcone dwie stronicie: uczony wielkiej miary, jakim był bezsprzecznie Ostwald, uważał ją tylko za hipotezę „wyjaśniającą” (w cudzysłowie, dla zaznaczenia, że nie jest to rzeczywiste wyjaśnienie) prawo stosunków wagowych, ale nie mającą realnych podstaw. Za realną podstawę chemii Ostwald uważał energię chemiczną i był tym tak przejęty, że nawet swą willę pod Lipskiem nazwał „Energia”. Stanowisko Ostwalda względem atomistyki najlepiej może charakteryzuje wypowiedź zamieszczona w wykładach popularnych, wydanych w polskim tłumaczeniu we Lwowie w r. 1907 pod tytułem *Jak powstała chemia*:

„W rozmowach z kolegami zwracałem często uwagę, że pojęcie atomu nie jest niezbędne do wyłożenia i zrozumienia zasad chemii — prawie zawsze odpowiadano mi wówczas: co jak co, ale już własności związków organicznych nie podobna wyłożyć bez teorii atomistycznej, a przez to niezbędność tej teorii jest dowiedziona.

Mimo to muszę powiedzieć, że jestem przeświadczony, że niedługo może stanie się rzeczą możliwą i te fakty przedstawić bez pomocy wszelkich hipotez“.

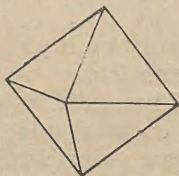
Ostwald nie przewidział, że w kilka lat później odkrycie uginania się światła rentgenowskiego w kryształach, dokonane przez Lauego, poruszy cały świat naukowy, a atom do tego stopnia przestanie być hipotezą, a stanie się rzeczywistością, że Erwin Schrödinger będzie mógł powiedzieć:

„Wątpiliśmy, czy szczegółowe obrazy, za pomocą których staramy się wyobrazić sobie strukturę materii, mogą być uważane za «istniejące rzeczywiście» w tym samym sensie, jak mówimy że istnieją przedmioty dotykalne, np. ten koszyk z owocami. Czy są one — jak ten koszyk — jakby ruszowaniem dla wyobrażeń, które możemy powziąć, a nawet sprawdzić doświadczalnie? Na to pytanie wolno nam odpowiedzieć twierdząco w wielu przypadkach takich, jak np. atomowa sieć przestrzenna w kryształach“.

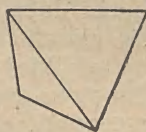
Dla współczesnego człowieka atom rzeczywiście stał się czymś tak realnym, że raczej możemy spodziewać się, że pewnego dnia ujrzymy go na własne oczy przez jeszcze bardziej udoskonalony mikroskop elektronowy, niż że zostanie zgodnie z opinią Ostwalda wyrugowany z chemii i fizyki.

W tym samym czasie, kiedy Ostwald w Lipsku odrzekał się od atomu, w Zurychu twórca teorii związków zespolonych Alfred Werner

głosił w porywających wykładach nowe poglądy na budowę substancji nieorganicznych, podważając dotychczasowe przeświadczenie o wszechwładnym panowaniu wartościowości i wysuwając znaczenie tego, co dziś nazywamy koordynacją i liczbami koordynacyjnymi. Jeszcze przed odkryciem *Lauego* *Werner* mówił; że jego zdaniem w chloroplatynianie potasu K_2PtCl_6 atomy chloru otaczają w najbliższym sąsiedztwie atom platyny, a potas znajduje się w dalszej sferze. W badaniach swych *Werner* doszedł do wniosku, że częstym schematem geometrycznym, przedstawiającym przestrzenne rozmieszczenie atomów dookoła atomu central-



Rys. 1. Ośmiościan.



Rys. 2. Czworościan.

nego, jest ośmiościan z jego sześcioma narożami. W ten sposób przybyła nowa bryła geometryczna w stereochemii, zajmując miejsce obok czworościanu, wprowadzonego z tak wielkim powodzeniem do chemii organicznej przez *van't Hoffa*. Z czasem miało ich przybyć znacznie więcej.

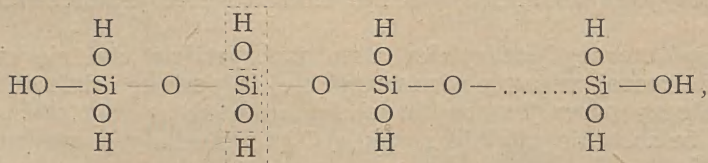
*

Jednocześnie w podręczniku mineralogii *Tschermaka*, wydanym w polskim przekładzie *J. Morozowicza* w r. 1900, można było czytać, że w kryształach istnieją „układy molekularne“, w których cząsteczki ułożone są wzdłuż „linii cząsteczkowych“ i w „płaszczyznach cząsteczkowych“, których istnieniu kryształ zawdzięcza swe krawędzie, ściany i płaszczyzny łupliwości, ale jednocześnie było tam twierdzenie, że kal-

cyt $CaCO_3$ ma wzór „strukturalny“ $Ca \begin{array}{c} \diagup O \diagdown \\ \diagdown O \diagup \end{array} C=O$, anhydryt $CaSO_4$

$Ca \begin{array}{c} \diagup O \diagdown \\ \diagdown O \diagup \end{array} S \begin{array}{c} \diagup O \diagdown \\ \diagdown O \diagup \end{array}$, a krzemiany wywodzą się z kwasów ortokrzemowego

$HO \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} Si \begin{array}{c} \diagdown OH \\ \diagup OH \end{array}$, metakrzemowego $HO \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} Si=O$ lub wielokrzemowych



z których można było „przez utratę wody“ otrzymywać dowolne stosunki stechiometryczne. W koncepcjach tych, które — niestety — pomimo wiel-

kich postępów prac prawdziwie strukturalnych przechowały się w podręcznikach chemii nieorganicznej jeszcze bardzo długo, przejawiał się przemożny w swoim czasie wpływ chemii organicznej, która świeciła prawdziwe triumfy na schematach tego rodzaju w dziedzinie związków alifatycznych. Wielu pracowników i zasłużonych mineralogów straciło mnóstwo czasu i cierpliwego papieru na wyprowadzenie wzorów minerałów, opartych na tych założeniach, po to tylko, aby przekonać się wkrótce, że cała praca poszła na marne. O ile chodzi o krzemiany, które — jak to wiadomo — są szczególnie trudne do ujęcia we wzory chemiczne, to był w tym strukturalnym ujęciu jeden ważny szkopał w porównaniu z chemią organiczną: brak było reakcji podstawiania, na podstawie których udowodniano słuszność wzoru strukturalnego w chemii organicznej. Tylko nieliczne krzemiany (głównie zeolity) w rękach naszego szczególnie zasłużonego w tej dziedzinie badacza, profesora Stanisława Józefa Thugutta, dawały takie reakcje; z reakcji tych wynikało jak na dłoni, że wzory krzemianów są bardzo skomplikowane. Do reszty krzemianów można było zastosować słowa czołowego badacza struktur krystalicznych Sir Williama Bragg'a, który o badaniach krzemianów zwykłymi odczynnikami jak kwas fluorowodorowy, węglan sodu (stapianie), węglan wapnia z węglanem amonu wyraził się jak następuje:

„Wiązania, które sprawiają, że substancja jest ciałem stałym, zostają złamane na samym początku analizy chemicznej; znajdujemy tylko stosunki między ilością atomów różnych pierwiastków. Jest to tak jak gdybyśmy zburzyli dom i policzyli ilość cegieł, desek, szyb itd.; czyniąc to zatracilibyśmy te połączenia, które czyniły to rumowisko domem“.

Przesłanki, które były potrzebne do odkrycia Lauego, zawdzięczamy w równej mierze fizykom i krystalografom. A są one mniej więcej następujące:

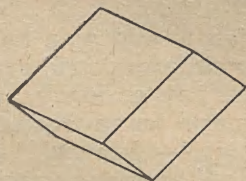
Przesłanka fizyczna: Jeżeli promienie Roentgena są ruchem falowym, to muszą mieć bardzo małą długość fali, gdyż zwykle siatki dyfrakcyjne ich nie uginają (obecnie już i to się udało przy bardzo ukośnym kierunku padania); długość ta wynosi około 10^{-9} cm.

Przesłanka krystalograficzna: Jeżeli kryształy, jak to oddawna twierdzą krystalografowie, są zbudowane z atomów, prawidłowo rozmieszczonych w przestrzeni, to znając ciężar właściwy, ciężar cząsteczkowy i masę atomu wodoru można obliczyć, jaką objętość zajmuje jedna cząsteczka danej substancji krystalicznej, a stąd i wymiar liniowy — „krawędź“ cząsteczki. Masa atomu wodoru jest rzędu wielkości 10^{-24} grama, a w takim razie krawędź 10^{-8} cm.

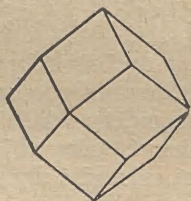
W umyśle Lauego skojarzyły się te dwie przesłanki i wypowiedział on, jak wiadomo, przypuszczenie, że kryształy powinny być naturalnymi siatkami dyfrakcyjnymi dla promieni Roentgena. Doświadczenie, wykonane przez Friedricha na kryształach siarczanu miedzi, potwierdziło przypuszczenie Lauego. Narodziła się nowa gałąź nauki — rentgenografia kryształów, której w ciągu ubiegłych lat czterdziestu zawdzięczamy oznaczenie wielkiej liczby struktur ciał krystalicznych.

Historia rozwoju pojęć o strukturze kryształów sięga siedemnastego wieku. W r. 1665 Hooke oznajmił, że udaje mu się odtwarzać zewnętrzne kształty kryształów za pomocą kulek i śrutu. Huyghens w r. 1690 osiągał to samo za pomocą elipsoid. Haüy w r. 1784 uważał za cząstecz-

ki krystaliczne najmniejsze sześcianki, na jakie można rozbić kryształy soli kamiennej, albo romboedry, na jakie łupie się kalcyt; była to pierwsza próba podziału przestrzeni krystalicznej na prawidłowe wielościany, która jednak nie daje się w tej postaci zastosować konsekwentnie do wielu innych substancji krystalicznych, które nie mają równoległościennej łupliwości, jak np. blaszkowa mika czy słupkowa hornblenda. B r a v a i s w r. 1848 wyprowadził układy jednakowych punktów w przestrzeni, zdając już sobie sprawę z tego, że przygotowuje grunt do rozwiązania sprawy struktury kryształów. Tzw. sieci B r a v a i s a w liczbie czterestu przetrwały do dnia dzisiejszego jako schematy rozmieszczenia atomów w sieciach krystalicznych. W r. 1897 S o h n k e podał 64 grupy punktów, uwzględniając już osie śrubowe jako pierwiastki symetrii. I wreszcie, jako ostateczne wyniki w tej dziedzinie, dali: F i e d o r o w w latach 1885—1890, S c h o e n f l i e s w r. 1891 i B a r l o w w 1894 — pełny wywód 230 tzw. „grup przestrzennych“. Są to wszelkie możliwe grupy symetrii, jakie można otrzymać, kombinując ze sobą na wszelkie sposoby wszystkie możliwe pierwiastki symetrii: odbicia w płaszczyznach symetrii, obroty około osi, inwersje, przesunięcia równoległe — translacje, odbicia w płaszczyznach ślizgowych i obroty około osi śrubowych. Jest to skończony wywód geometryczny, do którego nic dodać ani od którego nic odjąć nie można. W każdej grupie przestrzennej zostaje powtórzony w określony sposób i w określonej liczbie zależnej od położenia każdy obrany punkt, a za taki punkt mamy obecnie prawo uważać atom lub jon tego czy innego pierwiastka. Krystalograf monachijski Paul G r o t h jeszcze przed odkryciem L a u e g o twierdził stanowczo, że tymi powtarzanymi w przestrzeni punktami są nie cząsteczki, lecz atomy. W mineralogii T s c h e r m a k a była mowa o powtarzaniu się tylko cząsteczek, a obecnie wiemy, że bywa i tak i tak, tylko że struktur, w których powtarzają się cząsteczki, jest znacznie mniej niż atomowych lub jonowych.



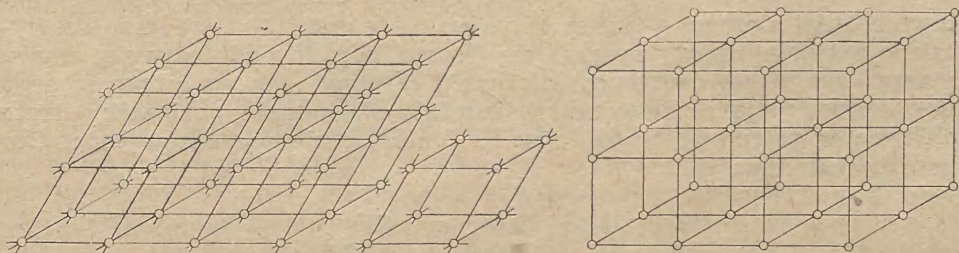
Rys. 3. Romboedr.

Rys. 4. 12-ścian
rombowy.Rys. 5. Kombina-
cja sześcianu z
ośmiościanem.

Fiedorow, obdarzony niezwykle wyobraźnią przestrzenną i nadzwyczajnymi zdolnościami matematycznymi, umiejący ujmować całokształt każdego zagadnienia w nieznanym przed nim w krystalografii sposób, dał nie tylko wywód grup przestrzennych, ale również wyprowadził wszelkie możliwe przypadki dzielenia przestrzeni na jednakowe stykające się ze sobą wielościany wypełniające przestrzeń bez luk, zwane *paralleloedrami*. Były to, znane już H a ü y e m u, sześcian i romboedr, ale ponadto — słup

sześcioboczny z podstawą, dwunastościan rombowy i tzw. kubooktaedr, czyli kombinacja sześcianu z ośmiościanem. Oprócz tych figur, mogących mieć bardzo wysoką symetrię, wypełniają przestrzeń również i ich zdeformowane odmiany, jak prostopadłościan, słup o przekroju kwadratowym z podstawą, skośne równoległościany. Nie należą tu natomiast takie wielościany jak czworościan i ośmiościan, gdyż przyłożone do siebie albo ustawione obok siebie pozostawiają luki. Podział przestrzeni na paralleloedry miał dla struktur duże znaczenie, gdyż podzieliwszy w ten sposób prawidłowo przestrzeń możemy wyobrazić sobie, że atomy położone są przede wszystkim na narożach, krawędziach, ścianach i wewnątrz paralleloedrów; w ten sposób otrzymujemy różne ich ugrupowania.

Najczęściej stosujemy w rozważaniach strukturalnych równoległościan, którego krawędzie uzgodnione są z osiami współrzędnych kryształu, a długość tych krawędzi — z obliczonym z pomiarów kryształu stosunkiem osiowym. Taki równoległościan skośny czy prostokątny o krawędziach różnej, czy jednakowej długości, zależnie od symetrii kryształu, nazywamy celką lub komórką sieciową.

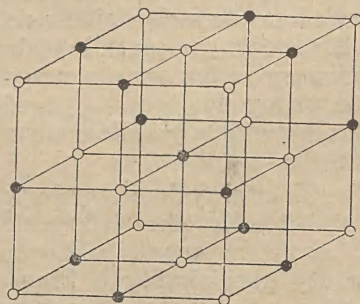


Rys. 6. Sieć przestrzenna: a) skośnokątna b) prostokątna.

Wyobraźmy sobie, że cała przestrzeń krystaliczna podzielona jest na takie równoległościany w ten sposób, że w narożach równoległościanów leżą wszędzie atomy identyczne tego samego pierwiastka chemicznego, np. sodu w strukturze chlorku sodu, wapnia we fluorku wapnia, platyny w chloroplatinianie potasu itd. Uważamy te punkty dłatego za identyczne, że każdy z nich ma przed sobą i poza sobą, po lewej i po prawej stronie, nad sobą i pod sobą zupełnie takie same najbliższe otoczenie, jak którykolwiek inny też leżący w narożu. Tak przedstawia się dla zespołu identycznych atomów tzw. sieć przestrzenna kryształu. Jej najistotniejszą cechą stanowi to, że na równoległych prostych, poprowadzonych przez punkty, atomy powtarzają się rytmicznie, ściśle w jednakowych dla danego kierunku odległościach. Pojedyncza celka została oznaczona na rysunku grubszymi liniami. Stanowi ona zasadniczy element struktury, gdyż — ponieważ cała sieć przestrzenna składa się z powtarzających się równoległe celek — wystarczy wiedzieć, ile mieści się atomów, jonów lub cząsteczek w jednej celce, jak one są rozmieszczone i jakie wymiary i kształt ma celka, aby znać całą sieć przestrzenną kryształu.

Z przeprowadzonych dotychczas wielu badań rentgenograficznych wynika, że każda substancja krystaliczna ma właściwą sobie sieć przestrzenną, różną od sieci innych substancji. Jeżeli nawet szereg substancji ma celkę tego samego typu i z takim samym rozmieszczeniem atomów wzglę-

dem elementów celki, to i tak długości krawędzi celki nie będą jednakowe, lecz każda substancja będzie miała takie długości krawędzi, jakie odpowiadają wymiarom jej atomów. Sześcienna celka chlorku sodu ma inne wymiary niż celka chlorku potasu czy fluorku rubidu, pomimo że zasadniczy



Rys. 7. Struktura NaCl.

czy schemat rozmieszczenia atomów jest we wszystkich przypadkach ten sam. Z tego faktu wynikają dwa ważne wnioski. Pierwszy to ten, że atomy stają się dla nas bardzo realne z chwilą, gdy dowiadujemy się, że w szeregu pierwiastków pokrewnych, jak lit — sód — potas — rubid — cez, w których każdy następny pierwiastek ma atom o większych wymiarach od poprzedniego, odpowiednio do coraz większej liczby elektronów i coraz większego jądra atomowego, odpowiednio do wzrastających wymiarów atomu wzrastają wymiary celki. Czujemy się instynktownie bliżsi atomów — kulek H o o k a niż energii O s t w a l d a. To wy-

czucie realności atomu wzmaga się jeszcze, gdy dowiadujemy się, znowu z wyników badań rentgenograficznych, że jony jednego i tego samego pierwiastka mają różne wymiary zależnie od stopnia jonizacji: utrata elektronów powoduje bardzo znaczne zmniejszenie wymiarów jonu. Oto parę przykładów:

Cl^{1-} 1,81 Å	Cl 0,99 Å	Cl^{17+} 0,26 Å
O^{2-} 1,32	O 0,66	O^{6+} 0,09
S^{2-} 1,74	S 1,04	S^{6+} 0,3
C^{4-} 2,60	C 0,77	C^{4+} 0,2
Si^{4-} 2,71	Si 1,17	Si^{4+} 0,39

W tabelce tej podane są promienie jonowe w pierwszej i trzeciej kolumnie, a atomowe — w drugiej (w ångströmach = 10^{-8} cm). Dodatkowo jony węgla i tlenu, tych dwóch najważniejszych pierwiastków, są trzy-nastacie razy liniowo, a 13^3 razy objętościowo mniejsze od jonów ujemnych!

*

Zadanie, przed którym stoi każdy badacz struktury ciał krystalicznych, polega na ustalaniu na podstawie badań rentgenograficznych:

1) wymiarów celki przestrzennej, której kształt i stosunek osiowy już jest znany z pomiarów krystalograficznych,

- 2) liczby cząsteczek substancji, jaka przypada na celkę,
- 3) rozmieszczenia atomów lub jonów poszczególnych pierwiastków w celce i ich koordynacji, tj. sposobu, w jaki jedne są rozmieszczone dookoła drugih,
- 4) grupy przestrzennej, jednej z 230, do której należy badana substancja ze względu na symetrię swej budowy.

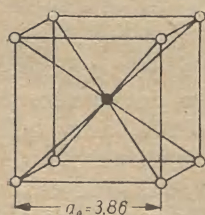
Jako środki pomocnicze do tych badań opracowali krystalografowie zaraz po odkryciu Lauego odpowiednie dzieła pomocnicze, z których pierwszym była *Krystalografia geometryczna przestrzeni nieciągłej* Szwajcara Paula Niggli'ego z r. 1919. W roku 1935 zaś ukazało się dwutomowe podstawowe dzieło zbiorowe w trzech językach *Tablice międzynarodowe do oznaczania struktury kryształów*. Jest to przede wszystkim szczegółowy przegląd grup przestrzennych Fiedorowa — Schoenfliesa z ich symetrią i stosunkami liczbowymi ilości atomów, jaka może występować w różnych położeniach w celce. Rozpiętość jest tu znaczna: od jednego atomu w celce trójskośnej o najniższej symetrii — aż do 192 jednakowych atomów tego samego pierwiastka, jakie są możliwe w najwyższej symetrycznej celce układu regularnego. Ta liczba atomów zależy od ich położenia względem pierwiastków symetrii według bardzo prostej zasady: najwięcej atomów jest wtedy, gdy leżą one poza wszystkimi pierwiastkami symetrii, gdyż wtedy wszystkie te pierwiastki symetrii biorą udział w powtarzaniu atomów, a najmniej atomów jest w celce wtedy, gdy atom leży w punkcie, w którym przecina się najwięcej pierwiastków symetrii, gdyż wtedy te wszystkie przecinające się ze sobą pierwiastki wcale atomu nie powtarzają. Mając przed oczyma wzór chemiczny, w którym podane są różne pierwiastki z różnymi współczynnikami, badacz struktury już ma wskazówkę, które pierwiastki przy rozważaniach typu struktury należy umieścić w celce w miejscach bardziej symetrycznych, a które w mniej symetrycznych. Np. jeżeli atomów jednego pierwiastka jest trzy razy więcej niż drugiego, a w sieci występują osie trzykrotne, to ten drugi może leżeć na osi trzykrotnej, a ten pierwszy nie.

