

Polskie Towarzystwo Przyrodników
im. KOPERNIKA

KOSMOS

Seria B
PRZYRODA NIEOŻYWIONA

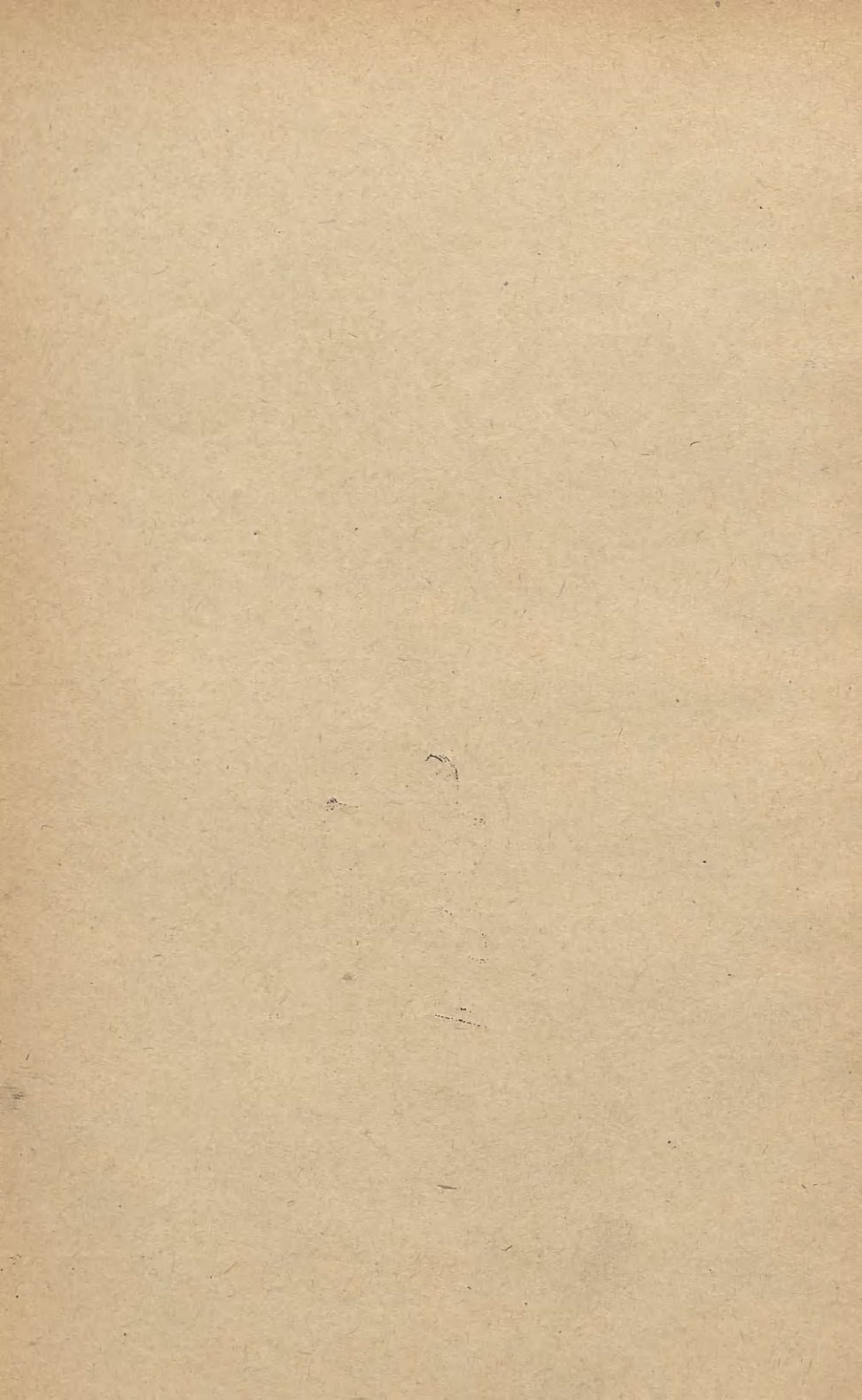


ROK II

ZESZYT 1 (5)

WARSZAWA 1956

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE



POLSKIE TOWARZYSTWO PRZYRODNIKÓW
Im. KOPERNIKA

K O S M O S

Seria B: PRZYRODA NIEOŻYWIONA

Rok 1956 – Tom II.

WARSZAWA 1956

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

Redaktor Naczelny

LEOPOLD INFELD

Zastępca Red. Naczelnego

KAZIMIERZ MAŚLANKIEWICZ

Członek Komitetu Redakcyjnego

JÓZEF HURWIC

Sekretarz Redakcji

WŁODZIMIERZ KOŁOS

Adres Redakcji: Warszawa, ul. Hoża 69



Nr inw. 504

TREŚĆ TOMU II

<i>Jerzy Gierula</i> — Irena Joliot Curie	285
<i>Józef Hurwic</i> — Perspektywy pokojowego wykorzystania energii jądrowej w świetle genewskiej konferencji atomowej	19
<i>Leopold Infeld</i> — Moje wspomnienia o Einsteinie	3
<i>Janusz Lech Jakubowski</i> — Wielkie plany budownictwa wodnego w Chi- nach Ludowych	89
<i>Stanisław Loria</i> — Działalność naukowa Piotra Curie	289
<i>W. Lwow</i> — Życie Alberta Einsteina I	209
<i>W. Lwow</i> — Życie Alberta Einsteina II	297
<i>Kazimierz Maślankiewicz</i> — Georgius Agricola	107
<i>Marian Mięslowicz</i> — Zapotrzebowanie surowców energetycznych a zagadnie- nie energii atomowej	149
<i>Włodzimierz Mościcki</i> — Izotopowe skale czasu	43
<i>Arkadiusz Musierowicz</i> — Zagadnienie odsalania gleb zieleńców warszawskich zasolonych w wyniku zgarniania na nie śniegu z ulic posypywanych solą kamienną	87
<i>Yasushi Nishiwaki</i> — Wyniki doświadczeń z bombą wodorowa	335
<i>Janusz W. Ostrowski</i> — Antoni Bolesław Dobrowolski	125
<i>Jerzy Pokrzywnicki</i> — O meteorycie białostockim	351
<i>Krystyna Pożaryska</i> — Co wiemy o szelfie i stoku kontynentalnym	161
<i>Jerzy Rayski</i> — Antycząstki	233
<i>Konrad Rudnicki</i> — Aktualne zagadnienia astronomii gwiazdowej	223
<i>Michał Strzemiński</i> — Gleboznawcze problemy gruntoznawstwa i geografii gruntów Polski	257
<i>Adam Trembecki</i> — Drogi postępu w dziedzinie obliczania zasobów złóż su- rowców mineralnych	73
<i>Włodzimierz Trzebiatowski</i> — Drogi rozwoju chemii nieorganicznej	31
<i>Maria Turnau-Morawska</i> — Główne zagadnienia współczesnej petrografii	247
<i>Wiktor Wawrzyczek</i> — Winceнты de Vigneaud	345
<i>Olgięrd Wołczek</i> — Uwagi o izotopach	157
<i>Przemysław Zieliński</i> — Próba systematyzacji cząstek elementarnych Gell- Manna i Paisa	239

KRONIKA NAUKOWA

<i>Barbara Behr</i> — Walne zgromadzenie Polskiego Towarzystwa Chemicznego	279
<i>Krzysztof Birkenmajer</i> — XXVIII Zjazd Naukowy i Walne Zebranie delega- tów Polskiego Tow. Geologicznego	96
<i>Bogusław Bobrański</i> — XIV Kongres Międzynarodowy Chemii Czystej i Sto- sowanej oraz XVIII Konferencja Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej w Zurychu	180

Janusz Dąbrowski — Międzynarodowa konferencja poświęcona reakcjom jądrowym	359
Zbigniew R. Grabowski — Konferencja Polarograficzna w Warszawie	275
Leopold Infeld — Konferencja z okazji 50-lecia teorii względności	93
Włodzimierz Kołos — Szkoła letnia z chemii teoretycznej	363
Kazimierz Maślankiewicz — Konferencja PAN poświęcona działalności Staszi- ca w Kielecczyźnie	99
Kazimierz Maślankiewicz — Uroczystości jubileuszowe w 400 rocznicę śmier- ci Georgiusa Agricoli	196
Janusz Pagaczewski — Stacja Sejsmologiczna Obserwatorium Geofizycznego PAN w Krakowie	101
Tadeusz Skaliński — Dwie konferencje optyczne (Toruń i Weimar)	183
Lech Stolarczyk — Konferencja elektrochemiczna	193
Kazimierz Zięborak — Konferencja „Surowce Organiczne Polski”	282

RECENZJE

Janusz Dąbrowski — W. Rubinowicz i W. Królikowski, „Mechanika teore- tyczna”	198
Włodzimierz Kołos — „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego”	105
Włodzimierz Kołos — H. Margenau i G. M. Murphy, „Matematyka w fizyce i chemii”	365
Kazimierz Maślankiewicz — „Roczniki Gleboznawcze”	105
Kazimierz Maślankiewicz — K. Smulikowski, „Minerały skałotwórcze”	201
Tadeusz Zamoyski — „Piśmiennictwo chemiczne w Polsce Ludowej”	199

MISCELLANEA

Leon Rappaport — List do Joasi	203
--	-----

POLSKIE TOWARZYSTWO PRZYRODNIKÓW
Im. KOPERNIKA

K O S M O S

Seria B: PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK II

WARSZAWA 1956

ZESZYT 1(5)

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

Redaktor Naczelny
LEOPOLD INFELD

Zastępca Red. Naczelnego
KAZIMIERZ MAŚLANKIEWICZ

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 1487 + 108	Oddano do druku 12.XII.55
Ark. wvd. 8,7, ark. druk. 6,75	Podpisano do druku 9.II.56
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g 70 X 100/16	Druk ukończono w tym 156
Cena zł 12.—	Zam. 560 B-7-21813

Stł. Drukarnia Naukowa, Warszawa, Śniadeckich 8

Leopold Infeld

MOJE WSPOMNIENIA O EINSTEINIE*

1

Po dwuletnim pobycie w Institute for Advanced Study w Princeton chciałem pozostać tam jeszcze rok trzeci. Otrzymałem jednak propozycję objęcia stanowiska w bardzo poważnym uniwersytecie w Toronto, w Kanadzie. Postanowiłem przyjąć tę ofertę. Einstein również radził mi ją przyjąć, chociaż żałował, że wyjeżdżam do Toronto i że nasza współpraca się urwie.