Stosunki stechiometryczne są ponadto w prostym związku z położeniem atomu na różnych elementach geometrycznych celki. Jeżeli atom leży wewnątrz celki, to należy w całości do tej celki; jeżeli leży na ścianie, to należy do tej celki tylko w połowie, gdyż ściana jest wspólna dla dwóch sąsiadujących celek; jeżeli na krawędzi — to do czterech sąsiadujących, a więc do danej celki tylko w jednej czwartej; i wreszcie jeśli leży w narożu celki, to w jednej ósmej. W strukturach mamy do czynienia prawie zawsze z obsadą naroży, gdyż sami obieramy za początek układu współrzędnych środek najważniejszego atomu (kationu), którego jest najmniej, a poza tym — ze środkami ścian i krawędzi, ze środkiem przestrzennym i wreszcie — ze środkami przestrzennymi wszystkich ośmiu, albo tylko czterech spośród ośmiu małych równoległościaków, jakie można otrzymać, przepełniając trzykrotnie celkę równolegle do jej ścian. Zależnie od położenia atomów nad tym czy innym z tych elementów celki, wynikają różne stosunki stechiometryczne, jak to ilustrują przykłady zestawione w tabeli.

Przykłady struktur o różnych stosunkach stechiometrycznych

	NaCl	CsCl- α	Blen- da ZnS	ReO ₃	Dia- ment	BiF ₃	Co(NH ₃) ₆ J ₃	CaF ₂	MgCu ₂
Naroża $\frac{8}{8} = 1$	Na	Cs	Zn	Re	C	Bi	Co(NH ₃) ₆	Ca	Mg
Środki krawędzi $\frac{12}{4} = 3$	Cl			O		F	J		
Środki ścian $\frac{6}{2} = 3$	Na		Zn		C	Bi	Co(NH ₃) ₆	Ca	Mg
Środek przestrzenny 1	Cl	Cl				F	J		
4 małe sześciany 4			S		C	F	J	F	Mg
4 małe sześciany 4						F	J	F	4 Cu
Liczba cząsteczek	4	1	4	1	8 at	4	4	4	8
Krawędź celki w Å	5,6	4,11	5,42	3,72	7,02	5,85	10,89	5,45	7,01

W strukturze NaCl jony sodu umieszczone są w narożach i na środkach ścian, co daje $\frac{8}{8} + \frac{6}{2} = 4$ jony, chlor zaś na środkach krawędzi i w środku przestrzennym, co daje $\frac{12}{4} + 1 = 4$ jony. Wynika stąd, że na celkę przypadają cztery cząstki NaCl. Cząsteczek jako takich, tj. połączeń jednego atomu sodu z jednym tylko atomem chloru, nie ma tutaj wcale; jest tylko koordynacja, polegająca na tym, że każdy jon sodu jest otoczony w najbliższym sąsiedztwie przez 6 jonów chloru, i na odwrót, każdy jon chloru tak samo przez 6 jonów sodu. Taką koordynację oznacza się symbolem NaCl₆, w którym górna liczba oznacza otoczenie sodu przez chlor, a dolna — otoczenie chloru przez sód. Łącząc ze sobą odcinkami prostych środki otaczających atomów, otrzymujemy tzw. „wielościąg koordynacyjny“, który w tym przypadku jest ośmiościanem z jonami chloru lub sodu na sześciu narożach. Jest to bardzo rozpowszechniony typ struktury; należy do niego szereg związków o stosunku stechiometrycznym 1:1 między dwoma pierwiastkami.



Rys. 8. Struktura CsCl.

Ten sam typ struktury ma chlorek cezu, ale tylko w temperaturze powyżej 445°C. Poniżej tej temperatury chlorek cezu ma odmienny, jednocząsteczkowy typ struktury, w którym jony cezu znajdują

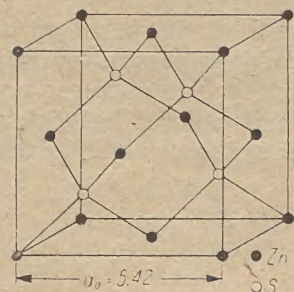
się w narożach celki, a Cl w środku przestrzennym. Koordynacja polega tutaj na otoczeniu centralnego jonu chloru przez 8 jonów cezu i odwrotnie, przy czym jony otaczające leżą w narożach sześcianu według wzoru $\text{CsCl}_{\frac{8}{8}}$.

W szeregu związków metali alkalicznych z chlorowcami ciekawie przedstawia się sprawa przejścia od typu chlorku sodu (soli kamiennej) do typu chlorku cezu. W szeregu tym pierwsze ogniwo — fluorek litu — ma krawędź celki równą 4,02 Å, fluorek sodu 4,62, potasu 5,35, rubidu 5,63 i cezu 6,01. A więc krawędź celki wzrasta półtora raza, a objętość dwa i ćwierć razy. Promienie jonowe wynoszą:

Li^{1+}	Na^{1+}	K^{1+}	Rb^{1+}	Cs^{1+}	F^{1-}	Cl^{1-}
0,78	0,98	1,33	1,49	1,65	1,33	1,81

Zupełnie tak samo wpływa na wymiary celki zwiększenie promienia jonowego przy przejściu od fluoru poprzez chlor i brom do jodu. Pozornie bez żadnych innych komplikacji ujawnia się to zjawisko od fluorku litu do fluorku cezu włącznie. I tutaj nagle chlorek cezu wyłamuje się z szeregu, tworząc własny typ. Dokładniejsze zbadanie tego zjawiska potwierdziło dobrze znany fakt, że budowa krystaliczna zależna jest od dwóch czynników: temperatury i ciśnienia. Okazało się mianowicie, że istnieje odmiana chlorku cezu - β o typie soli kamiennej, ale w temperaturze wyższej od 445°C. Natomiast chlorek rubidu w temperaturze — 190°C ma strukturę chlorku cezu - α , i tę samą strukturę mają KCl, KBr, KJ, RbCl, RbBr i RbJ pod ciśnieniem przewyższającym 3000 atmosfer. Wiedząc o tej zmienności zwanej polimorfizmem (wielopostaciowością), powinniśmy zawsze patrzeć na wyniki badań struktury ze świadomością, że jest to tylko wycinek rzeczywistości, ważny w danych warunkach temperatury i ciśnienia i podległy zmianom w innych warunkach.

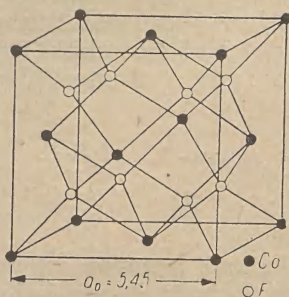
Stosunek stechiometryczny 1:1 może być realizowany również przez obsadzenie jonami jednego pierwiastka naroży i środków ścian i rozmieszczenie jonów drugiego we wnętrzach co drugiego z ośmiu małych sześcianów. Daje to często występujący typ blendy cynkowej ZnS.



Rys. 9. Struktura blendy.

W sieci diamentu mamy zupełnie ten sam układ atomów, co w typie blendy cynkowej, ale wszystkie punkty obsadzone są atomami węgla. Jako charakterystyczny motyw tej sieci występują czworościany, mające atomy węgla po narożach i wewnątrz czworościanu. Jest to więc typowa koordynacja czworościenna, najstarszy wiekiem wielościan koordynacyjny chemii organicznej. I chociaż trudno z punktu widzenia własności chemicznych i fizycznych porównywać najtwardszy minerał, jaki istnieje na kuli ziemskiej, ze związkami szeregu tłuszczowego, to jednak nie podobna zaprzeczyć faktu, że w diamencie najmniejsza odległość pomiędzy dwoma atomami węgla wynosi 1,54 Å, a w węglowodorach łańcuchowych 1,534. Druga odmiana pierwiastka węgla — grafit ze swą odległością między-

atomową wynoszącą 1,42 Å nie różni się tak bardzo pod tym względem od pierścieni benzenowych w antracenie i naftalenie, gdzie mamy 1,41 Å, a dalsze podobieństwo polega na tym, że grafit zbudowany jest z płaskich sześćcioatomowych pierścieni węgla, podczas gdy pierścienie krystalicznych związków organicznych przeważnie bywają pogięte. Ponadto i w sieci diamentu możemy dopatrzeć się również sześćcioatomowych



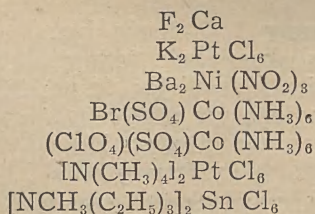
Rys. 10. Struktura fluorytu.

Porównując w tabeli strukturę MgCu_2 ze bą na przemian atomy leżące na środkach ścian z atomami leżącymi wewnątrz małych sześciątów.

Porównując w tabeli strukturę MgCu_2 ze strukturą diamentu widzimy, że istnieje pomiędzy nimi duże podobieństwo, polegające na tym, że w sieci MgCu_2 magnez obsadza wszystkie punkty, które w sieci diamentu są obsadzone przez węgiel, a ponadto atomy miedzi wchodzi po cztery (w kształcie czworościanów) do wnętrza pozostałych czterech małych sześciątów. Daje to ogółem 8 atomów magnezu, jak w diamentcie, i $4 \times 4 = 16$ atomów miedzi, czyli 8 cząsteczek MgCu_2 .

Struktura, w której jeden pierwiastek zajmuje naroża i środki ścian, a drugi środki wszystkich ośmiu małych sześciątów, musi mieć stosunek stechiometryczny 1 : 2. Jest to typ CaF_2 — minerału fluorytu. Fluor otacza sześciennie atomy wapnia, a wapń tylko czworościennie atomy fluoru, stąd koordynacja $\text{CaF}_{\frac{8}{4}}$. Ten typ ma duże znaczenie nie tylko jako re-

prezentant sporej grupy związków (powyżej 50), ale jeszcze większe bodaj jako zasadniczy szkielet struktur znacznie bardziej złożonych; tak złożonych, że na pierwszy rzut oka trudno byłoby nawet przypuszczać, że mają one jakikolwiek związek z typem fluorytu. Przyjrzyjmy się okiem chemika następującemu szeregowi związków



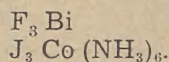
Pokrewieństwo wydaje się dość wątpliwe. Natomiast z punktu widzenia struktury schemat jest dość przejrzysty. W narożach sześcienniej celki i na środkach ścian leżą: Ca, Pt, Ni, Co, lub Sn.

Wewnątrz wszystkich ośmiu małych sześciątów: F_2 , K_2 , Ba_2 , Br i SO_4 , ClO_4 i SO_4 ; grupy $\text{N} (\text{CH}_3)_4$; i wreszcie grupy $\text{NCH}_3 (\text{C}_2\text{H}_5)_3$, co daje podobnie jak we fluorycie stosunek stechiometryczny 1 : 2. Natomiast po prawej stronie zachodzą komplikacje, polegające na tym, że centralny atom platyny, niklu, kobaltu czy cyny otoczony jest koordynacyjnie bądź sześcioma atomami chloru, bądź również sześcioma grupami NO_2 lub NH_3 . Trud-

no chyba o dobitniejszy przykład skomplikowanej ornamentyki przy zachowaniu bardzo prostego, zasadniczego planu.

A jednocześnie zarysowuje się drugi, niezmiernie ważny fakt: w jednym i tym samym typie struktury znajdujemy związki pod względem chemicznym najzupełniej różne, a właściwie mające tylko jedną cechę wspólną: stosunek stechiometryczny głównych pierwiastków. Wyjaśnienia przyczyny tego zjawiska wolno nam oczekiwać od dalszych badań w dziedzinie struktury i w dziedzinie budowy i własności atomu. Na razie badacze struktury dopiero wykrywają i stwierdzają te zdumiewające analogie.

Przykładami stosunku stechiometrycznego 1:3 są w tabeli struktury ReO_3 , BiF_3 i $\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{J}_3$. Pierwszy jest najprostszy, bo ma tylko ren w narożach i tlen na krawędziach celki, jedną cząsteczkę w celce i odpowiednio do tego małe wymiary celki. W drugim, który najlepiej możemy porównać z fluorytem, dodatkowy atom fluoru w BiF_3 powstaje przez dodanie do struktury CaF_2 jednego atomu fluoru w środku przestrzennym celki. Strukturę trzeciego po tylko co omówionym szeregu, wywodzącym się z fluorytu, od razu wyjaśnia zestawienie

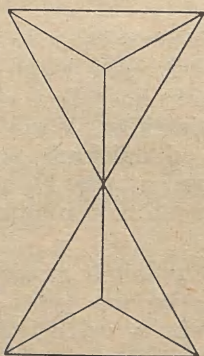


Cała różnica polega na otoczeniu centralnego atomu kobaltu sześcioma grupami NH_3 (ośmiościenne). Ta dodatkowa ornamentyka odbija się oczywiście na wymiarach celki: 10,89 Å !

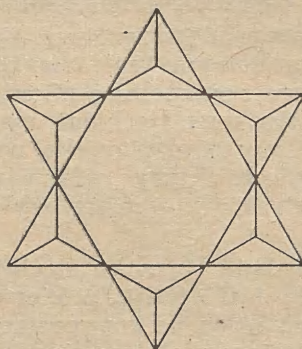
Te wybrane przykłady ilustrują parę najważniejszych faktów z dziedziny struktury kryształów. Z faktów tych zasługuje jeszcze na specjalne podkreślenie względnie niewielka liczba ustalonych typów struktury w porównaniu z liczbą zbadanych związków. Badacz przystępujący do pracy nad nowym, nie zbadanym jeszcze związkiem nie może się spodziewać, że wykryje nowy, nie znany dotychczas typ struktury; szczególnie jeżeli były już przedtem badane związki pokrewne. Często wynikiem takiego badania będzie tylko zaliczenie danej substancji do dawniej znanego typu, a jedyną nową zdobyczą — ustalenie wymiarów jej celki.

Na zakończenie parę słów o tym, jak przedstawiają się według współczesnych badań elementy struktury krzemianów, tak błędnie interpretowanych przed pół wiekiem.

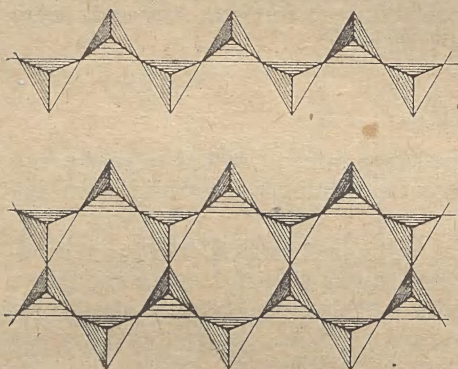
Już H o o k e bawiąc się naukowo śrutem i kulkami zauważył, że cztery kulki jednakowej wielkości, doprowadzone do najściślejszego zetknięcia ze sobą, tworzą czworościan. Pozostawiają one pomiędzy sobą wolną przestrzeń, wynoszącą 0,259 objętości czworościanu, podczas gdy osiem kulek, zetkniętych w sposób wymuszony w kształcie sześcienu, pozostawia 0,476 przestrzeni pustej. Ten najściślejszy układ atomów występuje w czystej formie w typie miedzi, do którego należy wiele pierwiastków, a poza tym znajdujemy taki sam motyw czworościanu we wszystkich strukturach, które mają obsadę naroży i środków ścian (por. tabelę). W strukturze krzemianów występuje on w postaci czworościanu utworzonego z czterech dużych jonów tlenu, pomiędzy którymi, w pozostałej pustej przestrzeni, mieści się mały jon krzemu. Jony tlenu łączą się na zewnątrz albo z jonami innych pierwiastków, jak metale alkaliczne



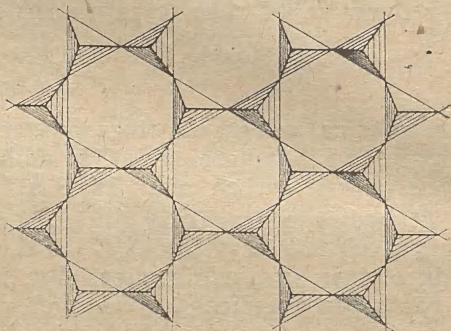
Rys. 11. Budowa jonu Si_2O_7 , powstałego z dwóch czworoscianów SiO_4 .



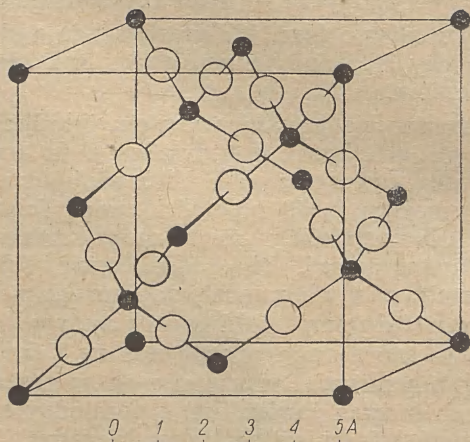
Rys. 12. Zamknięty pierścień utworzony z 6 czworoscianów SiO_4 .



Rys. 13. Łańcuch pojedynczy i podwójny

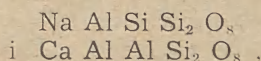


Rys. 14. Warstwy czworoscianów SiO_4 .



Rys. 15. Struktura kryształitu SiO_4 .

czy metale ziem alkalicznych, czy też żelazo, mangan itd., albo też — bardzo często czworościany są ze sobą powiązane poprzez naroża w grupy po dwa; trzy, cztery lub sześć w pierścienie; łańcuchy czy wstęgi złożone z powiązanych ze sobą czworościanów ciągną się nieraz w określonym kierunku przez cały kryształ itd. I wreszcie znajdujemy struktury, w których z takich samych czworościanów zbudowane są warstwy lub układy trójwymiarowe. Wykrycie tych prawidłowości wyjaśniło wiele przedtem niezrozumiałych stosunków stechiometrycznych, jak np. budowę jonu Si_2O_7 , który składa się po prostu z dwóch czworościanów, połączonych ze sobą przez naroże, lub Si_4O_{11} , który powstaje przez połączenie dwóch łańcuchów z czworościanów. W budowie glinokrzemianów drugim zasadniczym motywem obok krzemu z czterema tlenami jest jon glinu, otoczony ośmiościnnie sześcioma jonami tlenu. W wielu glinokrzemianach warstwy SiO_4 i AlO_4 leżą na przemian, a różnice w chemizmie tłumaczą się mniejszą lub większą liczbą jednych i drugich. Stosunki stechiometryczne komplikują się tutaj ponadto na skutek tego, że glin, jak to względnie niedawno wykryto, może częściowo zastępować krzem w czworościanach. Fakt ten tłumaczy stosunki chemiczne w grupie skaleni sodowo-wapniowych (plagioklazów). Z punktu widzenia chemii dawnej przejście od wzoru $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ do $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, z którym mamy tu do czynienia, trąciło nieco herezją ze względu na różne wartościowości; obecnie kiedy wiemy, że jony sodu i wapnia mają bardzo zbliżone wymiary, i że glin może zastępować krzem, sprawa stała się łatwo zrozumiała; chodzi tu o podstawianie



i to w najróżniejszych stosunkach ilościowych.

Wszystkie przytoczone w tym krótkim przeglądzie fakty przemawiają za tym, że w zagadnieniach struktury materii krystalicznej krystalografia ma niezmiernie dużo do powiedzenia. Wielościany i schematy koordynacyjne rozmieszczenia punktów otaczających pewien punkt centralny, to są sprawy rozpatrywane przez krystalografów, przy czym cechą charakterystyczną dociekań krystalograficznych jest to, że nie ograniczają się one do poszczególnych przypadków, lecz za każdym razem dążą do wyczerpania wszelkich teoretycznych możliwości. Fiedorow, Schoenflies i Barlow osiągnęli pełny wywód 230 grup przestrzennych i dzięki temu stworzyli ramy do wszelkich dalszych badań. Podobnie obecnie krystalografia podaje chemikom, że teoretycznie mogą się spodziewać tylu przypadków otoczenia centralnego atomu przez inne atomy, ile jest tzw. postaci prostych w krystalografii, tj. 47. Liczby koordynacyjne Wernera 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 odpowiadają dla krystalografa najczęstszym wielościanom koordynacyjnym, jak: odcinek linii prostej, dwie proste pod kątem lub w tym samym kierunku, trójkąt, kwadrat lub czworościan, sześciokąt czy ośmiościan, kuboooktaedr.

W r. 1945 pojawiła się książka Paula Niggli'ego, wybitnego krystalografa, mineraloga i petrografa obecnej doby pt. *Podstawy stereochemii*. Nie należy się dziwić, że autor, który w wielu swych pracach ogarniał całokształt zagadnień krystalograficzno-strukturalnych, wreszcie wyszedł poza granice mineralogii i uznał za możliwe dać chemikom

podstawy stereochemii w ogóle, traktując je zwyczajem krystalografów możliwie wyczerpująco.

50 lat temu można było jeszcze odżegnywać się od atomu. Ostatnie półwiecze można bez przesady nazwać atomowym, i to nie tylko w dziedzinie struktury kryształów. Trudno przewidzieć, a może i niebezpieczne byłoby przewidywać, co będzie za lat 50. Ale gdyby nawet miał znów nastąpić jakiś zasadniczy przewrót, to chemicy będą mogli pocieszyć się energiczną wypowiedzią ojca chemii B e r z e l i u s a, który powiedział: „Niech diabli piszą podręczniki chemii, bo co parę lat cały kram się zmienia.“

Arkadiusz Musierowicz

PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O POWSTAWANIU I KSZTAŁTOWANIU SIĘ GLEB

WSTĘP

Gleboznawstwo jest nauką, która ma na celu zbadanie gleb jako utworów przyrodniczych, a więc zbadanie ich genezy, budowy, żyzności, właściwości i rozmieszczenia na powierzchni kuli ziemskiej. Gleboznawstwo jest zwornikiem wszystkich nauk przyrodniczych, łączącym grupę nauk zajmujących się przyrodą martwą z grupą nauk biologicznych. Poznanie gleb jest podstawowym warunkiem racjonalnej kultury rolnej i leśnej. Pozwala nam ono, między innymi, zorientować się w tym, jakie tereny w państwie powinny być zalesiane, jakie użyte pod sady, a jakie utrzymane pod roślinami uprawnymi i łąkami.

Racjonalne płodozmiany, mechanizacja uprawy roli, nawożenie roli, regulacja stosunków wodnych w glebach, rejonizacja upraw itd. — mające na celu zwiększenie żyzności gleb, a co za tym idzie, uzyskiwanie coraz to większych plonów roślin uprawnych — nie są do pomyślenia bez uprzedniego poznania gleb. Stąd też bez rozwoju gleboznawstwa nie może być należytego postępu ani w rolnictwie, ani w leśnictwie. Planowanie bowiem w rolnictwie, a w pewnej mierze i w leśnictwie, musi być oparte na mapach glebowych i bonitacyjnych oraz na właściwościach gleb.

Na podstawie wskazań gleboznawczych powinny być wybierane tereny pod pola i zakłady doświadczałne. Poznanie właściwości gleb oraz ich skał macierzystych ma również duże znaczenie, jeżeli chodzi o budownictwo w ogóle, a budownictwo drogowe w szczególności.

Przed nauką gleboznawstwa stoi więc poza zadaniem prowadzenia prac naukowych oraz dydaktycznych jeszcze inne poważne zadanie do spełnienia, polegające na opracowaniu wskazań zmierzających do podniesienia żyzności gleb i na rozwinięciu kierunku usługowego dla gospodarki narodowej. Szczególne nasilenie tego kierunku niezbędne jest w okresie socjalistycznej przebudowy rolnictwa. Rozwijające się socjalistyczne rolnictwo dostarcza gleboznawstwu wielu problemów, które wymagają szybkiej realizacji, co jest jednak jeszcze w szeregu wypadków utrudnione lub nawet chwilowo nieosiągalne z braku albo odpowiednio opracowanej metodyki badań, albo z braku aparatury, albo wreszcie z braku dostatecznej ilości wysoko wykwalifikowanych gleboznawców.

Biorąc pod uwagę zasadnicze cechy utworów glebowych, a więc ich złożoność oraz zmienność uwarunkowaną czynnikami przyrodniczymi i gospodarczą działalnością człowieka, należy zdawać sobie sprawę z tego,

że zarówno metodyka badań, jak i przeprowadzanie samych badań nad właściwościami gleb powinny być kompleksowe przy współudziale innych specjalistów z różnych dziedzin nauk przyrodniczych oraz powinny się opierać, szczególnie jeżeli chodzi o dynamikę gleb, na wieloletnich obserwacjach. Człowiek zaś tak powinien wpływać na właściwości gleb, aby rośliny znajdowały w nich optymalne warunki swego rozwoju i plonowania. Podstawowym więc i najważniejszym zadaniem zarówno gleboznawstwa, jak i innych nauk, interesujących się glebami jest taka problematyka, która poprzez zbadanie właściwości gleb zdąży do stałego podnoszenia ich żyzności, gwarantującej możliwość uzyskiwania wysokich plonów roślin uprawnych oraz dużego przyrostu drzew leśnych.

Po tych krótkich uwagach, podkreślających znaczenie zarówno teoretyczne, jak i praktyczne zadań gleboznawstwa i konieczność przeprowadzania prac zespołowych, przechodzę do omówienia zagadnienia dotyczącego powstawania i kształtowania się gleb.

Artykuł mój ma na celu ułatwienie czytelnikom interesującym się gleboznawstwem opanowanie zagadnień, którymi się ta nauka zajmuje.

POWSTAWANIE I KSZTAŁTOWANIE SIĘ GLEB

Za *gleby* uważamy te powierzchniowe poziomy skał, które zostały przekształcone pod wpływem rozmaitego rodzaju organizmów żywych, wody i powietrza. Ściślej się wyrażając można stwierdzić, że gleba jest funkcją następujących czynników glebotwórczych: biosfery, klimatu, skały macierzystej, hydrosfery, rzeźby i wieku terenu oraz działalności człowieka. Kształtowanie się więc gleb odbywa się pod wpływem oddziaływania na rozkruszony, rozdrobniony i mniej lub więcej zwietrzwały materiał skalny wyżej wyszczególnionych czynników glebotwórczych, a więc biosfery, klimatu, hydrosfery, rzeźby terenu i człowieka.

Powstawanie gleb jest przede wszystkim procesem biologicznym, związanym z życiem i nieprzerwaną jego ewolucją na powierzchni ziemi. Stąd między innymi wypływa znaczenie wieku gleb jako czynnika glebotwórczego. Właściwy więc proces tworzenia się gleb mógł się rozpocząć na ziemi dopiero wtedy, kiedy pojawiły się na niej żywe organizmy, a przede wszystkim mikroorganizmy wiążące wolny azot z powietrza. Organizmy te przyczyniły się do nagromadzenia w zwietrzelinach skalnych zapasów związków azotowych, które umożliwiły rozwój roślin zielonych, nie mogących bezpośrednio korzystać z wolnego azotu atmosferycznego.

Abiotyczny proces wietrzenia skał musiał poprzedzać proces tworzenia się gleb. Obecnie procesy wietrzenia i tworzenia się gleb przebiegają równolegle, a przykładów czystego abiotycznego wietrzenia szukać możemy jedynie na pustyniach i na terenach wiecznego lodu.

Każdy z wyszczególnionych wyżej czynników glebotwórczych wpływa nie tylko na glebę, ale i na wszystkie pozostałe czynniki bezpośrednio lub pośrednio przez glebę. Stąd też czynników glebotwórczych, nie wyłączając i najistotniejszego z nich biosfery, nie należy rozpatrywać oddzielnie i w izolacji od gleb.

Nie można przecież zrozumieć genezy gleb bagiennych bez uwzględnienia czynnika hydrologicznego, tworzenia się rędzin pomijając właści-

wości skały wapiennej, kształtowania się gleb laterytowych w oderwaniu od klimatu tropikalnego itd.

Gleba jest utworem dynamicznym zmiennym. Zmienność pokrywy glebowej ma miejsce nie tylko w przestrzeni, ale również w czasie. Poszczególne typy gleb, a więc stadia rozwojowe gleb, są to tylko pewne przejściowe formy jedynego i dynamicznego procesu glebotwórczego, odbywającego się w czasie. Gdy zmienia się wypadkowa działania czynników glebotwórczych, a przede wszystkim szata roślinna, to w ślad za tym zmienia się i typ gleby.

Jak już podkreślono wyżej, najistotniejszym czynnikiem glebotwórczym jest *biosfera*, a przede wszystkim świat roślin wyższych i mikroorganizmów glebowych. Rola świata zwierząt wyższych przy tworzeniu i kształtowaniu się gleb sprowadza się głównie do rozdrabniania szczątków roślinnych i mieszania ich z masą glebową. Zwierzęta natomiast przyczyniają się w mniejszym stopniu do biochemicznej przemiany składowych części gleb.

W glebach zachodzą ciągle przemiany związków nieorganicznych w organiczne i odwrotnie przemiany związków organicznych w nieorganiczne. Procesy syntezy związków organicznych oraz procesy ich rozkładu przez organizmy stanowią tzw. mały obieg mineralnych, a więc również azotowych składników pokarmowych roślin, który przebiega na tle dużego obiegu geologicznego. Zasadniczą częścią tego dużego obiegu geologicznego jest wietrzenie. Równoległe do procesów biologicznych przebiegają w glebach procesy chemiczne i fizyko-chemiczne jako nierozdzielnie połączone elementy całego systemu glebotwórczego.

W glebach i na powierzchni gleb, w ściółkach, występują różne w różnych ilościach, charakterystyczne dla poszczególnych typów gleb rodzaje próchnicy, tej ważnej substancji organicznej o bardzo skomplikowanym składzie chemicznym i ciemnym zabarwieniu, wytwarzanej w wyniku procesu humifikacji.

Klimat i skały macierzyste spełniają poważną rolę przy tworzeniu się gleb, ponieważ określają charakter i właściwości społeczności roślinnych, które odgrywają, jak już podkreślono wyżej, decydujące znaczenie przy tworzeniu się gleb. Niedocenianie przez niektórych gleboznawców roli skał macierzystych jako czynnika glebotwórczego jest dużym błędem. Szczególne znaczenie przy kształtowaniu się gleb mają skały zasobne w węglan wapniowy, opóźniając lub wstrzymując powstawanie gleb bielicowych w lasach, a sprzyjając wytwarzaniu się gleb darniowych, a w szczególności gleb próchniczno-węglanowych.

W Polsce mamy dużą różnorodność skał macierzystych a mianowicie: skały magmowe, skały metamorficzne i różne skały osadowe: okruchowe niespojone lepiszczem, masywne spojone lepiszczem i organogeniczne. Z wyszczególnionych skał, jeżeli chodzi o tereny nizinne i wyżynne, do najważniejszych należą skały osadowe: żwiry, piaski, gliny, utwory pyłowe, iły, piaskowce, pyłowce, iłowce, wapienie, margle, torfy, itd.; ta różnorodność skał jest jedną z przyczyn dużej różnorodności naszych gleb.

Podkreślając, że skały macierzyste wywierają duży wpływ na właściwości kształtujących się z nich gleb, szczególnie w pierwszym okresie ich tworzenia się, należy stwierdzić, że nie zawsze z jednakowych skał macierzystych muszą się tworzyć te same gleby np. z pokładów lessowych

w zależności od działania wypadkowej czynników glebotwórczych na te skały macierzyste tworzą się u nas czarnoziemy, gleby bielcowe lessowe lub gleby brunatne lessowe. Odwrotnie na różnych skałach, o ile wypadkowa działania pozostałych czynników glebotwórczych jest ta sama, tworzyć się mogą gleby tego samego typu, np. gleby bielcowe wytworzone z lessów, gleby bielcowe wytworzone z gliny zwałowej, gleby bielcowe, wytworzone z piasków itp.

Charakteryzując działanie *hydrosfery*, jako czynnika glebotwórczego, należy rozróżniać jej działanie powierzchniowe i wgłębne (wody gruntowe). Działania powierzchniowe hydrosfery obejmują zjawiska erozyjne i aluwialne, a więc także zjawiska namulania gleb, a w szczególności gleb bagiennych. Procesy erozyjne, uwarunkowane zresztą rzeźbą terenu, prowadzą do wytwarzania gleb *rozmywanych* i *namywanych*. Działanie wgłębne hydrosfery jest działaniem skomplikowanym, decydującym o procesach biologicznych zachodzących w glebach, a poza tym między innymi działaniem rozpuszczającym.

W klimacie dostatecznie wilgotnym, przy odpowiednim nasileniu oddziaływania wód gruntowych i powierzchniowych oraz przy współdziale odpowiedniej roślinności hydrofilnej, mogą powstawać gleby *bagienne* (mułowo-bagienne i torfowe). W klimacie suchym przy współdziale wody gruntowej zasolonej mogą się tworzyć różne gleby słone.

Rzeźba terenu, a więc ukształtowanie powierzchni terenu, decydując o procesach erozyjnych, a więc o procesach zmywu i namywu, i oddziałując na lokalną zmianę klimatu, a w szczególności na stosunki wilgotnościowe gleb, wpływa również pośrednio na proces tworzenia i kształtowania się gleb.

Poważną rolę jako czynnik glebotwórczy odgrywa *człowiek* dzięki swej wielostronnej działalności w stosunku do gleb. Omawiając znaczenie czynników glebotwórczych w kształtowaniu się gleb należy pamiętać, że gleba nie jest jednak utworem biernym, ale sama wywiera również pewien wpływ na roślinność i na układ warunków, w których się ona rozwija.

Podstawową cechą gleb, która wyróżnia je od nieurodzajnych skał, jest ich *żyźność*, a więc zdolność do równomiernego zaopatrywania roślin w składniki pokarmowe, w wodę i w tlen. Zagadnienie żyźności gleb to nie tylko zagadnienie o znaczeniu teoretycznym, ale i o dużym znaczeniu praktycznym. Stąd też walka o żyźność gleb, a więc o uzyskiwanie stale wzrastających plonów roślin uprawnych, musi stać się najważniejszym celem naszego rolnictwa.

Gleby wraz z przyziemną warstwą atmosfery, z wodą, z górnymi warstwami skał macierzystych oraz z organizmami glebowymi tworzą kompleksy zwane *biogeocenozą*¹. W uformowanej biogeocenozie proces glebotwórczy jest procesem zamkniętym, ale może być procesem odwracalnym. W procesie tym można rozróżniać dwie fazy: pierwszą fazę formowania się gleb, kiedy proces glebotwórczy przebiega dość szybko, oraz drugą fazę ewolucji gleb, kiedy proces glebotwórczy przebiega znacznie wolniej. Ewolucja gleb trwa ciągle i jest ona równocześnie ewolucją biogeocenozy, w skład której wchodzi te gleby.

¹ Biogeocenoza — zespół różnych gatunków roślin albo zwierząt, lub roślin i zwierząt przebywających wspólnie w danym biotopie.

W wyniku procesu glebotwórczego, na który składa się szereg procesów, a między innymi mineralizacja i humifikacja substancji organicznych, akumulacja, wymywanie i wmywanie różnych związków w profilach glebowych, zwietrzeliny skalne uzyskują specjalną budowę profilową i barwę, strukturalność, zdolność zatrzymywania wody oraz powietrza, zdolność sorpcyjną i wzbogacają się w próchnicę, we wtórne minerały ilaste (kaolinit, montmorylonit itd.) i w przyswajalne dla roślin składniki pokarmowe, wytwarzając określone typy to jest *stadia rozwojowe gleb*. Nie należy jednak sądzić, że po wytworzeniu gleb zanika w nich działanie czynników glebotwórczych. Proces glebotwórczy trwa dalej, ale przebieg jego ze względu na właściwości wytworzonych poziomów glebowych jest nieco odmienny niż początkowy proces glebotwórczy. Przy niezmiennym się nasileniu działania czynników glebotwórczych zmiany dotyczą tylko poszczególnych genetycznych poziomów gleb, podczas gdy typ gleby jako taki utrzymuje się niezmienny. W tym dopiero wypadku, kiedy zachodzą większe zmiany w działaniu czynników glebotwórczych, następuje metamorfoza typu glebowego.

W wykształconych profilach glebowych różnych typów gleb mogą występować następujące poziomy:

- 1) poziom próchniczny, zwany również eluwialno-akumulacyjnym,
- 2) poziom wymywania, zwany eluwialnym,
- 3) poziom wmywania, zwany iluwialnym,
- 4) poziom glejowy,
- 5) poziom skały macierzystej.

Oczywiście, że nie każdy typ gleby musi posiadać wszystkie wyszczególnione poziomy.

Obecnie przechodzę do opisu poziomów glebowych.

P o z i o m y a k u m u l a c y j n e.

Poziomy akumulacyjne powstają na skutek skomplikowanych procesów, które przebiegają w górnych warstwach glebowych. Ich wynikiem jest między innymi nagromadzenie próchnicy i związków mineralnych. Poziomy akumulacyjne wyróżniają się w profilach glebowych ciemniejszym zabarwieniem, które spowodowane jest przez cząstki próchniczne. Miąższość warstw próchnicznych w naszych glebach podlega bardzo dużym wahaniom.

Nad poziomami akumulacyjnymi w glebach leśnych występuje warstwa ściółki leśnej, a w glebach łąkowych oraz w nieuprawnych glebach stepowych — warstwa ściółki łąkowej lub stepowej.

P o z i o m y w y m y w a n i a (eluwialne).

Poziomy eluwialne są poziomami glebowymi, zmienionymi przez prąd wody zstępującej, która zwiększa rozpuszczalność składników glebowych i przemieszcza je wraz z bardzo drobnymi zawiesinami roztworów glebowych w głąb profili glebowych. Poziomy eluwialne tworzą się zazwyczaj pod poziomami próchnicznymi².

Poziomy eluwialne jako szaro-białawe poziomy eluwialno-bielicowe zaznaczają się wyraźnie w glebach bielicowych. W innych glebach poziomy eluwialne zaznaczają się niewyraźnie, nazywamy je wtedy pozio-

² W bielicach poziom eluwialno-bielicowy występuje bezpośrednio pod poziomem ściółki leśnej.

mami eluwialnymi przejściowymi. Mamy i takie gleby, które nie posiadają poziomów eluwialnych, np. rędziny czyste, kredowe.

P o z i o m y w m y w i a l n e (iluwialne).

Poziomami iluwialnymi nazywamy takie poziomy glebowe, w których nagromadzają się wymyte i wylugowane z górnych poziomów przez zstępującą wodę drobnitkie cząstki glebowe oraz związki próchniczne, żelaza, glinu, wapnia, fosforu itd.

Z powodu nagromadzenia się w poziomach iluwialnych cząstek koloidalnych poziomy te w glebach całkowitych są przeważnie zwęższe od poziomów eluwialnych oraz od skał macierzystych. W naszych glebach występują zarówno poziomy iluwialne węglanowe, jak i poziomy iluwialne żelazowe.

Poziomy iluwialne węglanowe zawierają nagromadzone CaCO_3 , a częściowo i MgCO_3 , wymyte z górnych warstw glebowych. Poziomy iluwialne półtoratlenków żelaza i glinu występują w glebach bielcowych. Poziomy iluwialne z plamami eluwialnymi nazywamy poziomami iluwialno-eluwialnymi, a z plamami glejowymi — poziomami iluwialno-glejowymi.

P o z i o m y g l e j o w e.

Poziomy glejowe są to poziomy glebowe, zabarwione na kolor zielonkawoniebieskawy lub niebieskawy połączeniami dwuwartościowego żelaza. Te połączenia żelaza dwuwartościowego powstają na skutek procesów redukcyjnych albo w glebach ciężkich, z natury bardzo słabo przewiewnych, lub w glebach zbyt silnie nawilgocanych przez podsiąkające wody gruntowe. Procesy redukcyjne potęgowane są przez redukcyjne własności zawartych w wodach gruntowych substancji organicznych.

S k a ł y m a c i e r z y s t e.

W profilach glebowych pod genetycznymi poziomami leżą skały macierzyste podłoża. Warstwy gleb leżące w stropie skały macierzystej przechodzą w nią stopniowo. Wygląd i budowa profilów glebowych, uzupełnione badaniami właściwości gleb, pozwalają wnioskować, z jakimi typami gleb mamy do czynienia, a więc w jakim stadium rozwojowym znajdują się dane gleby.

Uzupełniając wiadomości dotyczące gleb należy dodać jeszcze, że materiału mineralnego dostarczają glebom skały macierzyste, źródłem próchnicy w glebach jest biosfera, źródłem gazów przeważnie atmosfera, a źródłem wody — hydrosfera. Energia niezbędna dla przebiegu różnorodnych procesów, jakie zachodzą w glebach, pochodzi z energii słonecznej.

Oprócz składników litosferycznych gleby koncentrują również nieobecny w skałach azot, który jest składnikiem pochodzenia atmosferycznego.

Masa gleb, a więc i masa ich poszczególnych poziomów genetycznych, składa się z części *stałych* (organicznych, mineralnych i organo-mineralnych), *płynnych* (roztwory glebowe) oraz *gazowych* (powietrze glebowe) i charakteryzuje się specyficznymi, ale zmiennymi w czasie, właściwościami chemicznymi, fizycznymi i biologicznymi.

Faza płynna i gazowa zajmuje pory glebowe, a więc przestrzenie w glebach nie zajęte przez fazę stałą.

W skład części *organicznych* gleb wchodzi:

- 1) *próchnica* (produkt humifikacji połączeń organicznych),
- 2) *resztki roślinne i zwierzęce* w różnym stadium rozkładu,
- 3) *organizmy glebowe* (wyższy oraz niższy świat roślinny i zwierzęcy).

Związki mineralne gleb składają się z mniej lub więcej zmienionych i rozdrobnionych odłamków skał macierzystych, pierwotnych minerałów, znajdujących się w stanie mniejszego lub większego zwietrzenia, produktów rozpadowych minerałów, tzw. minerałów ilastych (wtórnych glino-krzemianów podgrup kaolinitowej, montmorylonitowej i ilitowej oraz uwodnionych tlenków żelaza i glinu) a wreszcie z prostych minerałów wtórnych, wytworzonych w rezultacie mineralizacji substancji organicznych.

Minerały pierwotne stanowią przeważnie tylko domieszkę do minerałów wtórnych głównej składowej części mineralnej masy glebowej. Wyjątek stanowią piaski, w których zawartość pierwotnych minerałów przewyższa zawartość minerałów wtórnych.