Nie urwała się jednak, chociaż była już znacznie luźniejsza przez następnych dwanaście lat, do chwili, gdy opuściłem Kanadę.

Podczas mego pobytu w Toronto pierwszego roku akademickiego (1938—1939) pracowałem nad zagadnieniem uogólnienia równań ruchu, a więc nad tym samym problemem, nad którym w roku poprzednim pracowaliśmy razem z Einsteinem. W fizyce teoretycznej, gdy pierwszy wyłom jest zrobiony i trudność przezwyciężona, okazuje się często, że niektóre z założeń były niepotrzebne, że struktura matematyczna teorii może być sformułowana bardziej precyzyjnie i bardziej ogólnie. Starałem się wyeliminować specjalne założenie, dotyczące układu współrzędnych; znaleźć równania ruchu nie jak poprzednio w pewnym układzie współrzędnych, ale w ogólnym układzie współrzędnych, co bardziej odpowiadałoby duchowi ogólnej teorii względności.

Posłałem Einsteinowi pierwszy szkic mojego rękopisu. Einsteinowi podobała się koncepcja, zrobił jednak dwie uwagi, które od razu zmieniły perspektywę całej pracy. Zauważył, że nie tylko równania mogą być sformułowane w ten ogólny sposób, ale możemy również zaznaczyć metody ich rozwiązywania przez użycie tej samej procedury aproksymatywnej, której użyliśmy poprzednio. Następnie zaproponował uproszczenie całego zagadnienia, zręcznie zmieniając mój argument i patrząc na problem z innego, oryginalnego punktu widzenia. Chciałem to wszystko przedyskutować z Einsteinem.

W maju 1939 r. po blisko rocznym niewidzeniu przestąpiłem znowu próg domu na Mercer Street. Musiało upłynąć nieco czasu, zanim poczułem się w tym pokoju tak swobodnie, jak wtedy, gdy pracowaliśmy wspólnie nad problemem równań ruchu lub nad *Evolution of Physics*. Omawialiśmy nasze nowe rezultaty, które znaliśmy już z wymiany listów. Einstein zaproponował, abyśmy je wspólnie opublikowali. Postanowiliśmy, że ja przygotuję rękopis i poślę go Einsteinowi do aprobaty. Byłem

* Fragmenty większej całości.

szczęśliwy, że nasza współpraca pokonała geograficzne oddalenie. Potem Einstein opowiadał mi o nowych usiłowaniach skonstruowania jednolitej teorii pola, o swoich rozczarowaniach i nadziejach, powtarzając kilkakrotnie: „Żałuję bardzo, że nie ma pana w Princeton. Myśmy się dobrze rozumieli. Przyjemnie było razem pracować!“.

Wizyta ta przynębiła mnie. Jednym z powodów było to, iż zdawałem sobie sprawę, że to wspaniałe przeżycie, którym była wspólna praca z Einsteinem, zbliża się ku końcowi. Drugi powód tkwił w tym, że rozmawialiśmy o problemach społecznych i Einstein był bardziej pesymistycznie nastrojony niż kiedykolwiek przedtem. Pesymizm ten podzielał na mnie. Einstein sądził, że przyszłość Europy jest zdeterminowana wydarzeniami w Madrycie i w Monachium, że „los się zbliża“. Nigdy przedtem nie wydawało mu się, że sytuacja polityczna jest tak beznadziejna i chaos tak bliski.

Czułem nostalgię. Gdy spacerowaliśmy później razem po ogrodzie uniwersyteckim, pełnym słońca i kwiatów wiosennych, wszystko niby było jak dawniej, za czasów naszej współpracy.

2

We wrześniu tego samego roku hitlerowcy napadli na Polskę. Podczas wojny pracowałem naukowo dla zwycięstwa. O ile sobie przypominam, nie widziałem się z Einsteinem w tym okresie ani razu. Wymienialiśmy tylko od czasu do czasu listy. Nie wiedziałem, jaką rolę odegrał Einstein w sprawie energii atomowej. Po wojnie byliśmy w stałym kontakcie, a to z różnych powodów. Niektóre z nich były zewnętrznej, inne głębszej natury, bo wiązały się z naszą pracą naukową. Pragnę wspomnieć tutaj o jego pracy na rzecz pokoju w Ameryce i mojej pracy pokojowej w Kanadzie. W pracy swej korzystałem z wypowiedzi Einsteina, przede wszystkim z mądrego i pięknego artykułu *Only then shall we be free*. (Tylko wtedy będziemy wolni), który mi przysłał. Wspólna nasza praca dla pokoju, przeciwko szantażowi bombą atomową, ożywiła nasz kontakt listowny. Potem wyszła moja książka o Galois pt. *Whom the Gods Love* (Wybrańcy bogów). Posłałem ją Einsteinowi, mając niewiele nadziei, czy znajdzie czas, aby ją przeczytać. Nie tylko znalazł czas, ale przysłał mi kilka pięknych i bardzo pochlebnych zdań o tej książce, upoważniając mnie, aby wydawca wyzyskał je w jaki sposób tylko zechce.

Obawiałem się, że ten kontakt może się stać kontaktem powierzchownym, bo nie opartym na wspólnej pracy. Jeśli idzie o mnie, odczuwałem w stosunku do Einsteina uwielbienie połączone z zażenowaniem. Nie chciałem pisać do niego zbyt często. Od czasu do czasu dostawałem również listy od jego sekretarki, p. Dukas, która jest niesłychanie dobrą osobą. Ile razy Einstein w jakimś towarzystwie powiedział o mnie coś dobrego, zaraz mnie o tym zawiadamiała.

Z tego okresu zachowałem wiele listów Einsteina, z których podaje najciekawsze urywki:

23 October, 1939

...I can imagine also how worried you are about your sisters in Poland. I hope that women are not so endangered in such situation. There is nothing one can do against those gang of scoundrels. But it seems to me that destiny is on the march!





23.X.1939

(..Wyobrażam sobie, jak bardzo niepokoi się Pan o los swoich sióstr w Polsce. Mam nadzieję, że kobiety nie są tak bardzo w tej sytuacji narażone. Nic nie można zrobić przeciwko tej bandzie zbrodniarzy. Ale wydaje mi się, że czeka ich zasłużony los.)

6 Maerz 1941

Unsere Bewegungsarbeit findet merkwuerdigerweise mehr Interesse als wir damals erwartet haben...

Unsere Bemuehungen um eine brauchbare Feldtheorie aufzustellen haben zu keinem Ergebnis gefuehrt. Ich neige immer mehr zu der Ansicht, dass man mit der Theorie des Kontinuums nicht weiterkommen kann, weil in dieser sich die Riemann-Metrik fast mit Notwendigkeit als die einzig naturgemaesse Begriffsbildung aufdraengt. Unsere Bemuehungen um eine allgemeine Begriffsbildung hatten aber bisher keinerlei Erfolg.

6.III.1941

(Nasza praca nad równaniem ruchu spotyka się, rzecz dziwna, z większym zainteresowaniem, aniżeliśmy się tego spodziewali..)

Nasze prace nad użyteczną teorią pola nie doprowadziły do żadnego rezultatu. Coraz bardziej skłaniam się do przekonania, że nie można pójść dalej z teorią continuum, ponieważ Riemanowska metryka narzuca się w niej jako jedyne naturalne pojęcie. Nasze trudy nad uogólnieniem tego pojęcia nie przyniosły dotychczas sukcesu.)

29. November 1945

Vor allem mein herzlichstes Beileid zu den schrecklichen Nachrichten, die auch Sie ueber das Schicksal Ihrer Verwandten erhalten haben. Es ist etwas Furchtbures um das juedische Schicksal und es ist klar, dass der Einfluss der nationalsozialistischen Propaganda noch fuer lange ernste Gefahren fuer uns in sich birgt...

Ich glaube jetzt mit ziemlicher Zuversicht zu sehen wie Gravitation und Elektrizitaet zusammenhaengen, wenn auch eine physikalische Verifikation noch in weiter Ferne liegt.

29.XI.1945

(Przed wszystkim moje najserdeczniejsze współczucie z powodu strasznych nowin, które i Pan otrzymał o losie swoich krewnych. Jest coś strasznego w tym losie żydowskim i jest jasne, że wpływ hitlerowskiej propagandy kryje dla nas na długi jeszcze czas poważne niebezpieczeństwa..)

Mam nadzieję, że odkryłem, jak grawitacja i elektryczność związane są ze sobą; weryfikacja fizykalna jest jeszcze daleka.)

den 25. Dezember 1945

Ich kann Ihnen Ihren Schmerz nachfuehlen, zumal auch in meiner Familie mehrere von den Deutschen umgebracht worden sind.

Ich bin recht schockiert darueber, dass die Reaktion auf diese Schandtaten in diesem Lande nicht so stark und spontan ist als man es erwarten sollte.

Ich bin recht neugierig auf Ihre Arbeit und will Ihnen gerne ueber diese interessante Moeglichkeit einer einheitlichen Feldtheorie erzahlen, wenn Sie mich einmal besuchen.

An den polnischen Botschafter habe ich empfehlende Worte fuer Herrn.. geschickt; aus Ihrem Buch weiss ich ja, dass er es wirklich verdient.

25.XII.1945

(Rozumiem Pana ból, zwłaszcza że i z mojej rodziny wiele osób Niemcy wymordowali.

Jestem zgorszony, że w tym kraju reakcja na te haniebne czyny nie jest tak silna i spontaniczna, jak się tego można było spodziewać.

Bardzo ciekawi mnie Pańska praca i chętnie Panu opowiem o nowej możliwości jednolitej teorii pola, jeżeli Pan mnie odwiedzi.

Do polskiego ambasadora napisałem list polecający dla pana... Z książki Pana wiem przecież, że on naprawdę na to zasługuje.

*

Widzimy z tych ostatnich listów tak charakterystyczną zmianę nastroju Einsteina w stosunku do jednego problemu, którym zajmował się przez 35 lat i nad którym pracował na pewno do ostatnich chwil swego życia: był to problem jednolitej teorii pola, teorii obejmującej budowę cząstek elementarnych, teorii dającej rozwiązania regularne, które mogłyby reprezentować elementarne cząstki. Bardzo wiele takich prób zaczynał, ogłaszał, w przekonaniu, że zawierają one część tej prawdy, której całe życie szukał. Potem dostrzegał w nowej teorii niedoskonałości, stawał się jej najsurowszym krytykiem; sądził, że w ogóle problem ten jest nierozwiązalny; potem znowu zdawało mu się, że widzi nowe światło. Czy ta teoria, którą zostawił umierając, wytrzyma próbę ognia czasu tak, jak wytrzymały ją szczególna i ogólna teoria względności? Wątpię. Ale będzie ona wiecznym pomnikiem wytrzymałości tego umysłu, który potrafił przez 35 lat uparcie trzymać się jednego problemu tak trudnego, iż jego rozwiązanie przerastało siły ludzkie. Istotnie, nad problemem cząstek elementarnych pracuje, atakując go z zupełnie innej strony, wielu uczonych. Problem ten wygląda dzisiaj inaczej aniżeli 35 lat temu dzięki tej teorii kwantów, którą Einstein pomógł stworzyć i od której w późniejszych latach swego życia odwrócił się z niesmakiem; uważał ją za teorię brzydką; uważał, że prawdziwie piękna teoria, opisująca naszą rzeczywistość, nie może posługiwać się metodami statystycznymi.

Cytuję list Einsteina:

den 21. April 1946

Ich habe mit vieler Freude Ihre ausgezeichnete Schrift ueber die atomic bomb gelesen, bin aber leider noch nicht zum Studium Ihrer Ietzten Abhandlung gekommen.

Heute sende ich Ihnen die Abschrift eines Briefes ueber unser gemeinsames Kind, der Sie sicher nicht weniger freuen wird als mich.

Seien Sie mir nicht boese, dass ich Ihnen so spaerlich schreibe; der Problemteufel haelt mich erbarmungslos in seiner Zange und treibt mich zu verzweifelten Anstrengungen, mathematische Schwierigkeiten zu ueberwinden. Ich sende Ihnen meine letzte Arbeit, in welcher der allgemeine Weg zur Loesung bereits richtig angegeben, die Feldgleichungen aber noch reformbeduerftig sind. Die endgueltige Arbeit ist schon seit vielen Monaten im Druck. Ich sende sie Ihnen sobald sie erschienen ist. Ich glaube endlich einen Zipfel der Wahrheit erfasst zu haben.

21.IV.1946

(Z wielką radością czytałem Pana świetną rozprawę o bombie atomowej, nie miałem jednak, niestety, jeszcze czasu na studiowanie ostatniej pracy Pana. Dziś przesyłam Panu odpis listu o naszym wspólnym dziecku (tzn. o *Evolution of Physics*), który na pewno nie mniej Pana ucieszy aniżeli mnie.

Niech się Pan na mnie nie gniewa, że tak mało piszę. Diabeł problemów trzyma mnie bezitrosko w swych szponach i zmusza do rozpaczliwych wysiłków, aby pokonać trudności matematyczne. Posyłam Panu swoją ostatnią pracę, w której podana jest ogólna droga rozwiązania problemu, ale równania pola muszą być jeszcze zmienione. Ukończona praca jest już w druku od wielu miesięcy. Poślę ją Panu, jak się tylko ukaże. Myślę, że wreszcie uchwyciłem rąbek prawdy).

Einstein był w ostatnich latach swego życia, a właściwie już od czasu, gdy pracował nad jednolitą teorią pola, odosobniony naukowo. Ja osobście nie wierzyłem, że tędy droga. Pamiętam, jeszcze dawniej, gdy w roku 1936 przybyłem do Princeton, Einstein zaproponował mi opracowanie jednego z dwóch tematów. Pierwszy — to zagadnienie ruchu, drugi — to praca nad jednolitą teorią pola. Wybrałem wówczas skwapliwie pierwszy temat, do którego później przyłączył się również Hoffmann, młody fizyk Peter Bergman obrał temat drugi i pracował przez pewien czas wspólnie z Einsteinem nad jednolitą teorią pola. (W roku 1949 wydawało mi się, że po 13 latach wspólnej z Einsteinem pracy nad problemem ruchu, o której wspomnę za chwilę, problem ten został zupełnie rozwiązany. Jednak jeszcze dziś, po 20 latach, pracuję nad tym zagadnieniem razem z moimi uczniami). Bardzo mnie bolało odosobnienie Einsteina i to, że jest on niejako poza prądem fizyki. Często ten największy chyba fizyk świata mawiał do mnie w Princeton: „Fizycy uważają mnie za starego głupca, ale jestem przekonany, że późniejszy rozwój fizyki pójdzie w innym niż dotychczas kierunku“. Dzisiaj zarzuty Einsteina przeciwko mechanice kwantowej nie straciły nic na swej sile. Dzisiaj — wydaje mi się — byłby on w poglądach swych mniej odosobniony aniżeli w roku 1936.

Ja jednak uważałem podówczas, że niechęć Einsteina do teorii kwantów jest nieuzasadniona. (Istotnie, prawie nic z tej niechęci nie znalazło się w *Evolution of Physics*, z której nie chcieliśmy zresztą zrobić książki polemicznej). Dlatego też, gdy jeden z twórców teorii kwantów był w roku 1948 w Toronto i jechał do Princeton, prosiłem go, aby porozmawiał z Einsteinem o podstawach teorii kwantów. W roku 1937 wielki Bohr był w Princeton i w publicznej dyskusji starał się przekonać Einsteina — bez skutku — o słuszności swego stanowiska. Napisałem do Einsteina, że prof. X. (nie chcę tutaj wymieniać nazwiska) będzie w Princeton i proszę go, żeby z nim o zagadnieniach tych porozmawiał. Powiedziałem mu, jak bardzo podziwiam profesora X.

Otrzymałem w odpowiedzi list zawierający między innymi następujące uwagi:

20.IX.48

Auch mir gefaellt der X. ausgezeichnet. Seine wissenschaftliche Phantasie ist auf's Hoehste zu bewundern und er steht seinen eigenen Gedanken stets kritisch gegenueber. Diskutieren aber kann ich kaum mit ihm, weil die verschiedenen Argumente in seinen Augen ein ganz verschiedenes Gewicht haben als in den meinen. Mein starres Haengen an der logischen Einfachheit und mein Misstrauen in den Wert von auch eindrucksvollen Bestaetigungen von Theorien, wenn es sich um principielle Fragen handelt, kann er nicht verstehen. Er empfindet solche Haltung als wirklichkeitsfremd und schrullenhaft wie alle, die fest daran glauben, dass die Quantentheorie dem

Wesen der Dinge schon ganz nahe gekommen ist. Ist begreife dies sehr gut und gebe mir gar keine Muehe jemanden irre zu machen. Wenn man mich nicht dazu zwingt (wie die Autoren in dem naechstens erscheinenden Band der Schilpp-Buecher), krieche ich nicht aus meinem Mauseloch heraus sondern schlag mich still mit den Problemen herum.

20.IX.48

(I mnie się p. X. podoba nadzwyczajnie. Jego fantazja naukowa godna jest najwyższego podziwu i jest on pełen krytycyzmu wobec swoich własnych idei. Jednak dyskusja z nim jest bardzo trudna, ponieważ różne argumenty mają w jego oczach zupełnie inną wagę aniżeli w moich. Moje sztywne trzymanie się logicznej prostoty i brak zaufania do wartości sprawdzianów teorii, robiących nawet duże wrażenie, jeżeli chodzi o zasadnicze zagadnienia — są dla niego niezrozumiałe. Uważa tego rodzaju stanowisko za odosobnione i dziwaczne jak wszyscy, którzy sądzą, że teoria kwantów bliska jest istoty rzeczy. Ja to bardzo dobrze rozumiem i nikogo nie usiłuję wprowadzać w błąd. Jeżeli się mnie nie zmusza do tego [jak autorzy w tomie Schilppa, który się w najbliższym czasie ukaze], nie wychodzę ze swojej mysiej dziurki, ale borykam się w cichości ze swymi problemami).