W glebach występują również wtórne dyspersyjno-koloidalne minerały mieszanego *mineralno-organicznego* pochodzenia, stanowiące cenną składową część gleb znajdujących się w kulturze.

Faza płynna w glebach składa się z wodnych roztworów właściwych i koloidalnych o bardzo zmiennym jakościowo i ilościowo składzie. Rola roztworów glebowych, jeżeli chodzi o zabezpieczenie roślin w mineralne składniki pokarmowe i oddziaływanie tych roztworów na właściwości gleb, a w szczególności na ich strukturę, jest bardzo duża. Jeżeli chodzi o roztwory „skalne” i glebowe, to najistotniejszą różnicę między tymi roztworami stanowi obecność tylko w roztworach glebowych związków organicznych, które wraz z próchnicą wywierają wielostronny wpływ na zachodzące w glebach procesy biologiczne i chemiczne.

Na *fazę gazową* gleb składa się powietrze atmosferyczne, dwutlenek węgla wydzielany przez korzenie roślin i mikroorganizmy w czasie oddychania oraz przy rozkładzie związków organicznych i dwuwęglanów, a wreszcie para wodna, parująca z roztworów glebowych. Faza gazowa gleb, podobnie jak fazy stała i płynna, cechuje się ciągłą zmiennością zarówno swego składu jakościowego, jak i ilościowego.

Gleby charakteryzują się zmiennością *periodyczną i nieperiodyczną*. Zmiany nieperiodyczne rozpoczynają się już w okresie przeobrażeń skał macierzystych w gleby i trwają przez cały okres życia tych gleb. Zmiany periodyczne są to zmiany, które zachodzą w glebach jako układach dynamicznych corocznie.

Jak już podkreślono wyżej, *proces glebotwórczy* przebiega różnie w zależności od rodzaju zmieniających się formacji roślinnych i współżyjących z nimi bakterii i grzybów oraz od wypadkowej działania innych, poza biosferą, czynników glebotwórczych.

Opierając się na koncepcjach Wiliamsa można stwierdzić, że formacjom roślinności drzewiastej leśnej, leśno-łąkowej, łąkowo-bagiennej (mśzysto-bagiennej), łąkowo-stepowej i stepowej, współżyjącej z różnymi mikroorganizmami glebowymi oraz związanymi z nimi charakterystycznymi procesami humifikacji, odpowiadają różne typy tworzenia się gleb, powstające w poszczególnych okresach jednego procesu glebotwórczego.

Przy wydzielaniu typów gleb należy uwzględnić nie tylko ich stan obecny, ale i historię ich rozwoju.

Przyjmując w zasadzie teorię Wiliama o jedynym procesie glebotwórczym charakteryzując poniżej poszczególne okresy tego jedynego procesu glebotwórczego i podając, jakie ważniejsze typy gleb wytwarzają się w tych okresach:

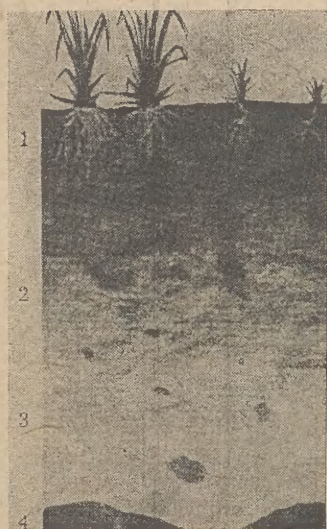
1. *Okres bielcowy*, który w najbardziej typowej formie przebiega pod szatą zwartej roślinności drzewiastej leśnej. Kwaśne produkty wytwarzane przy rozkładzie ściółki drzew leśnych, głównie za pośrednictwem grzybów, przesiakają w głąb profilu glebowego, wywołując w nim większe lub mniejsze zmiany, a częściowo rozpad poszczególnych glinokrzemianów na składowe części, z których te glinokrzemiany są zbudowane. W wyniku tych zmian i przemieszczania związków mineralnych i organicznych górne warstwy gleb odbarwiają się, wzbogacają w krzemionkę i w glebach tworzą się poziomy *wymywania-bielcowe* a niżej poziom *wymywania-półtoratlenków żelaza i glinu* i powstają *bielice*, gleby kwaśne, nie posiadające, praktycznie rzecz biorąc, pod poziomami ściółki leśnej poziomów akumulacyjnych. W przyrodzie spotykamy przeważnie nie czyste bielice, lecz gleby *darniowo-bielcowe* (strefa leśno-łąkowa), posiadające już w mniejszym lub w większym stopniu wykształcone poziomy próchniczne.

Proces bielcowy jest procesem biochemicznym, nie wszystkie jednak fragmenty tego procesu są w dostatecznym stopniu wyjaśnione. Szereg badaczy, a między innymi J. Tomaszewski i S. Jarkow uważają, że gleby bielcowe mogą się tworzyć w lasach tylko w tych wypadkach, kiedy w górnych warstwach tych gleb panują czasowo okresy nadmiernego uwilgotnienia-anaerobiozy, a po nich następują okresy aerobiozy. Jeżeli przeważają w glebach leśnych okresy anaerobiozy, tworzą się wtedy gleby bagienne, a przy przewadze okresów aerobowych w warunkach niecałkowitego nawilgotnienia się gleb powstają gleby darniowe.

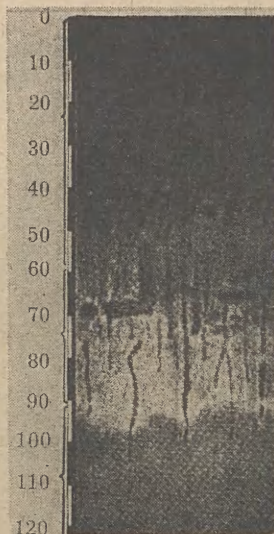
2. *Okres darniowy*, o którym decyduje roślinność łąkowo-bagienna, łąkowa i łąkowo-stepowa.

Zasadniczą cechą okresu darniowego procesu glebotwórczego jest nagromadzanie się w glebach związków próchnicznych i związków organicznych. Przyczyną nagromadzenia się próchnicy w stadiach darniowo-łąkowym i łąkowo-stepowym są biologiczne właściwości roślinności łąkowej i łąkowo-stepowej, obumierającej dopiero w jesieni i dostarczającej wierzchnim warstwom glebowym znacznych ilości resztek roślinnych. Rozkład resztek roślinnych zaczyna się dopiero na wiosnę i odbywa się powoli w warunkach anaerobowych i anaerobowo-aerobowych, umożliwiających nagromadzanie się w glebach próchnicy.

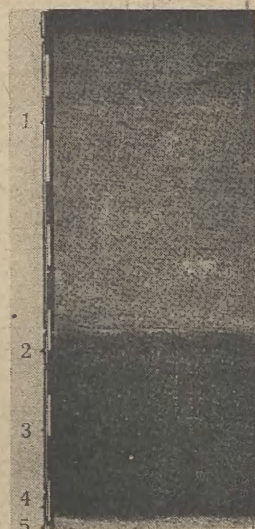
W okresie darniowym procesu glebotwórczego możemy rozróżnić następujące stadia: *przejściowe darniowo-bielcowe, łąkowe, bagienne i łąkowo-stepowe* (czarnoziemne). Widzimy więc, że w okresie darniowym procesu glebotwórczego istnieją różne możliwości rozwoju i zmian pokrywy glebowej, uwarunkowane obecnością formacji roślinnej, łąkowej, łąkowo-stepowej i mszysto-bagiennej i wypadkową działania innych czynników glebotwórczych.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Rys. 1. Lateryt — czerwonoziem: 1 — czerwona ziemia pH 5—7, substancji organicznych 0,5—1,5%; 2 — poziom plamisty, pH 6—7; 3 — poziom rozkładu, pH 7—9; 4 — skała macierzysta.

Rys. 2. Czarna ziemia.

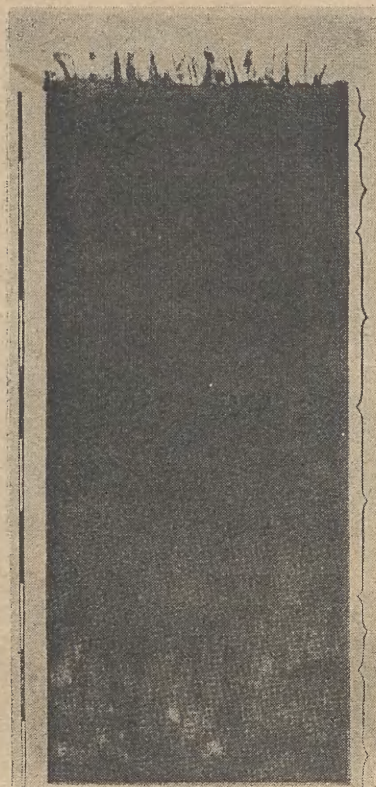
Rys. 3. Torf wysoki: 1 — torf wysoki, 2 — torf przejściowy, 3 — torf niski, 4 — torf gitia (Mudde), 5 — piasek, woda gruntowa.

Jeżeli stadium łąkowe okresu darniowego kombinuje się z okresem bielcowym, tworzą się wtedy, jak to już zaznaczono wyżej, gleby *darniowo-bielcowe*.

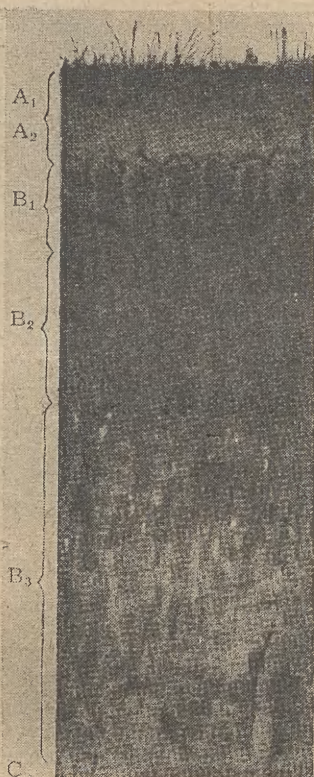
Z gleb darniowych *stadium łąkowego* na specjalną uwagę zasługują mady, gleby wytworzone na współczesnych osadach rzecznych oraz gleby próchniczno-węglanowe.

Odrębną grupę gleb *darniowo-brunatnych* stanowią gleby wytworzone w lasach liściastych ze skał macierzystych zasobnych w CaCO_3 , zabarwione pod poziomami próchnicznymi na kolor brunatny, nie wykazujące w swych profilach znaczniejszych przesunięć związków żelaza i glinu. Geneza tych gleb nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśniona.

W *stadium bagiennym* okresu darniowego w warunkach nadmiernego uwilgotnienia przy współudziale roślinności mszysto-bagiennej tworzą się różne *gleby bagienne*. *Stadium łąkowo-stepowe* prowadzi do tworzenia się różnych czarnoziemów. Czarnoziemy tworzą się według Williamsa albo w rezultacie metamorfozy gleb bagiennych, kiedy to po stadium bagiennym następuje stadium łąkowo-stepowe, lub bezpośrednio z gleb stadium łąkowego pod wpływem roślinności zielonej łąkowo-stepowej. W Polsce gleby wytwarzane z gleb bagiennych i nadmiernie wilgotnych, wskutek ich stopniowego wysychania, nazywane są *czarnymi ziemiami*. Stadium łąkowo-stepowe prowadzi do znacznego nagromadzenia się w czarnoziemach próchnicy i to próchnicy czynnej, oraz do two-



Rys. 4



Rys. 5

Rys. 4. Typowy czarnoziem na lessokształtnej glince (wg Krasiuka).

Rys. 5. Sołonec słupkowy (wg Krasiuka): A₁ + A₂ — poziom szary, w górnej części ciemnoszary, a w dolnej jasnoszary, niewyraźnie płytkowy, słabo porowaty (0 — 11 cm); B₁ — poziom słupkowy, zbity, ze względu na skład mechaniczny ciężki (11—22 cm); B₂ — poziom ciemnobury, rozpada się na agregaty pryzmatyczne, zbity, „ciężki” (22—40 cm); B₃ — poziom jaśniejszy, żółtobury, wzbogacony w węglany (40—90 cm); C — podłoże, żółtobura glina (> 90 cm).

Rys. 6. Gleba kasztanowa.



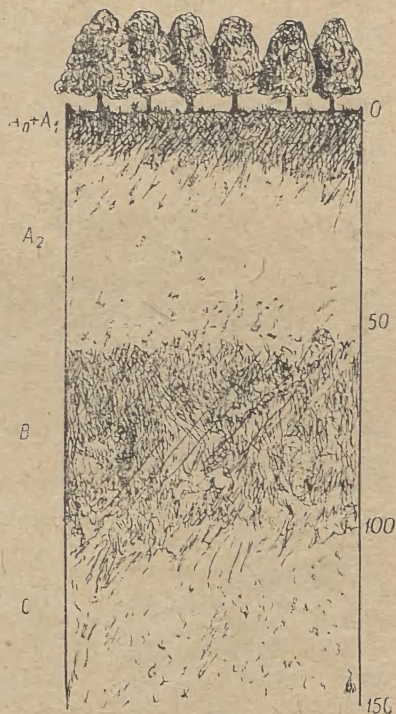
Rys. 6

zenia się w nich doskonałej gruzełkowatej struktury. To decyduje o dobrych stosunkach wodnych, powietrznych i ciepłych czarnoziemów i o ich dużej żyzności.

3. *Okres stepowy* (suche i pustynne stepy) przebiega pod rzadką szatą roślinności stepowej, współżyjącej w glebach przede wszystkim z bakteriami tlenowymi. W glebach stepowych nie ma miejsca nagromadzenie większych ilości próchnicy, ponieważ w chwili obumierania rosnącej na nich roślinności gleby te wykazują minimum wilgotności oraz maksimum zawartości powietrza, a więc cechy niesprzyjające procesowi humifikacji.

W miarę coraz silniejszego zaznaczania się „stepowości“ i suchości klimatu tworzą się gleby coraz słabiej próchniczne i mniej strukturalne, a więc gleby kasztanowe, buroziemy i szaroziemy oraz wzrasta możliwość powstawania wśród nich gleb słonych (roślinność halofitowa).

Prócz wyszczególnionych okresów na terenach tundry zaznacza się początkowo faza *prymitywnego okresu glebotwórczego*, a w szczególności jego stadium glejowe i darniowe, spowodowane przez słabo rozwijające się z braku składników pokar-



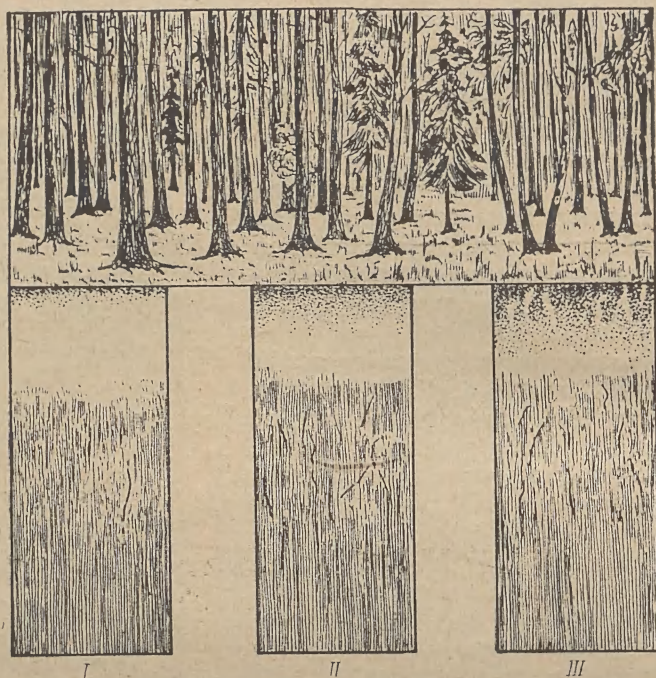
Rys. 7. Profil gleby bielcowej (wg Dobrzańskiego): $A_0 + A_1$ — poziom ściółki leśnej i poziom akumulacyjny; A_2 — poziom eluwialny — bielcowy; B — poziom iluwialny (wmycia); C — skała macierzysta.

mowych oraz ciepła takie rośliny, jak: porosty, mchy i drzewiaste półkrzewy.

Lateryty i gleby czerwone tworzą się w strefach tropikalnej i subtropikalnej przede wszystkim przy współudziale wiecznie zielonych lasów liściastych.

W przypadku wzięcia pod uprawę poszczególnych typów gleb przebieg dotychczas panującego procesu glebotwórczego ulega ze zmianą szaty roślinnej w mniejszym lub większym stopniu ewolucji, co prowadzi albo tylko do pewnych zmian cech tych typów gleb (np. przekształcenie gleb darniowo-bielcowych, średnio zbielicowanych w gleby bardzo słabo zbielicowane, czarnych ziem właściwych w czarne ziemie zdegradowane), lub do zmian zasadniczych, a więc do przekształcenia istniejącego typu glebowego w nowe stadium rozwojowe, a więc w nowy typ gleby (np. przekształcenie gleb mułowo-bagiennych w czarne ziemie).

Tak przedstawia się w ogólnym zarysie teoria o powstawaniu i kształtowaniu się gleb.



Rys. 8. Gleby bielcowe w różnym stopniu zbielicowania (wg Dobrzańskiego): I. silnie zbielicowane (pod lasem iglastym); II. średnio zbielicowane (pod lasem mieszanym); III słabo zbielicowane (pod lasem mieszanym lub liściastym).

Na terenach Polski występują następujące gleby:

A. Gleby terenów nizinnych i wyżynnych:

I. Gleby bielcowe³:

a) gleby żwirowe;

b) gleby piaskowe:

1) luźne, 2) słabo gliniaste, 3) gliniaste;

c) gleby wytworzone z różnych glin i iltów:

1) lekkie, 2) średnie, 3) ciężkie;

d) gleby wytworzone z utworów pyłowych wodnego pochodzenia;

e) gleby lessowe.

II. Gleby brunatne³:

a) gleby żwirowe;

b) gleby piaskowe:

1) luźne, 2) słabo gliniaste, 3) gliniaste;

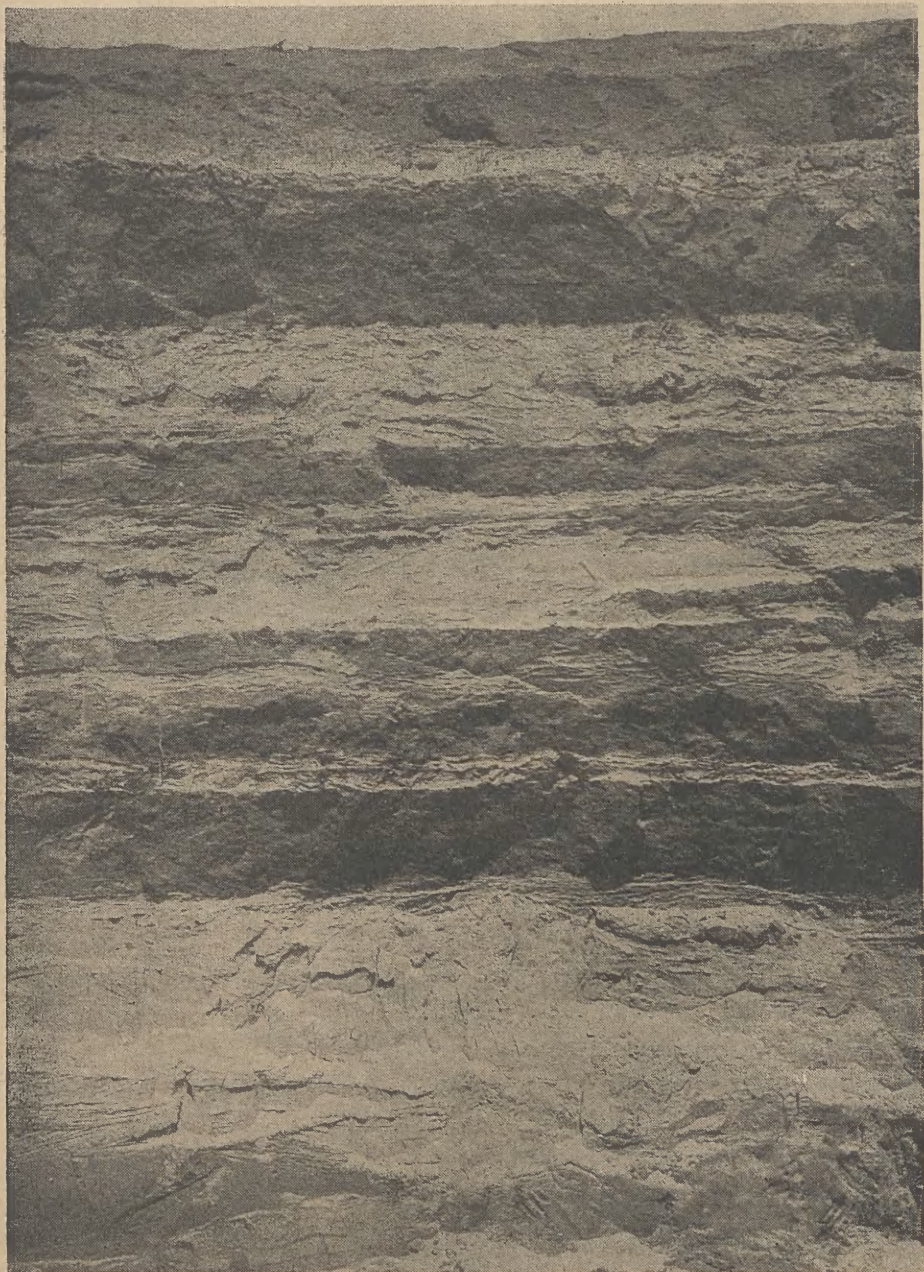
c) gleby wytworzone z różnych glin i iltów:

1) lekkie, 2) średnie, 3) ciężkie;

d) gleby wytworzone z utworów pyłowych wodnego pochodzenia;

e) gleby lessowe.

³ Zajmują łącznie około 80% obszaru Polski — przeważają gleby bielcowe. Wszystkie obliczenia, dotyczące obszarów zajętych przez poszczególne gleby, opierają się na orientacyjnej mapie gleb Polski w skali 1 : 1 000 000.



Rys. 9. Mada lekka



Rys. 10. Rędzina kredowa

III. Czarnoziemy⁴:

- a) właściwe,
- b) zdegradowane.

IV. Czarne ziemie⁵:

- a) *wytworzone z piasków*;
- b) *wytworzone z różnych glin i ilów*:
 - 1) lekkie, 2) średnie, 3) ciężkie;
- c) *wytworzone z utworów pyłowych*.

V. Rędziny⁶:

- a) *rędziny węglanowe*;
- b) *rędziny siarczanowe (gipsowe)*.

VI. Mady⁷:

- a) *mady rzeczne*:
 - 1) piaszczyste, 2) lekkie, 3) średnie, 4) ciężkie;
- b) *mady morskie*.

⁴ Zajmują około 0,84% obszaru Polski.

⁵ Zajmują około 1% obszaru Polski.

⁶ Zajmują około 1,88% obszaru Polski.

⁷ Zajmują łącznie około 7,23% obszaru Polski.

VII. Gleby bagienne⁷:

- a) *gleby mułowo-bagienne*;
- b) *gleby torfowe*;
- c) *gleby murszowe*.

B. Gleby terenów górzystych⁸:

- I. Gleby pierwotne o niewykształconym profilu, niewęglanowe, płytkie.
- II. Gleby bielcowe:
 - 1) piaszczyste, 2) pyłowe, 3) gliniaste, 4) ilaste.
- III. Gleby brunatne:
 - 1) piaszczyste, 2) pyłowe, 3) gliniaste, 4) ilaste.
- IV. Czarne ziemie.
- V. Rędziny.
- VI. Mady.
- VII. Gleby bagienne:
 - a) *gleby mułowo-bagienne*;
 - b) *gleby torfowe*.

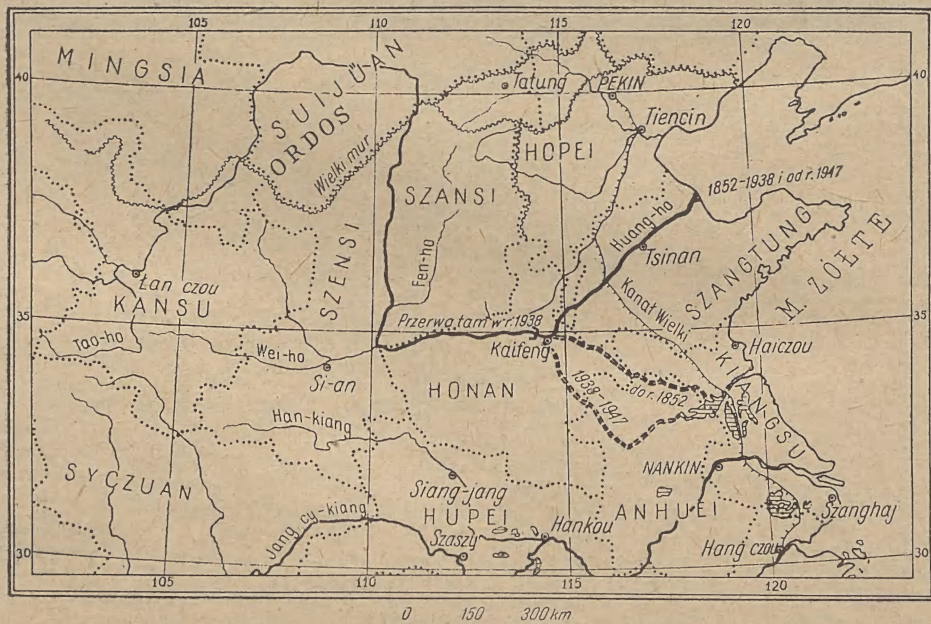
⁸ Zajmują około 7,87% obszaru Polski.

OPANOWANIE POWODZI W CHINACH LUDOWYCH

1. ŻÓŁTA RZKA

Leży przede mną zeszyt czasopisma amerykańskiego „National Geographic Magazine” z lutego 1942 r. z artykułem *Oswajanie smoków powodziowych rzeki Huang-ho*. W artykule jest mapa, na której Huang-ho — Żółta Rzeka — wpada do Morza Żółtego na południe od półwyspu Szantung. Rzeka ta nazwana jest „utrapieniem Chin”.

Mineło 12 lat i wypowiedzi w „National Geographic Magazine” stały się zupełnie nieaktualne. Dziś Huang-ho wpada do morza w odległości przeszło 500 km na północ od swego ujścia z r. 1942, a więc na północ od półwyspu Szantung (rys. 1). To tak, jakby Odra „przesunęła” swoje



Rys. 1. Część dorzecza Huang-ho—Żółtej Rzeki. Na mapie zaznaczono łożysko dolnego biegu tej rzeki w latach do 1852, w okresie 1852—1938, w okresie 1938—1947 i obecnie (od r. 1947). Na mapie widać również łuk Huang-ho naokoło wyżyny Ordos oraz dopływy Tao-ho i Wei-ho, które mają być połączone kanałem dla wyprostowania Żółtej Rzeki. Mimo że mapa przedstawia małą część Chin, na jej obszarze Polska mieści się 6 razy.

ujście ze Szczecina poza Kaliningrad. Ponadto Żółtą Rzekę można z każdym rokiem coraz bardziej uważać za „błogosławieństwo Chin“. Jej wody — zamiast wylewać i niszczyć — pomagają człowiekowi w uprawie roli, zapelniając kanały coraz szerzej rozbudowanego systemu irygacyjnego. Tę rewolucyjną zmianę w stosunku przyrody do człowieka i człowieka do przyrody spowodowało objęcie w 1949 r. władzy w Chinach przez Rząd Ludowy. Tak jak Związek Radziecki — dzięki geniuszowi Lenina — zaczął budowę gospodarki socjalistycznej od planu GOELRO, planu elektryfikacji, tak Chiny — dzięki dalekowzrocznej inicjatywie Przewodniczącego Mao Tse-tunga — od razu w pierwszym roku po wyzwoleniu rozpoczęły planowanie i realizację planów w dziedzinie gospodarki wodnej.

Aby zorientować się w trudnościach walki z powodzią w Chinach, sięgnijmy do czasopisma z r. 1942. Zobaczmy, jak w oczach inżyniera, a więc człowieka niezbyt skłonnego do emocji i przesady, wyglądał ówczesny wylew Żółtej Rzeki:

„Nad żyzną Wielką Niziną Chińską okresowo przewala się brunatny potop...

Aby zrozumieć ścinającą krew w żyłach grozę takiej przytłaczającej siły, jak Żółta Rzeką w czasie powodzi, trzeba stać na jej brzegu, podczas gdy rączy nurt podcina rozległe połacie gruntu, tak jakby były z brązowego cukru...

Trzeba widzieć oszalałych ze strachu wieśniaków zabezpieczających swój skąpy dobytek przed zmyciem do *maelstromu*. Trzeba być świadkiem zaciekłych prób służby rzecznej i wieśniaków przy zamykaniu nowych wyłomów w groblach, gdy rozszalałe wody odrzucają potężne kamienie, słupy i zapory z łądyg kaolianu¹, związanych konopnymi sznurami...

Jest to jednostronna i często daremna walka. Spuszczone z więzów demony rzeki udrafniają wszelkie wysiłki człowieka. Wieśniacy na ich drodze muszą ratować się ucieczką. Na Wielkiej Nizinie jest mało wysoko położonych gruntów, a rozprzestrzeniająca się fala powodziowa wkrótce zamyka wszystkie drogi ucieczki...

Nawet szczęśliwi posiadacze łodzi nie zawsze mają szanse na uratowanie się. Szybko osadzający się muł tworzy obszerne bagniste jeziora, które przebrnąć lub przepłynąć udaje się tylko najodważniejszym...

Ofiary wylewów Żółtej Rzeki są jak obłąkane i steryzowane przez jej groźne wody. Nic dziwnego, że prosty lud na równinach dopatruje się w mętnych głębiach czatujących żółwi, węży, smoków i różnych demonów“.

Zanim przejdziemy do stosunków w dorzeczu Huang-ho w chwili obecnej, warto przypomnieć niektóre dane geograficzne i historyczne tej rzeki. Długość jej wynosi 4100 km, dorzecze ma powierzchnię 980 000 km². Wypływa ona z jeziora Sinsuhaj w obwodzie Czinghai na wysokości 4100 m n.p.m. W średnim biegu płynie ona przez bezdrzewną Wyżynę Lessową obwodów Kansu, Szensi, Szansi. Na tej drodze rzeka wypłukuje olbrzymie ilości lessu, zwłaszcza w okresach przyboru. Zwykle wody jej niosą ok 11% zawieszin (iłu i piasku), a w czasie przyboru do 40%. Pod

¹ Kaolian — odmiana prosa.

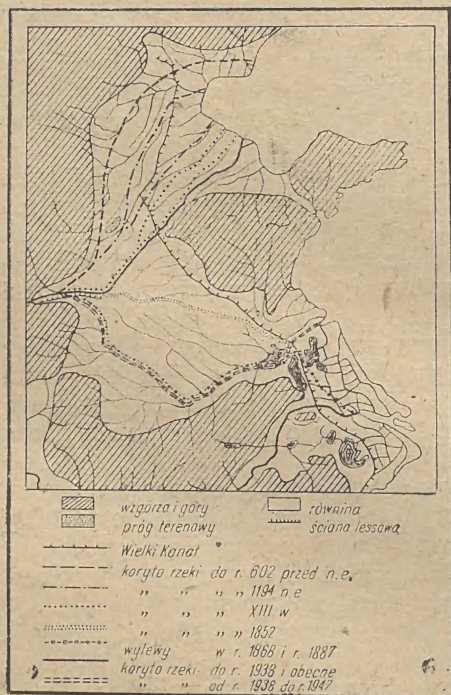
tym względem Huang-ho zajmuje pierwsze miejsce na świecie. Od wartości ilu pochodzi też i barwa wód — barwa kawy z mlekiem — i nazwy: Żółta Rzeka i Morze Żółte. Na Nizinie Chińskiej rzeka ma bardzo mały spadek i dlatego zawiesiny osadzają się, tworząc mielizny. Utrudnia to transport rzeczny. W delcie Huang-ho odkładają się tak duże ilości mułu, że co rok wysuwa się ona o 290 m w morze (od 1855 do 1951 ujście jej przesunęło się o 20 km w stronę morza²).

Odkładanie się mułu na równinie powoduje wielką osobliwość koryta rzeki Huang-ho, mianowicie stałe podnoszenie się jego dna. Na przykład koło Kaifengu leży ono obecnie na wysokości 3 m nad równiną, a dalej w dół rzeki nawet na wysokości 7 m. Powoduje to konieczność stałego podwyższania wałów ochronnych i zwiększa niebezpieczeństwo powodzi przy ich przerwaniu. Uszkodzenie wałów może nastąpić przy ruszeniu łódów i przy ulewach (zwłaszcza tajfunowych). Przerwanie tam zamienia całą równinę w jedno wielkie morze, z którego sterczą dachy wsi i niektóre groble. Według chińskiego geografa Czu Szao-tan „nie ma okolicy

na kuli ziemskiej, która by doznawała takich klęsk powodziowych, jak obszar dolnego biegu Huang-ho“.

Żółtą Rzekę cechuje wielka nierównomierność przepływu. Różnica poziomów w dolnym jej biegu dochodzi do 7 m. Według cytowanego wyżej Czu Szao-tana, największy przepływ w r. 1942 w stacji hydrograficznej Szansien wynosił 29 000 m³/sec, a minimalny 250 m³/sec, czyli 116 razy mniej. Dla porównania podam, że najbogatsza w wodę rzeka na świecie — Amazonka — nie sie normalnie 120 000 m³/sec, a przy wysokiej wodzie 960 000 m³/sec, natomiast przepływ Wisły waha się w granicach od 4300 do 450 m³/sec.

Historia rzeki notuje szereg gigantycznych przesunień jej koryta. W przenośni można powiedzieć, że w ciągu tysiącleci rzeka wędrowała po całej Nizinie Chińskiej wybierając sobie coraz nowe łożyska (rys. 2). W ciągu 4 000 lat, tj. od chwili gdy wzięto się do jej regulacji, rzeka kilkaset razy przerywała tamy. Zajmiemy się tutaj najnowszą historią Żółtej Rzeki. Od 1494 do 1852 łączyła się ona na południu z rzeką Huai-ho



Rys. 2. Zmiany dolnego biegu Huang-ho w czasach historycznych (wg Schmitthennera) uzupełnione do chwili obecnej. Nizina Północno-chińska jest właściwie deltą Huang-ho. Na mapie zaznaczono Wielki Kanał długości 1782 km, którego budowę rozpoczęto przed 2500 laty.

² Porównaj: Czu Szao-tan, *Geografia nowego Kitaja*, Moskwa 1953.

i łącznie z nią wpadała do morza (rys. 2, trasa oznaczona 1494—1852) W roku 1852 rzeka przerwała tamę i popłynęła na północno-wschód, przesuwając swe ujście o przeszło 500 km na północ (jest to również jej obecny bieg). Osiągnięcie tego nowego łożyska nie uspokoiło jednak rzeki. W latach 1868 i 1887 udaje się jej skierować na południe, dalej na południe niż trasa z r. 1852, połączyć się z rzeką Huai-ho, a za jej pośrednictwem z Jangcy-kiangiem. W tych okresach dwie największe rzeki chińskie Huang-ho i Jangcy-kiang miały wspólne ujście do morza. W roku 1887 w nurtach przesuwającej się rzeki znalazło śmierć 7 milionów mieszkańców. W obu przypadkach udało się skierować rzekę do poprzedniego koryta (koryta osiągniętego w r. 1852).

W r. 1938, w czasie wojny antyjapońskiej, gdy Japończycy wzięli miasto Kaifeng, dowództwo kuomintangowskie poleciło zerwać groble koło Czungmou. Rzeka znów popłynęła na południo-wschód i przez koryto Huai-ho połączyła się z Jangcy-kiangiem (rys. 2). Stare koryto zostało pozabawione wody, nowe rzeczywiście częściowo powstrzymało marsz Japończyków. Ale wskutek tej akcji zginęło także około 470 000 ludności chińskiej — władze Kuomintangu nie liczyły się z życiem obywateli Chin.

Rok 1947 przynosi nową i ostatnią zmianę w historii Huang-ho. Kuomintangowcy jeszcze raz zmieniają bieg tej rzeki. Aby pognębić tzw. Okręg Oswobodzony, utworzony w północnej części Niziny, zamykają przerwę w tamach i kierują wodę w koryto północne sprzed roku 1938. Ulegają przy tym zniszczeniu uprawy w północnym korycie, które zostało w międzyczasie na nowo zagospodarowane przez 200 000 chłopów.

Ujarmienie Żółtej Rzeki ma równie długą historię, jak historia narodu chińskiego. W ciągu tysiącleci ustroju feudalnego zbudowano szereg wałów, które jednak nie zawsze spełniały dobrze swą rolę. Tylko nowoczesna technika jest w stanie opanować tak groźną rzekę, jak Żółta. Ale władze Kuomintangu nie były zdolne do jej zastosowania i ograniczały się do projektów, które pozostały na papierze. Dopiero władza ludowa postanowiła nie tylko uwolnić Nizinę Chińską od powodzi, ale i szeroko wykorzystać wody systemu Huang-ho do irygacji i komunikacji. Prace zaczęto od razu po wyzwoleniu w r. 1949. Do r. 1952 zużyto w robotach ziemnych 82 mil. m³ ziemi oraz 2 mil. m³ kamieni i cegły. Wały zostały podwyższone i wzmocnione. Przewyższają one obecnie o 1,5 do 3 m najwyższy, notowany do tej pory poziom wody (z 1933 roku). Ponadto zbudowano (i buduje się obecnie) zbiorniki retencyjne na Huang-ho i jej dopływach, pozwalające na regulowanie przepływów wody w czasie przyborów.

Z innych urządzeń hydrotechnicznych ważną rolę odgrywa nowozbudowany „Kanał Zwycięstwa” o długości 53 km. Kanał ten łączy rzekę Huang-ho z rzeką Wei-ho (koło miasta Sinsiang). Pozwala on odprowadzić nadmiar wód Huang-ho do rzeki Wei-ho, a przez nią i Wielki Kanał do rzeki Huai-ho. Ponadto Kanał ten zasila duży system irygacyjny, obejmujący 70 000 ha ziemi. Dzięki pogłębieniu koryta rzeki Wei-ho oraz Wielkiego Kanału polepszona została komunikacja wodna na odcinku od Sinsiang do Tiencinu. Podobny kanał zbudowano na granicy Mongolskiej Republiki Ludowej w prowincji Suijüan.

Plan opanowania Żółtej Rzeki obejmuje również posadzenie pasów leśnych, aby związać wody deszczowe w górze rzeki. Dorzecze jest mia-

nowicie bezleśne, częściowo z przyczyn naturalnych — tereny lessowe — częściowo przez wyrąbanie lasów już przed tysiącami lat.

Na dalszym — ale stosunkowo bliskim — planie znajduje się gigantyczne przedsięwzięcie wyprostowania koryta Huang-ho. Jak widać na mapie z rys. 1, rzeka ta zatacza olbrzymią pętlę obejmującą stepowo-pustynną wyżynę Ordosu. Przepływając przez tę wyżynę i sąsiadujące z nią od południa tereny lessowe rzeka porywa olbrzymie ilości ilu i piasku. Gigantyczny plan, o którym wspomniano, polega na połączeniu kanałem dopływów Tao-ho i Wei-ho³. W ten sposób wody Huang-ho będą mogły popłynąć po cięciwie łuku, ominąć wyżynę Ordosu i skrócić swój bieg o przeszło tysiąc km. Spowoduje to co najmniej dwukrotne zmniejszenie zawartości ilu, co będzie miało jako skutek ułatwienie regulacji rzeki w dolnym jej biegu. Wykonanie tego planu zamknie w sposób trwały historię powodzi na Nizinie Chińskiej. Ale aby go wykonać, należy przebić niewysoki dział wodny rzek Tao-ho i Wei-ho pod postacią gór Wuszu-szan.

2. RZĘKA HAI-HO

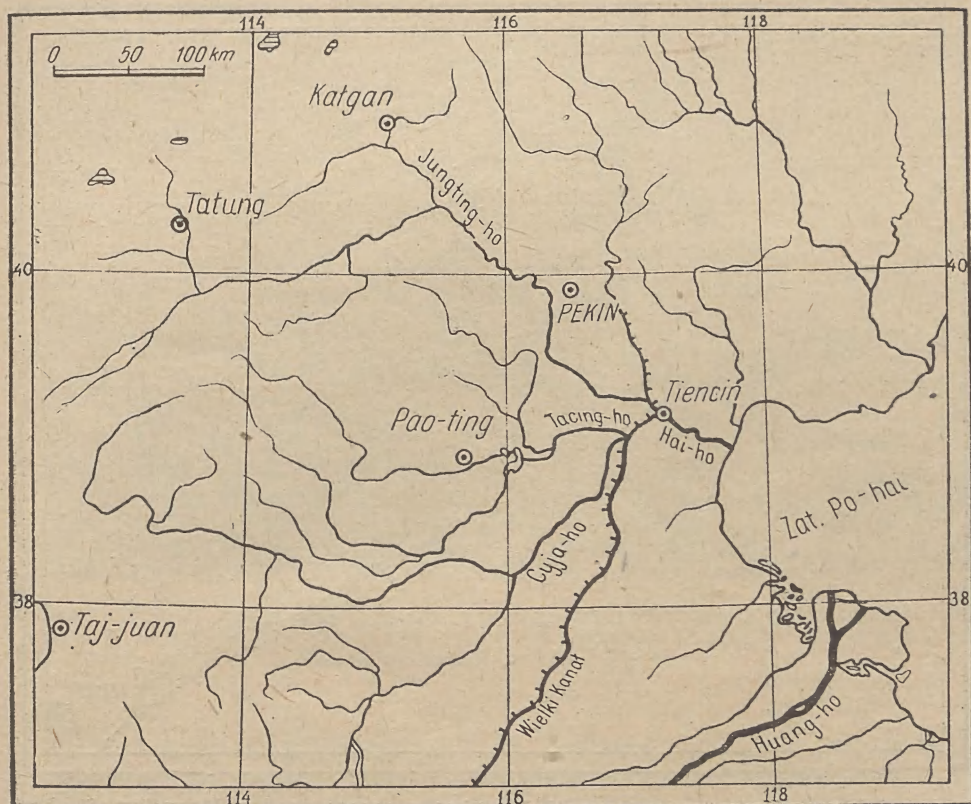
Gdy jesienią 1954 r. znalazłem się w Chinach i rozmawiałem z gospodarzami o powodziach, początkowo nie odróżniałem trzech rzek o podobnych nazwach: Hai-ho, Huang-ho i Huai-ho⁴. Z rzek tych Hai-ho przebiega najbardziej na północy Chin.