*

Kilka słów o ostatniej uwadze Einsteina. Książka Schilppa, o której wspomina w tym liście, to gruby tom zbiorowy, który pod redakcją Schilppa ukazał się w *Library of living Philosophers* (Biblioteka żyjących filozofów). Tom ów składał się z artykułów, które miały być częściowo bodaj również i krytyczne. Był tam między innymi artykuł Bohra i Pauliego. Otóż Einstein miał (taki był na ogół schemat tej biblioteki) pisać na początku o sobie, o swoim życiu, o swej pracy, a potem, na końcu, odpowiedzieć na zarzuty innych autorów. Znałem dobrze dzieje tej książki, ponieważ sam byłem autorem jednego z artykułów i pozostawałem w kontakcie z jej wydawcą. Otóż na końcu tej książki znajduje się pięknie napisana odpowiedź Einsteina na postawione mu zarzuty, odpowiedź, która może jaśniej i lepiej aniżeli inne jego artykuły tłumaczy stosunek Einsteina do teorii kwantów.

3

W roku 1948 dostałem pewnego dnia list od Einsteina w sprawie naszej pracy o problemie ruchu. (Muszę jeszcze raz wspomnieć, że podczas wojny byłem od tych problemów bardzo daleki, gdyż pracowałem nad innymi zagadnieniami, związanymi z wojną). W liście tym Einstein cytuje zarzut matematyka Levinsona postawiony naszej pracy. Zarzuca on nam, że nie ma w niej dowodu, iż postępowanie aproksymatywne można dowolnie przedłużać; że po każdym kroku jest krok następny. Myśmy wykonali tylko dwa kroki tego postępowania aproksymatywnego; pierwszy newtonowski i drugi pozanewtonowski. Oczywiście nikt nie wykona już kroku trzeciego. Dla porównania: jeżeli pierwszy krok jest tak prosty, że można go porównać z przepłynięciem kanału La Manche, to drugi jest tak trudny (w porównaniu z pierwszym), jak przepłynięcie Oceanu Atlantyckiego. Ten drugi krok zrobiliśmy, a trzeci krok byłby tak trudny, jak podróż międzyplanetarna w porównaniu z przepłynięciem Atlantyku. Tak więc mowy

nie ma, aby kiedyś ktokolwiek pokusił się o zrobienie kroku trzeciego. Zresztą później wspólnie z moim uczniem udowodniłem, że nigdy nie zajdzie potrzeba zrobienia tego kroku trzeciego. O tym jednak nie wiedziałem jeszcze w r. 1948, a matematyk żąda ścisłości. Chodziło o dowód, że każdy następny krok jest możliwy, jeżeli poprzedni został zrobiony.

Einstein napisał mi o tym obszerny list, wskazując na konieczność uzupełnienia naszej pracy, szkicując dowód i proponując, abysmy go wspólnie ogłosili. (Dowód ten zresztą okazał się fałszywy). List ten rozpoczął raz jeszcze naszą gorącą współpracę nad problemem ruchu. Tym razem praca postępowała naprzód drogą bardzo żywej korespondencji. Mam całą tekę tych listów od Einsteina, niestety, przemoczonych z powodu awarii statku wiozącego moje rzeczy do Polski, listów ledwie czytelnych, gdyż woda morska zmyła z nich atrament.

Rola Einsteina była na początku tej współpracy rolą entuzjasty. Potem okazało się, że jest jeszcze wiele innych, nierozstrzygniętych problemów, związanych z zagadnieniem ruchu i otrzymaliśmy cały szereg rezultatów bądź to pogłębiających dawne pojęcia, bądź też zupełnie nowych. Istotnie, od początku naszej współpracy upłynęło już lat jedenaście; długi okres czasu, wystarczający, aby zobaczyć stare rzeczy w nowej perspektywie. W tym czasie stworzyłem w Kanadzie własną szkołę i miałem szczególnie zdolnego współpracownika, z którym ogłosiłem szereg prac i z którym mogłem te wszystkie zagadnienia dyskutować.

Dwa do trzech razy tygodniowo wymienialiśmy z Einsteinem listy. Jednak zasadnicza trudność pozostawała: jak zastosować matematycznie w sposób przyzwoity naszą metodę aproksymatywną? Raz, podczas drogi powrotnej z uniwersytetu do domu, nagle przyszła mi do głowy myśl: wprowadzić dipole grawitacyjne. Ich istnienie powinno w każdym przybliżeniu umożliwić rozwiązanie. Ponieważ w sumie nie mają one sensu, musimy ich istnienie uśmiercić po skończonym przewodzie aproksymatywnym. Z warunku znikania owych dipoli otrzymujemy równania ruchu.

Przyszedłem do domu bardzo podniecony. Chciałem szybko wykonać obliczenie, aby zobaczyć, czy ta koncepcja prowadzi do celu. Po 15 minutach wiedziałem, że jest ona prostym rozwiązaniem tych trudności, które nas nękały przez długi czas. Po obiedzie wróciłem do zakładu, aby omówić to rozwiązanie z moim byłym uczniem, z owym zdolnym współpracownikiem i młodszym kolegą, o którym przed chwilą wspomniałem. Dziwne wydawało mi się, że ów zdolny, bystry młody człowiek z taką trudnością rozumie moją koncepcję, którą ja uważałem za oczywistą. Był to jeszcze jeden dowód czegoś, o czym właściwie od dawna wiedziałem; że jeżeli się coś wymyśli samemu, to ztraca się perspektywę i wszystko wydaje się proste, niemal banalne; natomiast dla kogoś stojącego z dala, patrzącego na te wywody ze sceptycyzmem, ukazują się trudności, czasami nowe, czasami te, które pokonałszy szybko i o których już nie wspominamy.

Mój kolega przyrzekł mi, że cały rachunek skontroluje. Następnego dnia powiedział, że znalazł błąd w obliczeniach. Nie wierzyłem w to i okazało się, że miałem rację. To on popełnił błąd, a nie ja. Tego samego dnia napisałem list do Einsteina donosząc mu (bardzo krótko) o moim wywodzie i że usuwa on wszystkie trudności. Czekałem z niecierpliwością na odpowiedź. Odpowiedź przyszła, ale rozczerowała mnie bardzo; nie było w niej wcale słów zachwytu nad moją metodą. Właściwie zawierała tylko

dalszy ciąg poprzednich wywodów Einsteina na temat tych trudności, które starał się rozwikłać idąc drogą zupełnie inną aniżeli ja. Znalazłem błąd w rozumowaniu Einsteina, napisałem mu o tym, prosząc go bardzo, aby przeczytał mój list, w którym, jak mi się zdaje, jest dobre rozwiązanie tego zagadnienia. Odpowiedź Einsteina zaczyna się od tych słów:

22.XI.1948

Sie haben voellig recht mit dem Einwand in Bezug auf den Divergenzansatz in den Naehrungsgleichungen. Ich schreibe erst jetzt, weil ich immer noch hoffte Ihren Brief mit dem bezueglichen Beweis wiederzufinden, was mir aber nicht gelang. Ich hatte den Brief nicht genau gelesen, weil ich damals an die Beweiskraft meiner auf die zerlagte Bianchi-Identitaet gegruendeten Ueberlegung nicht zweifelte. So bitte ich Sie mir Ihren Beweis nochmals mitzuteilen.

22.XI.1948

(Ma Pan zupełną rację co do swoich zarzutów, dotyczących twierdzenia o rozbieżności w równaniach przybliżonych. Piszę dopiero dzisiaj, bo miałem nadzieję, że znajdę Pana list z odnośnym dowodem. To mi się jednak nie udało. Nie czytałem tego listu dokładnie, bo nie wątpiłem podówczas w słuszność mego dowodu, oparte go na rozkładzie identyczności Bianchi. Dlatego proszę, by mi Pan przysłał swój dowód raz jeszcze).

4

Wydawało mi się, że nasza współpraca wymaga, abyśmy się zobaczyli. Napisałem do Einsteina, że przyjeżdżam do Princeton. Z Nowego Yorku zatelefonowałem do niego, aby się dowiedzieć, że jest on w szpitalu w Nowym Yorku i że prosił mnie, abym się natychmiast z nim skomunikował. Gdy zatelefonowałem, odezwał się lekarz, który powiedział mi, że profesor prosi, abym jak najprędzej przyszedł. Einstein był wtedy, o ile sobie przypominam, w prywatnym małym szpitaliku, dwu lub trzypiętrowym domku. Po przybyciu musiałem czekać, aż ukończą jakieś zabiegi. Wreszcie ukazał się Einstein w starym, zniszczonym szlafroku. Wyglądał znacznie gorzej aniżeli 9 lat temu (sądzę, że 9, gdyż chyba nie widzieliśmy się od 1939 roku). Spytałem, co mu jest. Odpowiedział, śmiejąc się głośno:

— Tego lekarze jeszcze nie wiedzą. O tym przekonają się podczas autopsji.

Poszliśmy na górę do pokoju przwięć i jak zawsze zaczęliśmy natychmiast rozmowę na temat naszej wspólnej pracy.

Znałem dobrze Einsteina i wiedziałem, że nie należy mu przerywać; mówił o trudnościach, które są jeszcze w naszej pracy; widocznie zupełnie już zapomniał o moim liście, w którym, zdawało mi się, wszystkie te trudności rozwiązałem. Gdy Einstein skończył, prosiłem go, aby mnie wysłuchał, gdyż — jak sądzę — udało mi się trudność tę usunąć. Powiedziałem tylko dwa zdania. O tym, że trzeba dodać dipole grawitacyjne, że one zapewniają całkowalność równań i że potem anihilacja tych dipoli daje równaniu ruchu. Gładził, jak zwykle gdy się zamyślił, wasa, a potem zaczął mi zadawać pytania. Wiedziałem, że to jest metoda Einsteina, że nie lubi on wykładów, tylko dyskusje. Gdy odpowiedziałem na trzy pytania, Einstein wyraził się entuzjastycznie:

— No, to nasze trudności są rozwiązane. Dlaczego mi pan o tym nigdy nie napisał?

Zachowałem — w stosunku do ostatniego pytania — dyplomatyczne milczenie. Potem rozmawialiśmy już o innych rzeczach. Podziękowałem mu za tych kilka bardzo pięknych zdań, które sam, bez mojej prośby, napisał o mej książce *Whom the Gods love*.

Powiedział, że mu się naprawdę ta książka bardzo podoba. A potem dodał z nieco złośliwym uśmiechem:

— Ja pana znam, pan właściwie pisał o sobie.

Oczywiście w tym Einstein zupełnie nie miał racji, chyba że zdanie to miało jakąś myśl ukrytą, której nie zrozumiałem. Wieczorem zjedliśmy wspólną kolację z Einsteinem, z jego gospodarzem lekarzem i rodziną gospodarza. Umówiliśmy się, że nazajutrz znowu przyjdę. Obawiałem się, że znajdzie jakieś nowe trudności. Nic podobnego. Zadał mi tylko jedno dodatkowe pytanie, aby się upewnić, czy naprawdę wszystko dobrze wychodzi rachunkowo (sam nigdy moich obliczeń nie sprawdzał). Potem rozmawialiśmy o tym, jak pracę tę sformułować. Umówiliśmy się, że ja mu pošlę rękopis, a potem uwzględnię wszystkie jego uwagi.

Obawiam się, że czytelnik tych stronic odniesie fałszywe wrażenie, że największa trudność została przeze mnie pokonana. Tak nie było. Podkreśliłem tylko w moim sprawozdaniu jedną z trudności, której rozwiązanie było moim udziałem. Reszta, jak było umówione, załatwiliśmy korespondencyjnie. Oto kilka wyjątków z listów Einsteina do mnie po naszym spotkaniu w Nowym Yorku.

6.XII.1948

Aber darin sind wir einig: das Problem ist im Prinzip gelöst und es handelt sich noch darum, wie man die Sache am besten darstellen soll. Das Pädagogische ist hier wirklich wichtig, weil sonst kein Teufel die Sache wirklich begreifen wird und immer wieder von anderer Seite an diesem Problem unnoetigerweise geknabbert werden wird. Wir muessen uns einfach Zeit lassen, um diese schoene Sache optimal darzustellen.

6.XII.1948

(Zgadza się co do jednego: problem jest zasadniczo rozwiązany i chodzi tylko o to, aby jak najlepiej tę sprawę przedstawić. Strona pedagogiczna jest tu naprawdę ważna, bo bez niej sam diabeł nie potrafi zrozumieć i ciągle z różnych stron będą ten problem niepotrzebnie obgryzać. Musimy sobie zostawić po prostu dostatecznie wiele czasu, aby nasz piękny wynik jak najlepiej przedstawić).

6.IV.1949

Ich bin mit der korrigierten Fassung einverstanden. Sie haben da ein grosses Stueck Arbeit geleistet. Der Leser hat es aber auch nicht leicht, weil es uns doch nicht ganz gelungen ist, das Prinzipielle vom Formalen zu trennen, wenigstens bei der Darlegung des letzten Gedankens.

Aber ich bin einverstanden, dass alles so gedruckt wird wie es jetzt ist (nach sorgfaeltiger Durchsicht).

6.IV.1949

(Zupełnie zgadzam się ze skorygowanym rękopisem. Zrobił pan dobrą robotę. Ale dla czytelnika ta lektura nie jest łatwa, bo niezupełnie udało nam się oddzielić zasadnicze rzeczy od formuł, przynajmniej przy przedstawieniu ostatniej myśli. Lecz zgadzam się, by wszystko było wydrukowane w obecnej formie, po starannym przejrzaniu).

Poprzednio jeszcze pisał do mnie list, który zakończył następującymi słowami:

19.XI.1948

Die gemeinsame Arbeit mit Ihnen hat mir unbeschreibliche Freude gemacht und ich glaube, dass keiner von uns allein ganz damit fertig geworden waere. Denn der Stoff ist geradezu hinterhaeltig.

19.XI.1948

(Nasza współpraca sprawiła mi nieopisaną radość. Wydaje mi się, że żaden z nas nie potrafiłby sam wykonać tej pracy, bo przedmiot jest bardzo zdradliwy.)

*

W ten sposób powstała nasza trzecia poważna praca, drukowana w „Canadian Journal of Mathematics“.

5

W tym czasie otrzymałem zaproszenie, bym odwiedził Polskę, równocześnie zaś, na wiadomość o moim wyjeździe do Europy, przyszło zaproszenie z Dublina od mojego byłego kolegi z Toronto, profesora Synga, a nieco później dwa zaproszenia z Anglii: z Birmingham i z Manchester. Oczywiście, narzucającym się tematem wykładów była moja praca z Einsteinem, praca, która już wówczas była w druku i której pierwsze odbitki korektorskie miałem ze sobą. Napisałem do Einsteina, że wyjeżdżam, i czy zgadza się, abym wprowadził według swego uznania drobne poprawki w jego własnej pracy, którą przysłał mi jako redaktorowi „Canadian Mathematical Journal“, i abym naszą wspólną pracę referował w Europie. Otrzymałem odpowiedź zawierającą między innymi słowa:

Maerz 20, 1949

Ich danke Ihnen fuer Ihren Brief vom 16 Maerz. Ich bin voellig damit einverstanden, wenn Sie in meinem Manuskript kleine Aenderungen machen. Ich bin natuerlich auch voellig einverstanden, wenn Sie in Polen und (oder) in Dublin ueber unsere Arbeit vortragen. Natuerlich freue ich mich sehr, wenn ich Sie vor Ihrer Abreise sehen und das mit Ihnen besprechen kann, was Sie im Sinn haben. Auch bin ich Ihnen dankbar, dass Sie mir keinen Geburtstagsbrief geschrieben haben. Es war sowieso wie eine Beerdigung bei lebendigem Leibe.

20.III.1949

(Dziękuję Panu za list z 16 marca. Zgadzam się całkowicie na to, aby Pan wprowadził drobne zmiany w moim rękopisie. Naturalnie zgadzam się także, aby Pan w Polsce i (albo) w Dublinie miał wykłady o naszej pracy. Oczywiście cieszyłbym się bardzo, gdybyśmy się mogli zobaczyć przed Pana wyjazdem i gdybyśmy mogli omówić to, o czym Pan myśli. Jestem Panu wdzięczny, że nie przysłał mi Pan życzeń urodzinowych. To było i tak jak pogrzeb za życia.)

*

Wróciłem z Polski do Kanady z propozycją, aby na rok przyjechać z rodziną do kraju. W ciągu tego czasu miałem zdecydować, czy zostanie na stałe, czy też nie. Po tym, co widziałem w Polsce, propozycja bardzo mi odpowiadała. Powiedziałem, że gdyby o mnie tylko chodziło, zdecydował-

bym się zostać, ale ostateczna decyzja zależy od mojej rodziny. W Kanadzie należał mi się rok urlopu i nie przypuszczałem, aby sprawa dysponowania tym rokiem mogła natrafić na jakiegokolwiek trudności. Zależało mi jednak na tym, aby zasięgnąć w tej sprawie opinii Einsteina. Gdy mu o tym napisałem wkrótce po powrocie do Kanady, otrzymałem następującą odpowiedź:

Samstag, 11.VI.1949

Ich freue mich, dass Sie wieder da sind und hoffe, dass sie sich nicht gar zu tief in das weltliche Geschaefft eingelassen haben. Denn die Menschen sind wie Flugsand und man ist nie sicher was morgen oben liegt. Wir koennen ja beide ein Liedchen davon singen. Jedenfalls bin ich sehr neugierig von Ihnen etwas ueber Ihre allgemeinen Eindruecke zu hoeren.

Sobota, 11.VI.1949

(Cieszę się, że Pan znowu jest tutaj i mam nadzieję, że nie zapuścił się pan zbyt głęboko w sprawy świata. Ludzie są jak lotny piasek i nigdy nie jest się pewnym, co przyniesie jutro. Moglibyśmy przecież obydwaj zaśpiewać o tym piosenkę. W każdym razie bardzo jestem ciekaw usłyszeć coś o Pańskich ogólnych wrażeniach).

*

Część wakacji po przyjeździe z Polski spędziłem z całą rodziną w okolicy Nowego Yorku. Stamtąd — w czerwcu 1949 r. — pojechałem, by odwiedzić Einsteina. Widocznie miałem przeczucie, że widzę Einsteina po raz ostatni, bo chciałem, aby poznała go moja rodzina: żona, syn, który miał podówczas lat dziesięć, i sześciolatnia córka. Ponieważ, jak zawsze, spodziewałem się dłuższej rozmowy, zdecydowaliśmy, że ja pójdę sam, a rodzina po mnie przyjedzie za godzinę. Jakoś bardzo mało z tej wizyty pamiętam. Wiem tylko jedno: że pytałem Einsteina, co sądzi o moim powrocie do Polski na stałe. Namyslał się chwilę a w końcu powiedział:

— Przeciwno temu nikt nic mieć nie może. To jest bardzo szlachetne, tylko...

Czekałem na dalszy ciąg. Tutaj Einstein powiedział coś, co mnie bardzo zdziwiło, ale nie zaniepokoiło.

— Co będzie z panem, jeżeli dawny reżim dojdzie znowu do władzy? Co będzie, jeżeli Związek Radziecki zgodzi się na to w wyniku ostatecznych układów pokojowych?

Staralem się wytłumaczyć Einsteinowi, że ta ewentualność wydaje mi się tak mało prawdopodobna, iż można ją nazwać niemożliwością. Nie wiem, czy mi uwierzył. Po rozmowie zeszliśmy na dół, bo sekretarka powiedziała, że czeka na mnie rodzina.