Hai-ho trudno znaleźć na mapie, gdyż jest to rzeka osobliwa (rys. 3). Nazwę tę nosi stosunkowo krótki, bo tylko 70-kilometrowy odcinek rzeki, między miastem Tien-cinem a zatoką Po-hai. Mianowicie koło miasta Tien-cinu zbiega się 5 dużych dopływów: Kanał Północny, rzeka Jungting-ho, rzeka Tacing-ho, rzeka Cyja-ho i Kanał Południowy, które łącząc się razem tworzą Hai-ho. Wskutek akumulacji wód otoczenie tej rzeki jest specjalnie narażone na powódzie. Kanał Północny i Południowy są częściami Kanału Wielkiego, jednego z najpotężniejszych dzieł techniki starożytnej. Długość jego od Hangczou (na południe od Szanghaju) do Tungczou (port Pekinu) wynosi 1782 km. Jest to najdłuższy kanał na świecie; za czasów Kuomintangu całkowicie zaniedbany i częściowo wyschły, a obecnie żeglowny (porównaj wyżej). Budowę jego rozpoczęto w 540 r. p.n.e., a więc 2500 lat temu, a skończono w 1320 r. n.e.

Szkody wyrządzone przez wylewy Hai-ho i jej dopływy były do ostatnich czasów znaczne. Rzekę otaczają błota częściowo wysychające i znów zalewane. Powodzie występowały co rok, dopiero władza ludowa wzięła się energicznie do dzieła. Zbudowano nowe kanały: Cinmeński i Ciczuński. Dzięki nim osłabia się zagrożenie powodziowe rzeki Hai-ho, zmniejsza zawartość ilu w wodzie i rozszerza zakres urządzeń irygacyjnych. Ale najważniejszą inwestycją jest zaporą wodną Kuanting na rzece Jungting-ho. O zaporze tej napiszę obszerniej, gdyż miałem sposobność ją zwiedzić.

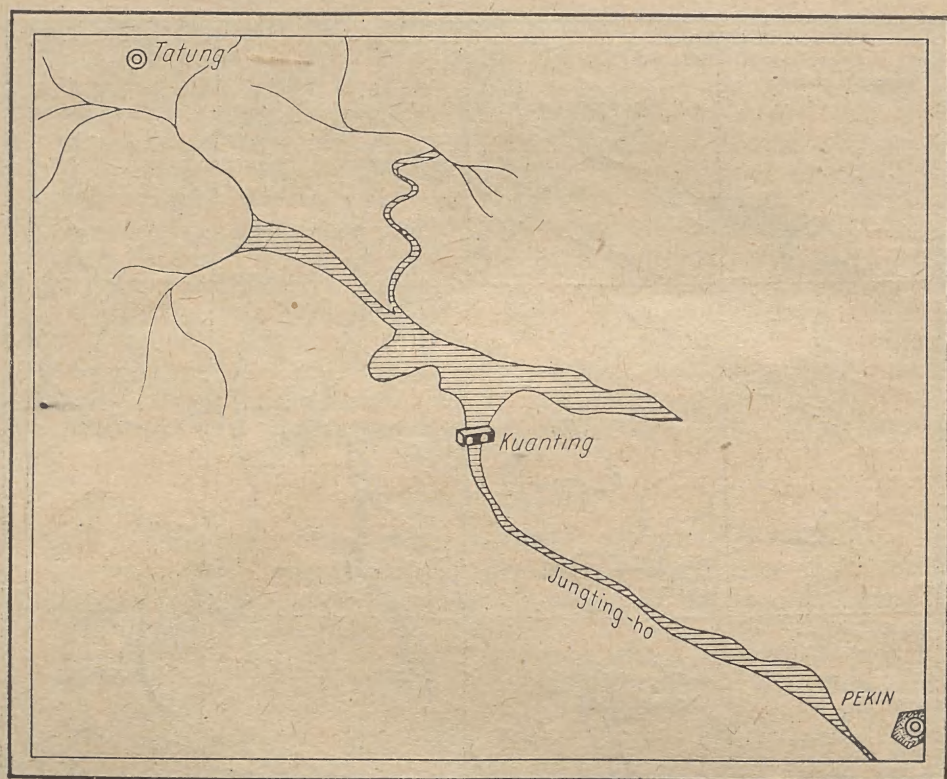
³ Nie należy mylić tego dopływu z rzeką o tej samej nazwie wpadającą do Wielkiego Kanału, o której była mowa wyżej.

⁴ Ho, kiang — oznacza po chińsku: rzeka. Powinno się więc mówić rzeki: Hai, Huang i Huai. W dalszym ciągu niniejszego artykułu zrezygnowałem z tej zasady, gdyż nazwy z końcówkami ho i kiank są ogólnie znane, pominięcie więc tych końcówek może prowadzić do nieporozumień.



Rys. 3. Dorzecze Hai-ho. Rzeka Hai powstaje z połączenia koło miasta Tiencinu Wielkiego Kanału i dopływów: Jungting-ho, Tacing-ho oraz Cyja-ho. Rzeka Hai była znana z wielkich wylewów.

Rzekę Jungting-ho (rys. 4) nazywają często Siaohuang-ho — Małą Żółtą Rzeką — gdyż niesie ona, podobnie jak Huang-ho, duże ilości ilu i piasku. Wypływa ona z prowincji Czahar (na pn.-zach. od Pekinu) okrąża Pekin i koło Tiencinu wpada do Hai-ho. Jej wylewy zagrażały nieraz w przeszłości linii kolejowej między Pekinem a Tiencinem. Po wyzwoleniu w odległości 75 km na północno-zachód od Pekinu, w górach, została zbudowana zapora dolinna (rys. 5), w której rzeka Jungting tworzy jezioro o powierzchni 230 km² i o pojemności przeszło 2 miliardy m³. W okresach powodzi jezioro to zatrzymuje nadmiar wód i wypuszcza go w zwolnionym tempie. Zapora ma wysokość 50 m, długość 290 m, a szerokość u podstawy 360 m. Wymiary te wskazują, że jest to zapora zupełnie nowego typu. Do jej budowy użyto 1 000 000 m³ ziemi i piasku, 300 000 m³ kamieni oraz 50 000 m³ betonu. Przy budowie pracowały setki tysięcy robotników. Zbiornik w Kuanting nie tylko usuwa niebezpieczeństwo powodzi (okazało się to w r. 1953, gdy przbór był niezwykle wysoki), ale i zabezpiecza wodę dla kanałów irygacyjnych i dla tran-



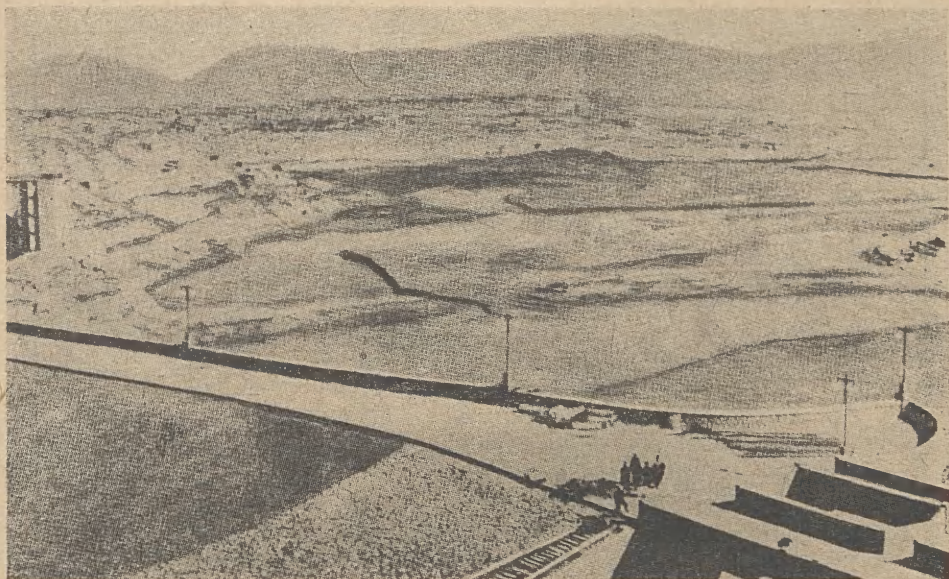
Rys. 4. Szkic systemu wodnego rzeki Jungting z zaporą wodną Kuanting (75 km na pn.-zach. od Pekinu). Zapora ukończona w 1954 r. chroni od wylewów rzekę Jungting i częściowo rzekę Hai koło Tiencinu. Objętość zbiornika 2 miliardy m³.

sportu na rzece. Niezależnie od tego umożliwia on zaopatrywanie Pekinu w dobrą wodę.

Podkreślić należy rekordowy czas budowy zapory. Prace rozpoczęto w 1951 r., skończono częściowo w 1953, a ostatecznie w maju 1954 r. Dalsze prace obejmują budowę elektrowni, zasadzenie w górnym biegu rzeki i jej dopływów lasów dla magazynowania wody deszczowej, obudowę brzegów strumieni, zagospodarowanie rybne jeziora itd.

3. RZĘKA JANGCY-KIANG

15 października 1954 roku samolot unosił polską delegację kulturalną na trasie Pekin — Hankou — Czungking (a dalej przez Kunming do Kantonu). Dzięki niezwykle gościnności gospodarzy chińskich mieliśmy możliwość podziwiać z wysokości 3000 m plastyczną, naturalną mapę Chin na przestrzeni 3600 km. Z Pekinu wylecieliśmy o godz. 7 min. 40 o 8 min. 10 zabłyśły na horyzoncie szerokie rozlewiska Hai-ho, o godz. 10 minęliśmy Żółtą Rzekę, której mętne wody miały chyba do 3 km szerokości, a potem zaraz miasto Kaifeng otoczone murami z bastionami.

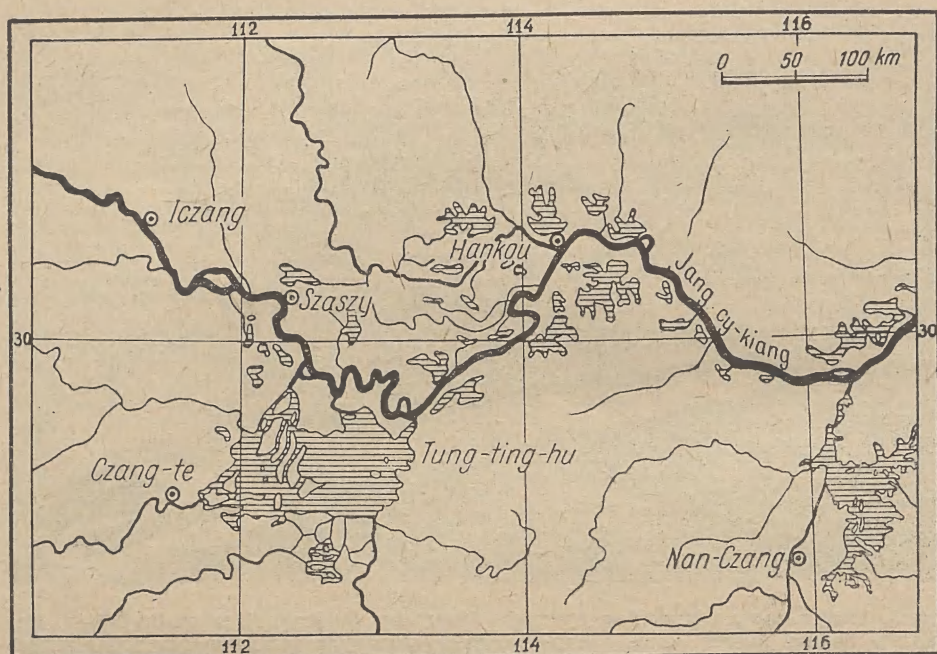


Rys. 5. Widok zapory Kuanting na rzece Jungting, skończonej w maju 1954 r. Położna ta zaporę tworzy jedno z największych sztucznych jezior w Chinach i zabezpiecza olbrzymie tereny od powodzi.

W tej to właśnie okolicy Rzeka Żółta wielokrotnie w ciągu historii zmieniała kierunek swojego biegu. Około godz. 11 mijamy łańcuch Huai-jangszan, granicę między „Chinami brunatnymi” — na północy — i „Chinami zielonymi”, pokrytymi bujną południową roślinnością.

O 11 min. 30 ukazuje się nam Jangcy-kiang, a właściwie olbrzymie rozlewisko, ciągnące się po horyzont, z wynurzającymi się wyspami wyżej położonych gruntów. Jesteśmy zdziwieni. Czyżby klęska powodzi w środkowym biegu rzeki Jangcy nie została opanowana? Nasze wątpliwości pogłębiają się, gdy po krótkim odpoczynku w Hankou samolot rusza dalej. Koło miasta dużo terenów zalanych. Z wody sterczy fabryka, której hala jest do połowy pod wodą. Chaty są wpół zalane i opuszczone. Z lustra wodnego sterczą wały przeważnie nieuszkodzone. Woda stojąca na polach jest jasnoniebieska, a woda w rzece brudnożółta.

Samolot bierze kurs na miasto Iczang, leżące na zachód od Hankou. W ten sposób przecinamy po cięciwie łuk, jaki tworzy Jangcy-kiang między obu miastami (rys. 6). Przez pewien czas mamy pod sobą rzekę Hanho, lewy dopływ Jangcy, niesłychanie krętą, płynącą wśród zalanych pól. W ciągu pół godziny lotu (a więc na długości ok. 150 km) wzrok nasz błądził w obie strony, aż po horyzont po wielkich terenach rozlewiskowych, a przez dalsze pół godziny majaczyły się one na południowym horyzoncie. Wreszcie dojechaliliśmy do Iczang, w pobliżu którego zaczynają się góry, zrazu o wysokości 1000 m, a potem do 2000 m. W górach tych Jangcy-kiang tworzy trzy przepiękne przełomy.



Rys. 6. Średni bieg rzeki Jangcy. Między miastem Szaszy i Hankou znajduje się wielka liczba jezior będących pozostałością dużego jeziora Junmengce. Teren ten jest specjalnie zagrożony przez powódzie, dlatego zabezpieczono go przez zbudowanie wielkiego Zbiornika Cingciańskiego koło Szaszy (por. rys. 7).

Gospodarze wyjaśniają nam ⁵, że w roku bieżącym przybór na rzece Jangcy przekroczył najwyższy notowany od przeszło 100 lat poziom z 1931 roku. Rok 1954 był przecież rokiem wielkich klęsk powodziowych na całej kuli ziemskiej. Wystarczy przypomnieć wylewy Dunaju i Brahmaputry. W mieście Hankou poziom Jangcy w r. 1931 wynosił 27,2 m n. p. m., a w r. 1954 — 30 m.

Przypomina mi się wypowiedź premiera Czou En-laja na pierwszej sesji Zgromadzenia Narodowego w dniu 23 września 1954 r. Czou En-laj podał, że 1/10 pól uprawnych w Chinach uległa zatopieniu, tj. więcej niż 160 milionów mu (11 milionów hektarów, czyli 110 tysięcy km²). Zwrócił on również uwagę na konieczność uwzględnienia wyższych fal powodziowych przy projektowaniu urządzeń hydrotechnicznych.

Po porównaniu terenu z mapą okazało się zresztą, że nasze wrażenia były przesadzone. Bez powodzi na terenie leżącym w łuku rzeki Jangcy, między Hankou i Iczangiem, znajduje się dziesiątki dużych jezior. Są one resztkami dawnego ogromnego jeziora Junmengce, które rozciągało się na mniej więcej 220 km z północy na południe i 200 km ze wschodu na zachód. Teraz wody, które przedarły się przez tamy, połączyły tylko ze sobą jeziora.

⁵ Szereg danych o powodzi w dorzeczu Jangcy-kiang i Huai-ho zaczerpnięto z artykułu Wan Nung, *Fighting the big flood, China Reconstructs*, 1954, nr 6 oraz *New dam and canal irrigate North Kiangsu, China Reconstruct*, 1954, nr 4.

Niemniej jednak miasto Hankou⁶, które uległo zalaniu w r. 1931 do wysokości 1 piętra, było w roku bieżącym poważnie zagrożone. Przez szereg miesięcy (od czerwca do sierpnia) woda w rzece stała powyżej poziomu ulic. W r. 1931 poziom jej przewyższał o 16,5 m poziom normalny, a w r. 1954 o 19 m. Wyobraźmy sobie strumień wody o szerokości 1,5 km i wysokości 19 m, tj. 5 pięter! Nic dziwnego, że potrafi on przerywać tamy i groble.

Ale walka o miasto była prowadzona z całym poświęceniem ludności i władz. Przez szereg miesięcy trwał wyścig między podnoszeniem się wody a zwiększaniem wysokości tam, które nie były przygotowane do tak wielkiego przyboru. Został on wygrany dzięki bezprzykładnej ofiarności 200 000 ludzi biorących bezpośredni udział w walce. Na przykład 28 lipca została przerwana jedna z tam. Żołnierz Kuo Jung-wang, osiemnastoletnia wieśniaczka Sung Szuo-ing i szereg innych osób zasłoniło otwór wyłomu własnym ciałem i przetrwało na tym stanowisku przez 14 godzin, mimo iż nieraz fala przelewała im się przez głowy. Ale miasto zostało uratowane.

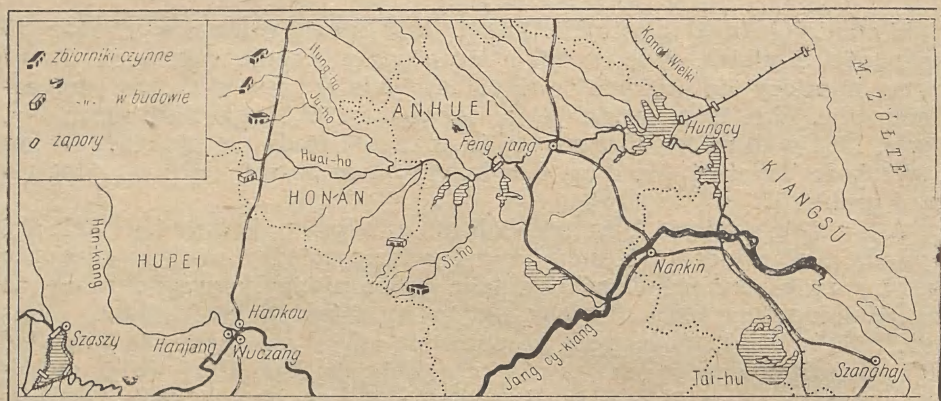
Rząd skierował do Hankou wszystkie dostępne środki techniczne, jak 30 lokomotyw, 55 parowozów i 800 barek; użyto ich do transportu materiałów. Na tamach ułożono 5 mln worków i wbito 170 tys. słupów. Wodę z zalanych pól wewnątrz tam odciągano za pomocą 300 pomp o napędzie disłuskim. Dla likwidowania słabych miejsc w tamach sprowadzono nurków morskich. Elektrownia oświetlała nocą 135 km grobli otaczających miasto.

Zwycięstwo w Hankou nie byłoby możliwe mimo olbrzymich poświęceń ludności, gdyby władza ludowa uprzednio nie odbudowała całkowicie zniszczonej w czasach Kuomintangu Wielkiej Cingciańskiej Grobli o długości 133 km, znajdującej się w pobliżu miasta Szaszy, na zachód od Hankou. Ponadto w r. 1952 wybudowano tutaj — w rekordowym czasie 75 dni — wielki zbiornik retencyjny o powierzchni 900 km² i objętości 6 miliardów m³ (rys. 7) i (rys. 8). W północnej części zbiornika zbudowano zapórę o długości przeszło 1 km, z urządzeniami dla wpuszczania wody z rzeki Jangcy w czasie powodzi. Jest to największa zapora w Chinach. Omawiany zbiornik w czasie zimy jest osuszany i wykorzystywany do upraw ozimych. W lipcu 1954 r. był on cztery razy napełniany i opróżniany, co pozwoliło ocalić od powodzi tereny zawarte między rzekami Jangcy i Han-ho.

Wszystkie wymienione wyżej środki zapobiegawcze spowodowały, że wylew w basenie środkowego Jangcy przybrał tylko nieznaczne rozmiary. Pola pokryte wodą wylewową zostały po minięciu powodzi zdrenowane i na nowo obsadzone. Mimo powodzi była nawet możliwość zwiększenia produkcji ziarna. Dla porównania podaję straty wywołane powodzią Jangcy-kiangu w r. 1931: zniszczenie 5,5 mln hektarów zasiewów i 4 mln domów. Straty dotknęły 10 milionów ludności.