Przed napisaniem tych słów zapytałem syna, czy pamięta tę wizytę. Odpowiedział mi, że tak. Gdy jednak przyszło do opisu, wspomnienia wypadły bardzo blado. Powiedział mi, że Einstein śmiał się głośno z jakichś politycznych dowcipów, które przywiozłem z Europy, że siostra Einsteina dała moim dzieciom dużą tabliczkę czekolady. Mój syn schował czekoladę do lodówki i postanowił nigdy jej nie zjeść. Ale potem wspólnie z siostrą zjedli ją jednak. Pamiętam, iż przy pożegnaniu Einstein powiedział, że mu się moje dzieci bardzo podobają. Oczywiście zegnaliśmy się z myślą, że w każdym razie przed wyjazdem, który nastąpiłby najwcześniej za rok, znowu się zobaczymy.

Niedługo po mojej wizycie otrzymałem list znowu w sprawach naukowych, w którym na zakończenie znalazłem następujący ustęp:

20.VI.1949

...Ich habe mir oft Gedanken darueber gemacht, dass Sie sich aus einer Art Idealismus zu weit mit der polnischen Angelegenheit einlassen koennten. Bei aller Sympathie mit der gegenwaertigen dortigen Regierung kann ich nicht an der Labilitaet der Verhaeltnisse zweifeln. Nach einiger Zeit moegen die Dunkelmaenner wieder aus den Mauseloechern hervorkriechen, in denen sie sich jetzt verborgen halten — so aehnlich wie es in Deutschland in den zwanziger Jahren gewesen ist. Dann wuerden Ihnen die Brueder die Hoelle heiss machen. Wenn es auch in der westlichen Sphaere gegenwaertig recht muffig ist, so ist doch nicht anzunehmen, dass der gegenwaertige hysterische Zustand gar zu lange andauert oder sich gar zu unertraeglichen Zustaenden auswaechst. Dafuer geht es den Leuten zu gut. Bei vollem Bauch werden die Leute nicht zu fanatisch.

20.VI.1949

(Dużo myślałem nad tym, czy z powodu pewnego rodzaju idealizmu nie zapuszcza się Pan może zanadto w sprawę Polski. Przy całej sympatii dla rządu polskiego nie mogę wątpić w chwiejność tamtejszych stosunków. Po pewnym czasie synowie ciemności mogą wyleźć z mysich kryjówek, w których ukrywają się teraz. Podobnie jak to było w Niemczech w latach dwudziestych. Wtedy bracia zaleją Panu sadła za skórę. Jeśli i w zachodniej strefie jest dzisiaj nastrój dość stęchły, to jednak nie można przypuszczać, aby obecna histeria potrwała zbyt długo lub też, by się przerodziła w stan trudny do wytrzymania. Na to ludziom powodzi się zbyt dobrze. Przy pełnym żołądku ludzie nie są zbyt fanatyczni.)

*

Dobrze wiedzieć, że jest przynajmniej jeden problem, co do którego Einstein nie miał racji. Tym problemem jest sprawa USA i sprawa Polski. Wzruszyły mnie jednak te słowa, gdyż wiem, jak mało obchodziły go zawsze sprawy ludzkie i jak bardzo obchodziły go prawa przyrody. A słowa te podyktowane były widoczną troską o mój los.

W tym okresie znowu podjęliśmy wspólną pracę naukową. Einstein napisał do mnie list, w którym przytaczał pomysł uproszczenia równań ruchu:

16.XII.1949

...Ich fuehle, dass wir unser Problem immer noch nicht voellig geloest haben, sondern uns hinter einem Formalismus verstecken. Unsere publizierte Loesung ist richtig, aber wir haben beide das Gefuehl, dass die Dipole einen vermeidbaren Umweg darstellen.

16.XII.1949

(...Czuje, że jeszcze problemu naszego nie rozwiązaliśmy w całości, tylko zasłoniliśmy się formalizmem. Nasze opublikowane rozwiązanie jest poprawne, ale mamy obojdwaj to uczucie, że dipole to droga okólna.)

*

Einsteinowi chodziło o zmienienie teorii w ten sposób, aby rozwiązanie równań ruchu otrzymać bez dipoli. Rozpoczęła się między nami wymiana listów. Zdawało się, że już uzyskujemy zgodę co do wszystkich

szczegółów, gdy znów zachodziła rozbieżność. Już posłałem Einsteinowi gotowy rękopis naszej wspólnej pracy, gdy nagle okazało się, że znów przestajemy się rozumieć. Czułem, że musimy się zobaczyć osobiście, aby ogłosić tę nową pracę, której rękopis jeszcze spoczywa w moich archiwach. Niestety. Nastąpiły wydarzenia, które uniemożliwiły widzenie się z Einsteinem. Ostatniej naszej pracy nigdy nie ogłosiliśmy.

Jeszcze zacytuję początek listu z okresu, o którym piszę:

Samstag, 23.VII.1949

Glauben Sie nur nicht ich haette aus Nachlaessigkeit zu Ihrem Vorschlage keine Stellung genommen. Ich habe studiert und studiert und wurde davon ueberzeugt, dass es nicht der wahre Jakob ist. Also habe ich mich unablaessig um einen naturerlichen Weg bemueht, bis mir das Gehirn beinahe geplatzt ist. Sechs Briefe habe ich angefangen und den Weg immer wieder verworfen. Nun glaube ich den Witz gefunden zu haben — wenn mich der Teufel nicht etwa wieder an der Nase herumgefuehrt hat.

Sobota, 23.VII.1949

(Niech Pan tylko nie sądzi, że to z powodu lenistwa nie zająłem stanowiska w sprawie pańskiego projektu. Studiowałem go i studiowałem, aż doszedłem do przekonania, że to nie jest prawdziwy Jakub. Bez wypoczynku szukałem naturalnej drogi, o mało mózg mi nie pękł. Sześć listów zaczynałem i za każdym razem zarzucałem drogę. Teraz wydaje mi się, że wpadłem na dowcip, jeżeli diabeł znowu nie wodził mnie za nos.)

*

Znowu nie mogłem się zgodzić z rozwiązaniem Einsteina i odroczyliśmy tę całą sprawę do najbliższego spotkania, które niestety już nigdy nie nastąpiło.

Wyjechałem do Vancouver, miasta portowego nad Oceanem Spokojnym na zjazd fizyków, którym uczestniczył Dirac i Bhabha. Potem wróciłem do Toronto i wniosłem podanie o urlop, aby wyjechać na rok do Polski. Dziekan zapewnił mnie, że zarówno on, jak i prezydent uniwersytetu nie mają nic przeciw memu wyjazdowi.

6

„Ensign“ była to nazwa tygodnika katolickiego sprzedawanego głównie w kościołach. Tygodnik ten poświęcił cały swój numer sprawie mego wyjazdu do Polski; że jestem atomowcem, że nauczyłem się od Einsteina tajemnic atomowych i że wywożę je za żelazną kurtynę. Nagle piekło rozpętało się nad moją głową. Jak się czułem, co przeżywałem pod naciskiem coraz silniejszego szantażu, zmierzającego do tego, abym się wyrzekł mej podróży do Polski, nie należy już do tej historii. Piszę o tym tylko dlatego, że z chwilą, gdy wspomniany numer się ukazał, a w parlamencie George Drew, przywódca opozycji, zapytał, co rząd zamierza zrobić, aby memu wyjazdowi przeszkodzić, z tą chwilą wiedziałem, że drogę do USA mam zamkniętą i że nigdy już Einsteina nie zobacze. Chmara dziennikarzy telefonowała, nagabywała Einsteina i mnie wypytując się, czy to prawda, że posiadam tajemnicę bomby atomowej. (Idiotyzm tym wyraźniejszy, że działo się to już po pierwszej próbie bomby atomowej

w Związku Radzieckim). Tak to niemal w rok po widzeniu się z Einsteinem wywędrowałem do mego rodzinnego kraju.

Otrzymałem już tutaj wzruszający list, który tak dobrze schowałem, że nie mogę go znaleźć. Píše w nim Einstein, jak samotnie się czuje od czasu śmierci Ehrenfesta (znany fizyk, profesor w Holandii) i od czasu mego wyjazdu z kontynentu amerykańskiego. Poza tym mam odpowiedzi na szereg listów, które pisałem do niego w różnych sprawach. Ale nie jest to już długa, odrębnie pisana korespondencja, którą poprzednio otrzymywałem. Żal mi teraz, gdy pomyślę, jak traktowałem te listy. Darowałem wiele z nich kolegom, przyjaciółom i przyjaciółkom. Niektóre gubiłem, nie wiedząc, jaką wartość będą miały dla mnie, gdy autora ich nie będzie już wśród żywych. Sam odpisywałem również odrębnie, nie zachowując kopii, i często nie wiem, do czego się odnoszą odpowiedzi Einsteina.

Po przyjeździe otrzymałem list w sprawie naukowej z następującym podiskiem:

13.X.1950

Frueher war der Mensch in der Hauptsache nur der Spielball blinder Kraefte — jetzt ist er noch dazu ein Spielball von Buerokraten — und findet sich damit ab: Kennen Sie Lichtenbergs Wort: „Der Mensch lernt wenig durch Erfahrung, denn jede neue Torheit erscheint ihm in neuem Lichte“?

13.X.1950

(Dawniej człowiek był w gruncie rzeczy tylko piłką w rękach ślepych sił: dzisiaj jest poza tym piłką w rękach biurokratów. A jednak zgadza się na to. Czy zna Pan powiedzenie Lichtenberga: „Człowiek uczy się niewiele przez doświadczenia, gdyż każde nowe głupstwo ukazuje mu się w nowym świetle“?)

W miesiąc później pisze do mnie również na tematy naukowe związane z moją pracą w Polsce. Na wstępie daje widocznie odpowiedź na moją uwagę w sprawie pracy pokojowej.

13.XI.1950

...Sie wissen wie sehr mir das Streben nach einem wirklichen Frieden am Herzen liegt. Ich glaube, dass in der jetzigen verfahrenen Situation direkte Versuche der hier in Betracht kommenden Art deshalb keine Aussicht auf Erfolg haben, weil auf allen Seiten das Vertrauen in die ehrliche Absicht des anderen erschuettert ist. Direkte Vorschlaege wuesste ich nicht zu machen. Einstweilen koennen nur Einzelschritte der beteiligten Lager in Frage kommen, die geeignet sind, langsam das Vertrauen herzustellen, ohne das konkrete Massregeln fuer die uebernationale Sicherheit nicht zustande gebracht werden koennen.

13.XI.1950

(Wie Pan, jak bardzo leży mi na sercu dążenie do prawdziwego pokoju. Zdaje mi się, że w obecnej okropnej sytuacji proste zamierzenia, które tutaj wchodzą w grę, dlatego nie mają widoków powodzenia, że wszędzie zaufanie do uczciwych zamierzeń drugiej strony jest zachwiane. Nie mam żadnych bezpośrednich propozycji. W tej chwili mogą tylko wchodzić w rachubę pewne pojedyncze kroki różnych obozów, które zdolne są powoli przywrócić zaufanie, bez którego nie ma konkretnych środków zachowania międzynarodowego bezpieczeństwa.)

Nigdy nie miałem fotografii Einsteina z podpisem i nigdy, jak długo byłem w Ameryce, nie zależało mi na tym, aby ją mieć. Zależało mi na tym (sam nie wiem dlaczego) w Polsce. Gdy go o nią prosiłem, otrzymałem następującą odpowiedź:

28.XI.1952

Die gewuenschte Photographie schicke ich Ihnen gerne und hoffe nur, dass der gegenwaertig blasende Wind Sie nicht in die Notwendigkeit versetzen wird, dieselbe gelegentlich verstecken zu muessen.

Sie haben mich auch wissenschaftlich etwas gefragt, wohl ueber die Feldtheorie. Gegenwaertig habe ich nichts Gedrucktes darueber. Es ist aber so, dass die inneren Schwierigkeiten und Alternativen voellig beseitigt sind... Die Moeglichkeit eines Vergleiches mit den Tatsachen liegt aber leider noch in weiter Ferne.

28.XI.1952

(Posyłam Panu z ochotą żadaną fotografię i mam nadzieję, że wiatr, który obecnie wieje, nie zmusi Pana do tego, aby ją przy sposobności troskliwie ukryć.

Pytał mnie Pan o sprawy naukowe, mianowicie o teorię pola. W tej chwili nie mam o tym nic drukowanego. Jest jednak tak, że wewnętrzne trudności i alternatywy są w zupełności usunięte... Możliwość porównania z faktami należy, niestety, do dalekiej przyszłości.)

W dwa lata później:

den 8. Dezember 1954

Ich freue mich ueber die guten Nachrichten ueber Ihr Leben und Wirken. Die optimistische Auffassung ueber die internationale Situation teile ich und kaum konnte man eine so guenstige Wendung erhoffen.

8.XII.1954

(Cieszę się z dobrych wiadomości o Panu życiu i działaniu. Zgadzam się z Pana optymistyczną oceną sytuacji politycznej; trudno było się spodziewać tak korzystnego zwrotu.)

*

Rok 1955 był rokiem 50-lecia teorii względności. Otrzymałem dwa zaproszenia. Jedno do Berna, drugie do Berlina. W Bernie odbył się w lipcu zjazd naukowy związany z 50-leciem teorii względności, a w Berlinie w marcu dwa wykłady. Jeden 18 marca Maxa Borna w Berlinie zachodnim o 50-leciu teorii kwantów, drugi 19 marca mój w Berlinie wschodnim o 50-leciu teorii względności. Myślałem, że może spotkam Einsteina w jednym z tych dwóch miast. Napisałem do niego z prośbą, aby przyjechał do Berlina. Chociaż wiedziałem, jak małe są szanse, aby Einstein odwiedził Europę, to jednak chciałem spełnić życzenie komitetu organizującego te wykłady — wspólne dla Berlina zachodniego i wschodniego. List, który otrzymałem w odpowiedzi, pisany jest trzy miesiące przed śmiercią Einsteina.

den 17. Januar 1955

Ich bin leider (oder soll ich sagen gottlob) nicht mehr gesund genug, um bei solchen offiziellen Anlaessen zu erscheinen. Ich denke, es waere huebsch, wenn Sie in Ihrer Predigt klarmachen, dass der Schwerpunkt der Theorie in dem allgemeinen Relativitaets-Prinzip liegt. Denn die meisten gegenwaertigen Physiker haben dies noch nicht erfasst.

17.I.1955

(Jestem, niestety — albo mogę powiedzieć dzięki Bogu — nie dość zdrowy, aby ukazywać się z takich oficjalnych powodów. Zdaje mi się, że byłoby pięknie, gdyby Pan w swoim kazaniu wyjaśnił, że punkt ciężkości teorii tkwi w ogólnej zasadzie względności. Bo większość współczesnych fizyków jeszcze tego nie rozumiała.)

*

Jak wywiązałem się ze swego zadania, czytelnik może się przekonać, gdyż mój odczyt berliński wydrukowany był w „Naturwissenschaften“ (1955). Wiem tylko, że było tylu słuchaczy, iż z sal akademii przenieść musiano ów odczyt do największej sali uniwersyteckiej, która była zapelniona. Na odczycie tym obecni byli fizycy z Niemiec zachodnich i delegaci z demokracji ludowych.

7.

18 kwietnia 1955 roku umarł Einstein. Zgasło wielkie światło. Umarł prawdopodobnie największy fizyk wszystkich czasów. Umarł człowiek o niewypowiedzianej dobroci, dobroci płynącej raczej z głowy aniżeli z serca. Umarł człowiek, który był sumieniem świata, który głos swój podnosił zawsze w obronie uciśnionych, zawsze przeciwko tyranii. Dla mnie pisanie tych wspomnień, przeglądanie raz jeszcze listów napisanych drobnym, równym pismem, było pociechą w osamotnieniu, które odczuwam. Nie wiem, czy da ono komukolwiek słabe bodaj wrażenie o wielkości, prawdziwej wielkości, z którą miałem szczęście się zetknąć.

Józef Hurwic

PERSPEKTYWY POKOJOWEGO WYZYSKANIA ENERGII JĄDROWEJ W ŚWIECIE GENEWSKIEJ KONFERENCJI ATOMOWEJ *

1. PERSPEKTYWY W DZIEDZINIE ENERGETYKI

„Przyszłość już się zaczęła“ — tak można by słowami jednego z autorów zagranicznych scharakteryzować sytuację, jaką zapoczątkowała w sierpniu 1955 r. konferencja genewska poświęcona pokojowym zastosowaniom energii jądrowej.

Centralnym tematem obrad konferencji były sprawy energetyki. Na podstawie danych, dotyczących różnych krajów, próbowano ocenić ogólnoświatowe potrzeby energetyczne i możliwości ich zaspokojenia. Według oceny przewodniczącego konferencji dra H. J. Bhabhy, około 80% energii czerpie się w chwili obecnej ze spalania paliwa kopalnego, tj. węgla kamiennego, ropy naftowej i gazu ziemnego. Wszystkie inne źródła energii zajmują w ogólnym bilansie energetycznym zaledwie około 20%. Próbowano następnie obliczyć, jak będą wzrastały potrzeby energetyczne w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat. Brano oczywiście pod uwagę stały wzrost liczby ludności na kuli ziemskiej oraz stały wzrost uprzemysłowienia poszczególnych krajów. Uwzględniając wszystkie te okoliczności uczestnicy konferencji doszli do wniosku zgoda pesymistycznego. Stwierdzili mianowicie, że zasobów paliwa starczy nam zaledwie na mniej niż stulecie. Sytuacja ludzkości przedstawia się więc wręcz tragicznie. W niedalekiej przyszłości możemy stanąć wobec klęski głodu energetycznego, która musiałaby spowodować całkowitą zagładę naszej cywilizacji. Należy zatem zawczasu poszukać nowych źródeł energii.

Energia spadku wody odgrywa obecnie w skali światowej względnie małą rolę. Jeżeli jednak nawet zwiększy się do maksimum wyzyskanie tego źródła energii, to niemniej nie będzie ono w stanie zaspokoić stale rosnących potrzeb energetycznych. Na konferencji brano pod uwagę nawet takie postacie energii, jak energia wiatru oraz energia przyptyków i odpływów morskich. Można w czasie przyptyku wodę zamykać w odpowiednich zbiornikach, a następnie wypuszczając ją w czasie odpływu zmuszać do tego, żeby obracała jakieś turbiny wodne. Uwzględniano również takie formy energii, jak energia ciepła mórz i oceanów oraz energia promieniowania słonecznego.