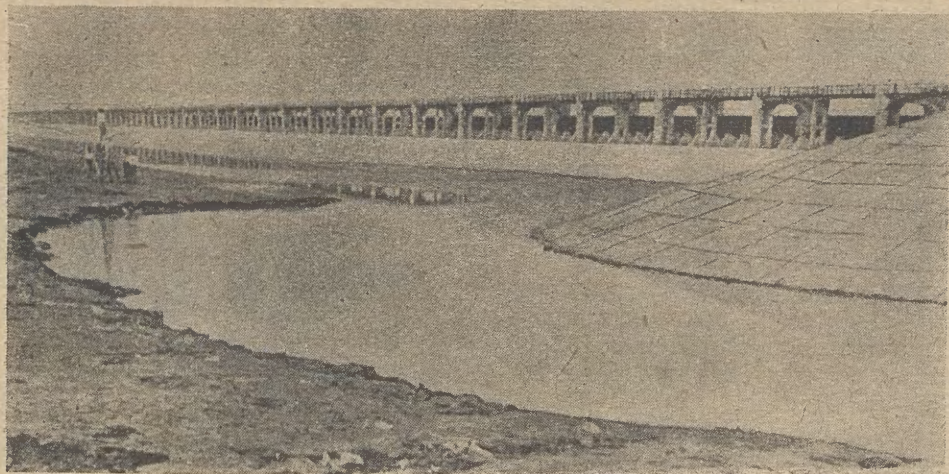
Warto przy sposobności przyjrzeć się samej rzece Jangcy. Rzekę tę często niesłusznie nazywają Niebieską, co nie jest usprawiedliwione ani językowo, ani faktycznie: woda w niej jest żółta jak w innych rzekach chińskich. Wypływa ona z gór Tangla w Tybecie, niedaleko — jak na

⁶ Właściwie potrójne miasto Wuhan złożone z miast Wucang-Hanjiang-Hankou.



Rys. 7. Teren walki z powodzią w 1954 r. w dorzeczu Jangcy-kiangu i Huai-ho (wg China Reconstructs).

stosunki chińskie — od źródeł rzeki Huang-ho (ok. 400 km.). Długość Jangcy wynosi ok. 5 100 km. Średni przepływ powyżej delty 22 000 m³/sec, w tym 6 m³ zawiesin. Przez Góry Syczuańskie rzeka ta przerzyna się przepięknymi, mało badanymi kenionami o głębokości do 4000 m.



Rys. 8. Zapora o długości 1 km Cingciańskiego Zbiornika retencyjnego w średnim biegu Jangcy-kiangu (okolicie miasta Szaszy). Zbiornik został zbudowany w r. 1952 w rekordowym czasie 75 dni. Jego objętość wynosi 6 miliardów m³, toteż zabezpiecza on od powodzi średni i dolny bieg rzeki z miastami Hankou i Nankin.

Koło miasta Paan w prowincji Sikang rzeka płynie na poziomie 2520 m n. p. m., koło Suifu w prowincji Syczuan, odległego od Paan o przeszło 1000 km, opada do 331 m. Średni spadek na tym odcinku wynosi 2 m/sec, toteż rzeka kryje w sobie ogromne ilości energii. Moc, którą można uzyskać z Jangcy-kiangu, obliczono na 80 milionów kilowatów (dla porównania podam: wzrost mocy elektrowni w Polsce przewidziany w planie

6-letnim wynosi 2 miliony kilowatów). Po przepłynięciu kotliny Czerwonego Basenu (prow. Syczuan) rzeka znów przebija się przez góry i tworzy na długości 800 km, między Czungkingiem i Iczangiem, trzy przepiękne przełomy o stromych ścianach, z licznymi bystrzynami. Ilość energii, jaką można by uzyskać, budując tutaj zapory i elektrownie, oceniają na 10 milionów kilowatów. Szerokość kenionów miejscami nie przekracza 200 m, podczas gdy w Syczuanie szerokość rzeki jest rzędu 600—700 m. Przy przyborze woda w wąskich miejscach kenionów wznosi się nawet na wysokość 50 m ponad niski stan wody. Żegluga jest wtedy bardzo niebezpieczna. W ogóle rzeka jest splawna na przestrzeni 2700 km, od ujścia do Pingszan (na zachodniej granicy Czerwonego Basenu), nie tylko dla dżonek, ale nawet dla parowców. Do Hankou (ok. 1000 km od ujścia) w czasie dużej wody dochodzą mniejsze okręty morskie o pojemności 15 tys. ton. Do Nankinu (ok. 350 km od morza) mogą dopływać nawet okręty wojenne średniej wielkości. W obszarze delty Jangcy-kiang jest tak szeroki, że prawie nie widać przeciwnielego brzegu.

4. RZEKA HUAI-HO

Jednocześnie z walką przeciw powodzi w średnim biegu Jangcy-kiangu toczył się bój na rzece Huai-ho, połączonej z dolnym biegiem Jangcy za pomocą Wielkiego Kanału (rys. 7). Tutaj już przed powodzią 800 000 lu-



Jeden ze słynnych z piękności trzech przełomów rzeki Jangcy. Przełomy te ciągną się na przestrzeni 80 km między Iczangiem a Czungkingiem w Czerwonym Basenie. Rzeka miejscami zwęża się do 200 m (foto Wyd. literatury obcojęzycznej w Pekinie, 1953).



Przełom Jangcy-kiangu w górach prowincji Jünнан (na pn. od Likiangu). Poziom koryta ok. 1800 m n. p. m., wysokość gór, przez które rzeka się przebija 5800 m, a więc głębokość przełomu ok. 4000 m. Obok przełomu Brahmaputry jest to najwspanialszy przełom w Azji (foto J. F. Rock).

dzi wzmacniało główną groblę. Robota była zakończona na 10 dni przed szczytem fali powodziowej. Niestety, wielki projekt ochrony przed powodzią 55 milionów mieszkańców doliny Huai-ho, zajmujących obszar 210 000 km², nie jest jeszcze całkowicie wprowadzony w życie. To jednak, czego dokonano, dało już rezultaty. Główną rolę odegrały tutaj zbiorniki retencyjne na Huai-ho i jej dopływach, zbudowane po r. 1950 (rys. 7). Tylko co ukończony zbiornik Fuceling akumulował wodę przy dopływie 5 000 m³/sec, a oddawał w zwolnionym tempie 620 m³/sec. Na samej rzece Huai-ho wielką rolę odegrała zaporą Kaoliangeien, która w ciągu lipca wielokrotnie spuszczała wodę z jeziora Hungcy do nowozbudowanego kanału irygacyjnego Północnego Kiangsu (kanał o długości 170 km, a więc 2 razy dłuższy od Panamskiego). Również pobliska nowa zaporą Sanho pozwoliła na racjonalne kierowanie przepływem wody. Wszystkie te urządzenia ocaliły od zalewu olbrzymie przestrzenie i kolej Pekin — Hankou.

Zwycięstwo jednak nie było pełne. Nie zawsze udało się uniknąć przerwania tam i powstania zalewów. Rząd 29 razy posyłał samoloty z żywnością i namiotami do odciętych miejscowości. Jednak już w początku września 60% zatopionych obszarów osuszono, przy czym w prowincji Kiangsu przywrócono uprawę na 400 000 ha, a w prowincji Anhuei na 80 000 ha.

Niedociągnięcia w ochronie powodziowej nie przekreślają ogólnego zwycięstwa nad Huai-ho. Poza tym skutki tych niedociągnięć zostały całkowicie opanowane przez doskonałą organizację. Podczas gdy w czasie wielkiej powodzi w r. 1931 w dolinie Huai-ho i Jangcy-kiangu zginęło



Kialing-kiang, dopływ wpadający do Jangcy-kiangu w mieście Czung-king w Syczuanie. Na pierwszym planie basen kąpielowy w miejscowości Peipei, zasilany przez gorące źródło, zbudowany po wyzwoleniu. W okresie przyboru rzeka o szerokości kilkuset metrów niesie warstwę wody o wysokości przeszło 20 metrów. Nic dziwnego, że rzeka Jangcy, mająca takie dopływy w odległości przeszło 2000 km od ujścia, gromadzi w swym środkowym i dolnym biegu olbrzymie ilości wody.

3 700 000 chłopów, głównie z głodu, w r. 1954 nikt nie stracił życia, a pozabawionymi dachu zajęły się specjalne organizacje.

*

Przedstawiłem wyżej szkicowy opis gigantycznych osiągnięć narodu chińskiego w walce z powodzią w ciągu zaledwie 5 lat. Dziesiątki wiel-



Na Wielkim Kanale, mającym długość 1782 km, pływają dżonki z żaglami jak 2000 lat temu (foto W. Price).

kich budowli wodnych, tysiące kilometrów nowych wałów ochronnych, ułożonych z miliardów metrów sześciennych ziemi, dziesiątki milionów chłopów pracujących przy tych wielkich budowach — oto cyfry, które mówią za siebie. Z drugiej strony do niepowrotnej przeszłości należą inne wielkie cyfry, jak np. 40 milionów ludności pozbawionej swych warsztatów pracy w czasie olbrzymiego wylewu Huang-ho i Huai-ho w r. 1949.

Oczywiście przez 5 lat nie można nadrobić zaległości całych dziesięcioleci, w ciągu których nowoczesna technika była w stanie opanować powódzie. Wynika stąd, że bardzo ograniczony zakres i całkowite opanowanie skutków wylewu z r. 1954 jest również wykładnikiem wielkiego zwycięstwa.

Przed wielkim narodem chińskim stoją jednak i dalsze gigantyczne zadania. Wspomnę tylko o wyprostowaniu Rzeki Żółtej o 1000 km. Jest niewątpliwe, że gorący patriotyzm i wielka pracowitość mieszkańców Chin pod przewodnictwem Partii i Rządu Ludowego przezwyciężą wszystkie trudności.

TADEUSZ BANACHIEWICZ

1882—1954

17 listopada 1954 r. zmarł w Krakowie profesor Tadeusz Banachiewicz. Astronom, geodeta, matematyk, wniósł Banachiewicz do nauki światowej wkład o nie przemijającej wartości. Dopiero przyszłość wypowie ostateczny sąd o wielkości jego dzieła. Nie ulega jednak wątpliwości, że w hierarchii polskich twórców nauki Banachiewicz zajmuje jedno z czołowych miejsc.

Koleje życia profesora Banachiewicza wiązały go na długie lata z Krakowem. Od roku 1919, z przerwą wojenną, był on dyrektorem Obserwatorium Krakowskiego. Przed pierwszą wojną światową przebywał w Rosji. Studia uniwersyteckie odbywał w Warszawie, a następnie na uniwersytecie w Getyndze i w Obserwatorium w Pułkowie. W latach 1910—1915 był asystentem uniwersyteckiego Obserwatorium im. Engelhardta pod Kazaniem. W ciągu trzech lat — od roku 1915 do 1918 — przeszedł w Dorpacie kolejne etapy kariery uniwersyteckiej, od asystenta do dyrektora obserwatorium.

Zyciorys profesora Banachiewicza jest bardzo ubogi w szczegóły o charakterze bardziej osobistym i niejako z natury rzeczy przekształca się w analizę prac uczonego i ocenę jego osiągnięć. Wynika to z faktu, iż swoje życie poświęcił Banachiewicz umiłowanej dziedzinie wiedzy bez reszty; poza nią nie istniało właściwie dla niego nic ważnego.

W równej mierze jak talent decyduje o osiągnięciach naukowca pracowitość. Z ogromnym nakładem pracy i energii wykorzystał Banachiewicz swoje wielkie zdolności wyłącznie w służbie dla nauki. Talent i zamiłowania kierowały go przede wszystkim ku badaniom teoretycznym i teoretyczno-rachunkowym i w ich zakresie ma największe osiągnięcia.

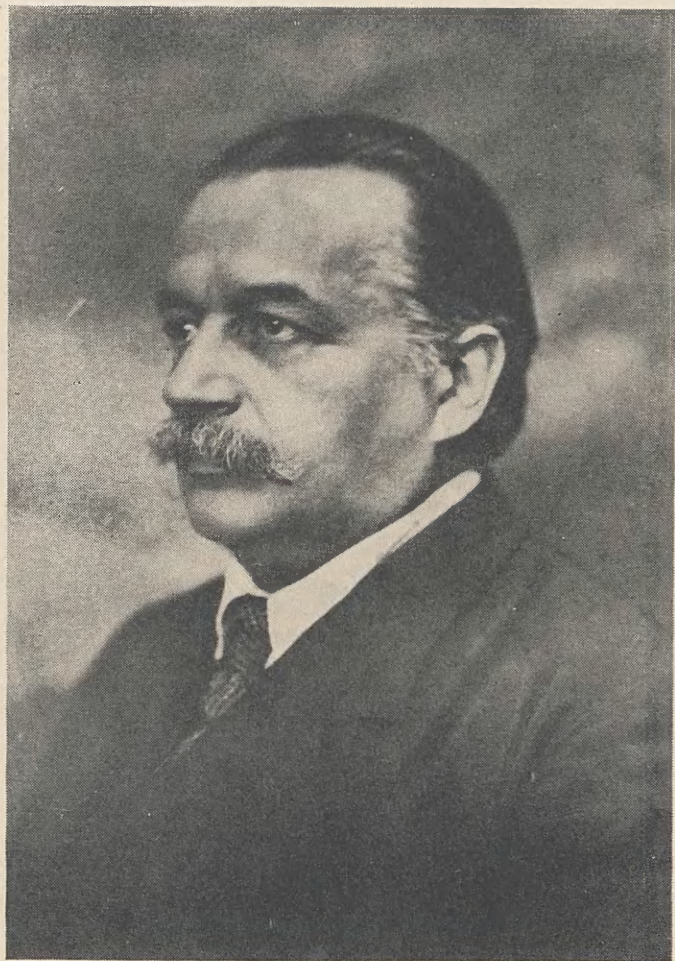
Najbardziej znaną koncepcją profesora Banachiewicza jest stworzony przez niego rachunek krakowianowy. Astronomia i geodezja są naukami, w których napotyka się ciągle konieczność przeprowadzania długich, żmudnych, wielocyfrowych rachunków. W początkach XX wieku technika obliczeniowa była jeszcze niemal w zupełności opanowana przez rachunek logarytmiczny. Jednak coraz bardziej udoskonalająca się produkcja maszyn rachunkowych i coraz szersze ich rozpowszechnienie czyniły palącą kwestię radykalnego przystosowania wzorów obliczeniowych do specyfiki arytmometru (biurkowej maszyny rachunkowej). O ile przy wzorach logarytmicznych najdogodniejsze dla obliczeń są wyrażenia typu $a.b.c...$ o tyle na maszynie rachunkowej najłatwiej wykonuje się „sumonożenie” typu $a.b + c.d + e.f...$ Poza tym maszyna rachunkowa umożliwia bezpośrednie rozwiązanie algebraicznego równania liniowego stopnia pierwszego kształtu $Ax + B = 0$. Ta ostatnio wskazana możliwość — wydawałoby się na pozór trywialna — stanowi wielką „siłę” zwykłego arytmometru. Perspektywę zastosowania maszyn rachunkowych w technice obliczeniowej przeczuł i ocenił profesor Banachiewicz.

Stworzone przez niego krakowiany zostały w zasadzie pomyślane jako gotowe schematy rachunkowe dogodne dla rachunków arytmometrycznych. Operacje algebry krakowianowej, która w zasadzie jest algebrą macierzy o specyficznej definicji mnożenia, pozwalają w pełni wyzyskiwać ułatwienia stworzone przez maszynę rachunkową. Największym, jak się wydaje, sukcesem rachunku krakowianowego jest znakomite uproszczenie, jakie udało się za jego pomocą dokonać B a n a c h i e w i c z o w i w algorytmie powszechnie stosowanej przez geodetów, astronomów i inżynierów metody najmniejszych kwadratów. W metodzie tej jądrowym zagadnieniem jest rozwiązanie układu algebraicznych równań liniowych z wielu niewiadomymi o symetrycznej tabeli współczynników i wyznaczenie tak zwanych błędów średnich niewiadomych. Wprowadzenie krakowianów stworzyło tu uproszczenie przełomowe i jako takie zostało ocenione przez wiele podręczników krajowych i zagranicznych, a algorytm krakowianowy metody najmniejszych kwadratów znajduje coraz szersze rozpowszechnienie w całym świecie. Poza tym krakowiany okazały się bardzo dogodnym w użyciu instrumentem wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z przekształceniami liniowymi, a więc np. gdy chodzi o składanie obrotów. Można by zaryzykować twierdzenie, że niemal w każdym zagadnieniu matematycznym przyrodzności, z chwilą gdy dochodzimy do etapu wykonania konkretnych obliczeń, dążymy do linearyzacji problemu, to znaczy do sprowadzenia go do rozwiązywania równań liniowych. Krakowiany, jako specjalnie przystosowane do efektywnego rachunku w problemach liniowych odgrywają tu ważną rolę. Za pomocą krakowianów udało się B a n a c h i e w i c z o w i rozwiązać szereg zagadnień z astronomii matematycznej. W szczególności w prosty sposób uzyskał on po raz pierwszy fundamentalne wzory poligonometrii sferycznej i w ten sposób zrobił pierwszy, istotny krok naprzód od czasów D e l a m b r e'a i G a u s s a. W formie krakowianowej podał uzyskane przez siebie nowe wyniki w zagadnieniu wyznaczania orbit planet i komet i w zagadnieniu poprawiania elementów ich orbit. Ważne przy obliczaniu orbity parabolicznej wyniki B a n a c h i e w i c z a weszły do podręczników jako metoda O l b e r s a — B a n a c h i e w i c z a.

Na specjalne podkreślenie zasługuje pewien wynik B a n a c h i e w i c z a z mechaniki teoretycznej, otrzymany przezeń jeszcze gdy był studentem. Chodzi tu o wskazanie w 1906 roku pewnego szczególnego przypadku całkowalności w problemie n -ciał przyciągających się odwrotnie proporcjonalnie do sześcienu odległości. B a n a c h i e w i c z podał pierwszy znany przypadek całkowalności, w którym ciała opisują tory podwójnej krzywizny. Odnośna nota była przedstawiona Akademii Francuskiej przez H. P o i n c a r é.

Znakomite znanstwo metod obliczeniowych w połączeniu z talentem teoretyka pozwoliło B a n a c h i e w i c z o w i osiągnąć szereg pięknych rezultatów w różnych zagadnieniach teoretyczno-rachunkowych. Jeszcze z czasów pobytu w Rosji datuje się jego rozprawa o rozwiązaniu równania G a u s s a, w której na podstawie ułożonej przez siebie teorii obliczył bardzo wygodne w użyciu tablice do rozwiązywania tego równania, odgrywającego ważną rolę w zagadnieniu wyznaczania orbit eliptycznych. Tablice te — przedrukowane później w standardowym zbiorze tablic używanych w rachunkach z zakresu astronomii teoretycznej — do dzisiaj są w powszechnym użyciu. Głęboka znajomość zagadnień mechaniki niebieskiej w połączeniu z biegłością rachmistrza leży u podstaw innego, ważnego wyniku B a n a c h i e w i c z a, mianowicie otrzymanego przez niego kryterium rozbieżności rozwinięcia funkcji perturbacyjnej według G y l d é n a — B r e n d l a.

Ostatnio wspomniana praca nosi częściowo charakter krytyczny i jest tylko jedną z wielu rozpraw krytycznych, jakie posiada B a n a c h i e w i c z w swoim



TADEUSZ BANACHIEWICZ
1882—1954

dorobku. Owe prace krytyczne stanowią bardzo charakterystyczną część twórczości naukowej B a n a c h i e w i c z a. W każdej z nich oprócz krytyki naszkicowane są drogi poprawnego rozwiązania i wskazane są perspektywy głębszego ujęcia całego zagadnienia. Jeśli wolno mi w tym miejscu wprowadzić ton osobisty, to muszę powiedzieć, że strata, jaką poniosła nauka przez brak możliwości odwołania się do niezwykle wnikliwej i sumiennej oceny profesora B a n a c h i e w i c z a, jest w mojej opinii jedną z trudniejszych do powetowania strat astronomii. Niełatwo było nakłonić profesora B a n a c h i e w i c z a do przeczytania pracy nie związanej blisko z jego aktualnymi zainteresowaniami, ale jeżeli już daną pracę przeczytał i sformułował swoją opinię, to opinia ta była nie do podważenia.

Rzadko spotykaną u teoretyków cechą osobowości naukowej profesora B a n a c h i e w i c z a było jego znawstwo praktycznych metod obserwacyjnych, osobisty, wysoki kunszt eksperymentatora i tendencja do kładzenia wielkiego nacisku na działalność obserwacyjną w kierowanych przez siebie placówkach. Sam dokonał w latach pobytu w Dorpacie ogromnej, kilkuletniej serii pomiarów libracji Księżyca. Ta seria dostrzeżeń należy, jak wykazały ostatnio badania radzieckie, do najbardziej wykonanych obserwacji tego typu. Jeszcze jako student w Warszawie rozpoczął obserwacje zakryć gwiazd przez Księżyc widząc — tu przemówił przez niego teoretyk — znaczenie tych pomiarów dla teorii ruchów naszego satelity. Od samego niemal początku objęcia kierownictwa w Obserwatorium Krakowskim zainicjował obserwacje minimów gwiazd zaćmieniowych i program ten był potem w dostrzegalni krakowskiej przez lat z górą trzydzieści realizowany pod jego kierownictwem z żelazną konsekwencją. „Kapitał“ obserwacyjny nagromadzony w ten sposób w Krakowie w ciągu lat stał się podstawą do zajęcia przez Obserwatorium Krakowskie czołowego miejsca wśród placówek „opiekujących się“ gwiazdami zmiennymi typu zaćmieniowego. B a n a c h i e w i c z interesował się każdą nowością i postępem z dziedziny obserwacyjnej; Obserwatorium Krakowskie jako pierwsze w Polsce uruchomiło fotometr fotoelektryczny z fotomnożnikiem, jako pierwsze zbudowało radioteleskop.