Ze szczegółowej analizy wynika jednak, że wszystkie te formy energii z wyjątkiem jedynie energii promieniowania słonecznego nie obiecują wie-

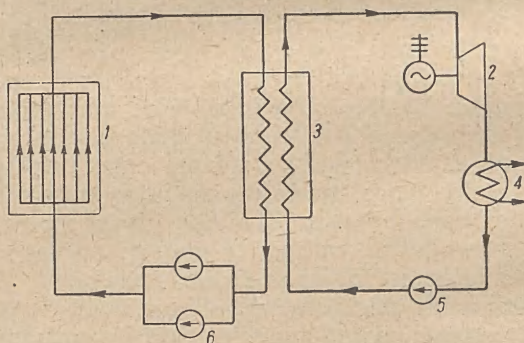
* Skrót referatu wygłoszonego w dniu 29.X.55 r. na posiedzeniu naukowym w związku z Walnym Zjazdem Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika.

le. Jeżeli chodzi natomiast o promieniowanie Słońca, to można je w nieco większym stopniu wyzyskać, niż dzieje się to obecnie, ale prawie jedynie w krajach tropikalnych. Nie tutaj więc znajduje się wyjście z ciężkiej sytuacji. Jedynym ratunkiem dla ludzkości jest — jak stwierdziła konferencja — energia jądrowa.

Jak wiemy, energię jądrową możemy wyzwalać na skalę przemysłową w procesach rozszczepiania pewnych ciężkich jąder atomowych. Głównym materiałem rozszczepialnym jest uran 235, który występuje w uranie naturalnym w ilości względnie niewielkiej, bo zaledwie 0,72%. Materiałem rozszczepialnym jest także pluton, sztucznie otrzymywany w reaktorach z uranu 238; w wyniku pochłonięcia neutronu i dwóch aktów emisji β , jądro atomowe uranu 238 przechodzi poprzez neptun w pluton. Trzecim stosowanym w energetyce jądrowej izotopem rozszczepialnym jest uran 233, który w podobny sposób jak pluton z uranu 238 otrzymuje się z toru; tor 232 po pochłonięciu neutronu przechodzi w wyniku dwukrotnej emisji β , poprzez protaktyn, w uran 233.

A zatem „paliwem jądrowym“ może być uran lub tor. Te dwa pierwiastki występują w przyrodzie w niezbyt wielkich ilościach. Energia jądrowa wyzwala się jednak w ilościach powyżej miliona razy większych, biorąc na jednostkę masy, niż energia cieplna. Wobec tego zastosowanie energii jądrowej może kłeszkę głodu energetycznego, jeżeli nie całkowicie odwrócić, to w każdym razie na kilkaset lat odsunąć.

Energię jądrową w sposób regulowany wyzwala się w reaktorach jądrowych rozmaitych typów. Ciepło, wydzielające się w reaktorze, może służyć do wytwarzania pary zasilającej turbinę parową, a ta może z kolei napędzać prądnice. Jest to zasada działania elektrowni jądrowej.



Rys. 1. Schemat elektrowni jądrowej Akademii Nauk ZSRR. 1 — Reaktor; 2 — turbogenerator; 3 — wymiennik ciepła (generator pary); 4 — skraplacz; 5 i 6 — pompy.

Pierwsza tego rodzaju elektrownia przemysłowa o napędzie jądrowym funkcjonuje już przeszło rok. Mam tu na myśli elektrownię uruchomioną 27 czerwca 1954 roku w Związku Radzieckim koło Kaługi pod dyrekcją inż. A. Nikołajewa i kierownictwem naukowym prof. Dymitra Błochincewa. Paliwem jądrowym jest w tej elektrowni uran naturalny wzbogacony do zawartości 5% uranu 235. Całkowity ładunek uranu wynosi nieco ponad 0,5 tony.

Jeżeli reaktor nie zawiera czystego materiału rozszczepialnego, ale iak w danym przypadku, mieszaninę uranu 235 i uranu 238, to niezbędne jest spowalnianie neutronów. Do tego celu służy moderator. Jako moderator używany jest w reaktorze radzieckim grafit. Pręty regulacyjne sporządzone są z węgla boru, który łatwo wychwytuje neutrony. Przez zanurzenie tych prętów w reaktorze do różnego poziomu można regulować szybkość łańcuchowego procesu rozszczepienia, a więc moc reaktora.

Ciepło odbiera się z rozpatrywanego reaktora za pomocą dwóch obiegów wodnych. W pierwszym obiegu woda krąży stalowymi rurkami poprzez rdzeń reaktora. Tłoczą ją pompy pod ciśnieniem około 100 atmosfer. Dopływa ona do reaktora w temperaturze poniżej 200°, opuszcza go zaś w temperaturze 270°. Wysokie ciśnienie zapobiega wrzeniu wody w tej temperaturze. Ogrzana w pierwszym obiegu woda z kolei ogrzewa w wymienniku ciepła wodę krążącą w drugim obiegu, zamieniając ją w parę o temperaturze 260° pod ciśnieniem 12,5 atmosfer. Para ta idzie już do turbiny parowej, napędzającej prądnice w elektrowni.

Elektrownia wytwarza 30 megawatów mocy cieplnej. Z tego 5 megawatów przetwarza się w moc elektryczną, dostarczaną następnie konsumentom.

Elektrownia ta ma — można powiedzieć — charakter doświadczalny w skali przemysłowej. Zadaniem elektrowni było tylko nagromadzenie doświadczenia niezbędnego do budowy i eksploatacji elektrowni na znacznie większą skalę. Takie właśnie wielkie elektrownie jądrowe będą w przyszłości uruchomione w ZSRR. Jak informowali delegaci radzieccy na konferencji w Genewie, w tej chwili bardzo zaawansowana jest już budowa olbrzymiej elektrowni jądrowej; moc jej będzie wynosiła 100 megawatów.

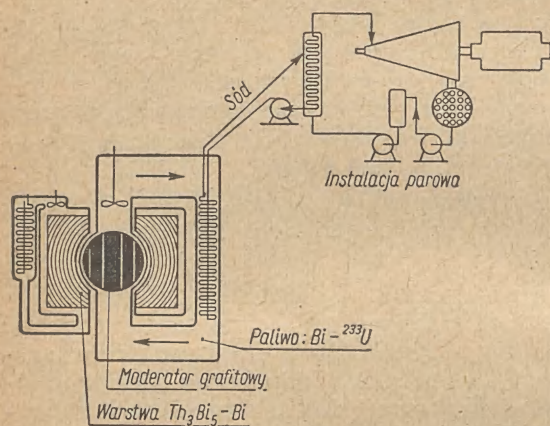
Według informacji, podanych na konferencji genewskiej, budową elektrowni przemysłowych zajmują się teraz uczeni i technicy również w innych krajach. Między innymi prof. Walter Henry Zinn zreferował bardzo ciekawe prace amerykańskie z reaktorem, dostarczającym energii w skali półprzemysłowej. Jest to reaktor z wrzącą wodą. Wodę chłodzącą doprowadza się tu do wrzenia w samym reaktorze i powstającej w ten sposób pary używa się bezpośrednio do napędu turbiny.

Anglicy budują wielkie energetyczne reaktory uranowo-grafitowe z chłodzeniem gazowym. Elektrownie jądrowe buduje się również w Stanach Zjednoczonych A. P., w Kanadzie i we Francji. Z danych przedstawionych w Genewie wynika, że za pięć lat, tzn. około roku 1960, w różnych częściach świata będzie funkcjonowało co najmniej 10 wielkich elektrowni jądrowych, każda o mocy 100 — 200 MW. Przewodniczący delegacji brytyjskiej, znany nukleonik John Cockcroft oświadczył, że przewiduje, iż już w roku 1975, czyli za 20 lat, prawie połowa energii elektrycznej w Anglii będzie produkowana w elektrowniach jądrowych. W roku tym według zreferowanych w Genewie obliczeń, reaktory jądrowe będą musiały zastąpić na świecie 2 — 3 miliardów ton węgla rocznie. Jak z tego wynika, już w bardzo bliskiej przyszłości energia jądrowa zacznie odgrywać w energetyce światowej olbrzymią, jeżeli nie dominującą rolę, rewolucjonizując całą naszą technikę.

Pośrednictwo energii cieplnej w przetwarzaniu energii jądrowej w elektryczną jest jednak wybitnie niekorzystne. Wróćmy do przykładu

działającej elektrowni radzieckiej. Jak już mówiliśmy, z 30 MW jej mocy cieplnej w użyteczną moc elektryczną, którą pobiera konsument, przekształca się zaledwie 5 MW. To znaczy, że tylko 1/6, czyli około 16% energii wyzwanej w reaktorze idzie na cele użyteczne, straty zaś wynoszą aż 84%. Oczywiście wielkie instalacje jądrowe, np. nowa elektrownia jądrowa budowana w Związku Radzieckim oraz elektrownie zaprojektowane i znajdujące się w budowie w innych krajach będą miały nieco większą wydajność.

Dr Clarke Williams z Brookhaven zreferował na konferencji w Genewie projekt wielkiej elektrowni o mocy cieplnej aż 500 megawatów.



Rys. 2. Schemat projektu wielkiej elektrowni jądrowej opracowany w Brookhaven National Laboratory.

Czynnikiem chłodzącym nie będzie tu woda czy gaz, jak w wyżej omówionych reaktorach, lecz stopiony sód. Dzięki temu można uzyskać parę o wysokiej temperaturze około 480°C. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, wysoka temperatura ciała czynnego pozwala osiągnąć wyższą wydajność. Według obliczeń przedstawionych przez Williamsa, wydajność elektrowni ma wynosić około 42%, to znaczy, że z 500 megawatów mocy cieplnej, wytwarzanej w reaktorze, aż 210 megawatów będzie dostarczało użytecznej mocy oddawanej przez elektrownię do spożycia.

Takiej wydajności nie osiągnął jeszcze dotąd żaden silnik cieplny. Do wydajności 100% będzie jednak i tutaj bardzo daleko. Nie można zaś liczyć na znaczne przekroczenie wydajności 42%. Zbyt niemu podwyższeniu temperatury staje bowiem na przeszkodzie ograniczona w tych warunkach odporność materiałów reaktorowych na wpływy mechaniczne