Doskonałe wyczucie możliwości pomiarowych, tkwiących w danej metodzie obserwacyjnej, w połączeniu ze zmysłem teoretyka zadecydowały o sukcesie wielkiej, znanej i szeroko uznawanej koncepcji B a n a c h i e w i c z a użycia Księżyca do nawiązań geodezyjnych odległych kontynentów. Mówiąc krótko pomysł polega na oparciu się o znaną szybkość cienia Księżyca, przesuwającego się po powierzchni globu ziemskiego wzdłuż pasa całkowitości i wyznaczeniu z zarejestrowanych momentów przejść tego cienia przez dwie odległe miejscowości ich wzajemnej odległości. Historia powstania tej metody zaczyna się w roku 1927, kiedy to polska ekspedycja zaćmieniowa do Laponii szwedzkiej kierowana przez B a n a c h i e w i c z a zastosowała rejestrację na taśmie filmowej dla wyznaczenia dokładnych momentów znikania i ukazywania się tzw. pereł B a i l y' e g o. Samo zjawisko „pereł“, na które rozpada się wąski sierp Księżyca w ostatnich momentach przed początkiem całkowitości i w pierwszych chwilach po końcu całkowitości, było uważane do czasu omawianej ekspedycji za efekt utrudniający dokładne wyznaczenie momentów początku i końca zaćmienia. Metoda obserwacji pomysłu B a n a c h i e w i c z a pozwoliła wyzyskać to rzekomo utrudniające obserwacje zjawisko do wielokrotnego (kilkudziesięciokrotnego) zwiększenia dokładności rejestracji momentu nasuwania się cienia Księżyca na daną miejscowość. W następnym roku, 1928, na Konferencji Państw Bałtyckich B a n a c h i e w i c z wskazał, iż owa zwiększona dokładność notowania kontaktów brzegów Słońca i Księżyca w czasie zaćmień w połączeniu ze znaną z teorii ruchów Księżyca jego szybkością

na orbicie pozwalają na zmierzenie odległości między dwoma punktami na Ziemi, jeśli przez nie przechodzi pas całkowitości. Stworzenie tej nowej możliwości przetrzucania triangulacji z jednego kraju do drugiego, choćby je rozdzielało morze, ma fundamentalne znaczenie dla geodezji wyższej, która potrafi wprowadzić pokrywę siatką trójkątów kontynenty, ale nie potrafi powiązać dwóch rozdzielonych oceanem sieci triangulacyjnych. Metoda chronokinematograficzna była w latach późniejszych stosowana przez liczne ekspedycje zarówno polskie, jak i zagraniczne (fińskie, szwedzkie, amerykańskie). Ostatnio jak gdyby echem pomysłu *B a n a c h i e w i c z a* jest użycie do wyznaczania rozmiarów i kształtu Ziemi momentów zakryć gwiazd przez Księżyc, których rejestracji z wielką dokładnością dokonuje się za pomocą nowoczesnych fotomnożników. *B a n a c h i e w i c z* trafnie ocenił i zrozumiał, że do pełnego wykorzystania możliwości tkwiących w jego metodzie konieczna jest dokładna znajomość profilu Księżyca, to jest topografii gór i dolin księżycowych, położonych w pasie brzegowym naszego satelity. Zainicjował przeto nową metodę opracowywania obserwacji kształtu Księżyca i jego ważenia się (libracji) pomyślaną tak, by w wyniku jej stosowania otrzymać możliwie najdokładniej niezbędne dane do scharakteryzowania każdorazowego profilu tarczy Księżyca. Wyrazem uznania dla zasług *B a n a c h i e w i c z a* w dziedzinie badań nad Księżycem było powołanie go przez Międzynarodową Unię Astronomiczną na prezesa Komisji Księżycowej. W latach 1932—38 był wiceprezesem tejże Unii.

Niemala była działalność *B a n a c h i e w i c z a* w dziedzinie organizacji życia naukowego w Polsce. Świadczy o niej w szczególności 25 zeszytów efemeryd gwiazd zaćmieniowych, ponad 10 tomów czasopisma międzynarodowego „Acta Astronomica“, świadczy powołany z inicjatywy *B a n a c h i e w i c z a* Zakład Aparatów Naukowych. Niemala wysiłku organizacyjnego włożył w przygotowanie szeregu ekspedycji zespołowych astronomów polskich dla obserwacji całkowitych zaćmień Słońca w latach 1927, 1932 i 1936.

Nierozdzielnie z pracą badawczą *B a n a c h i e w i c z a* związana była jego działalność profesorska. Wykłady profesora *B a n a c h i e w i c z a*, nawet ściśle kursowe, zawsze miały piętno jego oryginalnej myśli twórczej; stare i, zdawałoby się, przebadane do gruntu problemy były niejednokrotnie naświetlane w nowy sposób i niejedna rozprawa uczniów czy współpracowników *B a n a c h i e w i c z a* swój początek zawdzięcza jakiejś uwadze rzuconej przez niego na wykładzie czy też w czasie dyskusji seminaryjnej.

Gdy w marcu ubiegłego roku astronomowie polscy zebrali się na uroczystości jubileuszowej z okazji 50-lecia działalności profesora *B a n a c h i e w i c z a*, nie sądzono, że niezmordowana i z niesłabnącą energią prowadzona działalność badawcza, dydaktyczna i organizacyjna jubilata już tak niedługo ustanie. Jeszcze chory, w szpitalu egzaminował studentów, przygotowywał nowe prace, konferował z odwiedzającymi go astronomami o sprawach naukowych, zbywając kilku słowami zapytania o swoje zdrowie. Zgasł w pełni sił twórczych. Odeszła od nas wielka postać astronomii polskiej XX wieku.

Stefan Piotrowski

KONFERENCJA NA TEMAT „DEFEKTY W CIAŁACH KRYSZTAŁICZNYCH“

(BRISTOL 13.VII — 17.VII.1954 r.)

W dniach 7—10.VII.54 r. odbyła się w Londynie sesja plenarna Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej.

Sesje takie, odbywające się na ogół co dwa lata, poświęcone są sprawom organizacyjnym. W związku z powyższą sesją Unii zorganizowano kilka naukowych konferencji specjalistycznych, poświęconych poszczególnym gałęziom fizyki.

W dniach 13.VII—17.VII.54 r. odbyła się w Uniwersytecie w Bristolu konferencja na temat „Defekty w ciałach krystalicznych“. Konferencja ta zgromadziła 300 naukowców pracujących w dziedzinie fizyki ciała stałego. Najliczniejszą obok gospodarzy była grupa amerykańska; licznie reprezentowane były: Francja, Holandia, Włochy i Niemcy Zachodnie. Z krajów Demokracji Ludowej obok niżej podpisanego brał udział w konferencji prof. O. S t a s i v z Berlina.

Przewodniczącym konferencji był prof. N. F. M o t t, jeden z najwybitniejszych fizyków angielskich. Wśród uczestników konferencji znaleźli się światowej sławy specjaliści fizyki ciała stałego z krajów zachodnich, jak: prof. G. P. T h o m s o n (Anglia), J. C. S l a t e r (USA), M. J. B u e r g e r (Holandia), C. K i t t e l (USA), F. S e i t z (USA) i wielu innych.

Tematyka konferencji obejmowała dwa luźno ze sobą powiązane kierunki problematyki:

- 1) zjawiska rezonansu magnetycznego w kryształach,
- 2) teoria dyslokacji, zagadnienia wzrostu kryształów i wytwarzanie defektów sieci krystalicznej.

Pierwszemu z tych kierunków poświęcone były dwa dni, drugiemu zaś pozostałe 3 dni konferencji.

Oprócz tych dwu głównych kierunków problematyki wygłoszono kilka nie wiążących się ze sobą ściślej referatów, a dotyczących np. właściwości półprzewodników, dyfuzji w ciele stałym itd.

Program konferencji nie zawierał referatów problemowych, które w sposób syntetyczny obejmowałyby jakieś obszerniejsze zagadnienia. Referaty trwające na ogół 20—30 minut stanowiły komunikaty z prac własnych, będących często drobnymi przyczynkami. Ogółem uczestnicy konferencji mieli możliwość wysłuchania kilkunastu referatów dziennie. Referaty te nie wywoływały na ogół żywszej dyskusji. Najbardziej ciekawe dyskusje odbywały się poza posiedzeniami oficjalnymi, a mianowicie w „kuluarach konferencji“.

Do takich nieformalnych dyskusji było dużo okazji, gdyż wszyscy uczestnicy konferencji byli wspólnie zakwaterowani w jednym z college'ów Uniwersytetu w Bristolu oraz mieli zorganizowane wspólne posiłki. Dawało to możliwość nawiązywania osobistych kontaktów i dyskutowania licznych zagadnień naukowych, również i takich, które nie były uwzględnione w programie konferencji.

Najbardziej interesującą częścią problematyki konferencji były referaty zapoznające z badaniami prof. K i t t e l'a i jego współpracowników.

Prof. K i t t e l opracował nową metodę badania aktywnych centrów w półprzewodnikach i dielektrykach za pomocą rezonansu magnetycznego. Badania te, prowadzone od kilku lat, dostarczają nowej potężnej metody badania ciała stałego. Prof. K i t t e l przedstawił również odkryty przez siebie nowy rodzaj rezonansu, który nazwał rezonansem cyklotronowym. Pozwala on na bezpośrednie wyznaczenie masy efektywnej nośników prądu w półprzewodnikach.

Bardzo interesujące były wyniki badań szkoły bristolskiej (F. C. F r a n k i współpracownicy) nad wpływem dyslokacji na wzrost kryształów. Cały szereg referatów poświęcony był zagadnieniom zmian zachodzących w ciałach stałych pod wpływem działania szybkich cząstek jądrowych: neutronów, protonów, cząstek i promieni γ .

Konferencja, której organizacja była sprawna, przebiegała zgodnie z programem, tak że można było zawsze wybrać interesujące danego uczestnika referaty.

Niewątpliwie jednak zasadniczą wadą konferencji był zupełny brak syntezy i wielkie rozdrobnienie problematyki. Odbijało się to ujemnie na przebiegu dyskusji. Należy żałować również, że w programie konferencji nie przewidziano zwiedzania żadnych zakładów naukowych i laboratoriów; nie zorganizowano także żadnej wycieczki krajoznawczej.

Konferencja nie dała pełnego obrazu stanu rozwoju fizyki ciała stałego w krajach na niej reprezentowanych. Z rozmów prowadzonych w kularach można było wywnioskować, że szereg interesujących badań nie znalazło odbicia w wygłaszanych referatach.

Leonard Sosnowski

OBCHÓD STULECIA WYKŁADU HABILITACYJNEGO RIEMANNA

W dniach od 11 do 16 października odbyła się w Berlinie uroczystość obchodu wykładu habilitacyjnego R i e m a n n a. Bernhard R i e m a n n to jeden z największych matematyków wszystkich wieków. W roku 1854 miał wykład habilitacyjny pt. „Über die Hypothesen welche der Geometrie zugrunde liegen“. Odczyt ten, na pewno niezrozumiany przez ówczesnych słuchaczy, jeszcze dzisiaj jest źródłem natchnień dla matematyków.

Zjazd miał charakter międzynarodowy. Poza matematykami z NRD obecni byli najlepsi matematycy z Niemiec Zachodnich, jak W. B l a s c h k e i H. H a s s e, F r e u d e n t h a l z Utrechtu (Holandia). Z Rzymu przybył profesor F. S e r r a r i, z Pragi profesor C e c h na czele licznej delegacji czeskiej. Z Węgier G. A l e x i t s również z całą delegacją. Z Polski przybyli tylko dwaj delegaci, prof. K u r a t o w s k i i ja. Profesor K u r a t o w s k i miał wykład na temat: „O pojęciu przestrzeni w topologii“, a ja na temat „Wpływ idei Riemanna na rozwój fizyki“.

Organizacja zjazdu była bardzo dobra. Przyjęto nas niezmiernie gościnnie. Z rozmów dowiedzieliśmy się, że uczeni tęsknią za jednością Niemiec — w większości tęsknią za demokratycznymi, pokojowymi Niemcami — których nauka byłaby na poziomie nauki z okresu przedhitlerowskiego, zanim została zniszczona przez Hitlera. Nauka ta dźwiga się w Niemczech z upadku. Jest ona otoczona szczególną troską przez rząd NRD.

Leopold Infeld

„K a l e n d a r z c h e m i c z n y“, Warszawa 1954, PWT, str. 1824.
Cena zł 150.

Ukazała się część pierwsza od dawna oczekiwanego *Kalendarza chemicznego* wydana przez Państwowe Wydawnictwa Techniczne przy współudziale Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego. Jest to tom o objętości 1824 stron, zawierający 164 rysunki i 413 tablic. Nakład wynosi 23 000 egzemplarzy, wydrukowany został na cienkim papierze i oprawiony w trwałą, płócienną okładkę.

Całość *Kalendarza* ma się składać z dwóch części, z których część druga — technologiczna — wydana będzie zapewne w dwóch tomach, z uwagi na obfitość zawartego tam materiału. Należy się spodziewać, że część druga ukaże się w ciągu roku 1955.

Nad treścią *Kalendarza chemicznego* czuwało kolegium redakcyjne, składające się z prof. dra O. A c h m a t o w i c z a, mgra inż. M. A x t a, mgra inż. Z. B a Ń k o w s k i e g o, prof. dra T. B r e t s z n a j d r a, prof. dra J. H u r w i c a, mgra inż. J. Z i e n k o w i c z a, prof. dra A. Z m a c z y Ń s k i e g o. Komitet redakcyjny składał się z jedenastu osób, a część pierwszą opracowało 26 autorów specjalistów z różnych dziedzin, oraz sześciu redaktorów działowych.

Część pierwsza została podzielona na sześć działów:

1. Dział informacyjny obejmuje: strukturę organizacyjną przemysłu chemicznego, informacje dotyczące szkolnictwa średniego i wyższego, instytutów naukowo-badawczych, organizacji i stowarzyszeń, piśmiennictwa i klasyfikacji dziesiętnej.

2. Dział ogólny obejmujący wielkości i jednostki, tablice i wzory matematyczne, główne stałe i wzory fizyczne, własności mechaniczne i termiczne, własności dynamiczne, optyczne i elektryczne oraz dane pomocnicze w technice pomiarowej — ilustrowany jest 67 rysunkami i wykresami oraz zawiera 261 tablic.

3. Dział fizykochemiczny obejmujący: budowę materii, własności materii w różnych stanach skupienia, termodynamikę chemiczną, termochemię i statykę chemiczną, elektrochemię i koloidy — zawiera 85 tablic i 9 rysunków.

4. Dział nieorganiczny obejmuje: tablice i charakterystykę 98 pierwiastków chemicznych, tablicę własności 2006 związków nieorganicznych oraz tablicę synonimów tych związków.

5. Dział organiczny obejmuje: słownictwo związków organicznych, ułożone zgodnie z postanowieniami Polskiego Komitetu Normalizacyjnego wg Normy Polskiej PN/C/01000, układy izocykliczne i heterocykliczne, wykaz ważniejszych rodników, tablicę własności 3089 związków z podaną budową strukturalną, tablice synonimów tych związków, temperatur wrzenia i topnienia oraz wzory sumaryczne związków zawartych w tablicy głównej, wreszcie witaminy i hormony.

6. Dział analityczny obejmuje: analizę jakościową w ujęciu tabelarycznym, analizę kroplową, ilościową, wagową i miareczkową, metody elektrometryczne, analizę kolorymetryczną, analizę spektralną, polarografię i polarometrię, jakościową i ilościową analizę organiczną, analizę techniczną wody, paliw i gazów technicznych oraz

podstawy projektowania laboratorium analitycznego. Dział analityczny ilustrowany jest 88 rysunkami i zawiera 59 tablic.

Spis treści i skorowidz rzeczowy ułatwiają posługiwanie się *Kalendarzem chemicznym*, który nie jest jednak wyczerpującą encyklopedią, lecz został pomyślany jako podstawowa pomoc w codziennej pracy chemika zarówno w przemyśle, jak w pracowni naukowej.

Ponadto może być przydatny dla młodzieży studiującej chemię i powinien się znaleźć w podręcznym księgozbiorze każdej większej biblioteki.

Przy ogólnej pozytywnej ocenie tego wydawnictwa nasuwają się jednak również uwagi krytyczne. Formuluje się dość powszechnie opinię, że tytuł *Kalendarz* nie odpowiada objętości wydawnictwa. Jest ono zbyt obszerne, aby na przykład nosić je stale przy sobie, a tą cechą charakteryzują się wydawnictwa znane pod nazwą kalendarzy. Poprawniejszy może byłby tytuł *Informator* lub *Poradnik*, ale *Kalendarz chemiczny* ma już swoją tradycję w Polsce, gdyż stanowi kontynuację wydawanych uprzednio — zarówno przed wojną, jak i po wojnie — podobnych opracowań.

Może budzić wątpliwości celowość podawania adresów różnych instytucji chemicznych, gdyż adresy te ulegają zmianie i deaktualizują się bardzo szybko. Zamieszczona w pierwszej części „errata” nie wyczerpuje wszystkich błędów drukarskich, dlatego też należy życzyć, aby pełna „errata” ukazała się po zakończeniu całości wydawnictwa łącznie z ostatnim jego tomem. W dziale ogólnym, podającym tablice zasadnicze, brak jest tablic specjalnych, zwłaszcza w zakresie wiadomości technologicznych. Wydawca informuje, że tablice te będą zawarte w części drugiej — technologicznej, ale może byłoby bardziej celowe zgrupowanie ważniejszych tablic podających własności niektórych związków chemicznych w jednym miejscu, nie zaś odсылanie czytelnika do następnych tomów, które się jeszcze nie ukazały.

Nie ulega chyba wątpliwości, że liczba związków nieorganicznych (ok. 2000) oraz związków organicznych (ok. 3000) podana w tablicach własności tych związków jest zbyt mała. Związki nieorganiczne powinnyby objąć co najmniej 3000 połączeń, a związki organiczne 5 do 6 tysięcy połączeń.

W stosunku do działu analitycznego można wysunąć zarzut, że jest on zbyt szczupły na podręcznik, a zbyt wielki na jedną część obszerniejszego dzieła ogólnego. Za dużo tam tekstów opisowych, a za mało tablic. Ponadto brak jest takich najnowszych metod analitycznych, jak analiza rentgenograficzna, analiza chromatograficzna, analiza kroplowa anionów.

Zbyt krótki okres czasu upłynął od ukazania się części pierwszej *Kalendarza*, aby ustalić, o ile jest on pomocny w codziennej pracy laboratoryjnej i ruchowej. Dopiero dłuższe doświadczenie wykaże, które działy są może za obszerne, które wymagają ponownego przepracowania, a które rozszerzenia.

Ogólnie stwierdzić wypada, że wydanie *Kalendarza chemicznego* odpowiada potrzebom świata chemicznego i że to „zamówienie społeczne” zostało zaspokojone, przy czym na uwagę zasługuje nakład, który powinien wystarczyć na 2—3 lata. W tym czasie powinno nastąpić zebranie możliwie wszechstronnych opinii i przygotowanie następnego z kolei wydania opartego na krytycznych głosach użytkowników.

Tadeusz Zamoyski

T R E Ś Ć

<i>Hugo Steinhaus</i> — Zagadnienie nieodwracalności	123
<i>Kazimierz Gumiński</i> — Ciepło	133
<i>Włodzimierz Mościcki</i> — Rozmieszczenie i krążenie izotopów węgla w przyrodzie	139
<i>Tadeusz Kochmański</i> — Metoda krakowianowa i metoda ciągów wielowymiarowych	145
<i>Tadeusz Jerzy Wojno</i> — O sieci krystalicznej	155
<i>Arkadiusz Musierowicz</i> — Podstawowe wiadomości o powstawaniu i kształtowaniu się gleb	169
<i>Janusz Lech Jakubowski</i> — Opanowanie powodzi w Chinach Ludowych	184

KRONIKA NAUKOWA

<i>Stefan Piotrowski</i> — Tadeusz Banachiewicz	199
<i>Leonard Sosnowski</i> — Konferencja na temat „Defekty w ciałach krystalicznych („Bristol“)	203
<i>Leopold Infeld</i> — Obchód stulecia wykładu habilitacyjnego Riemanna	205

RECENZJE

<i>Tadeusz Zamoyski</i> — „Kalendarz chemiczny“	206
---	-----

Kosmos B, T. I zeszyt 1

E R R A T A

strona	wiersz	jest	powinno być
40	4 od góry	pół	pół
47	po w. 18 od dołu brak wiersza: zarówno z prędkimi jak i powolnymi neutronami. Odpowiedni związek		
49	16 od góry	Billeta	Billeka
121	16—17 od góry	Vaega	Vaesa

Nakładem PWN ukazały się wydawnictwa

ARCHIWUM MINERALOGICZNE
TOM XVIII, ZESZYT 1, s. 176, zł 39,80

*

ROCZNIK POLSKIEGO TOWARZYSTWA GEOLOGICZNEGO
TOM XXII, ZESZYT 3, s. 397, zł 22,45

*

ROCZNIKI GLEBOZNAWCZE
TOM III, s. 401, zł 40,30

*

PALEONTOLOGIA POLONICA
ZESZYT 6; s. 50, rys. 35, tabl. 7

*

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE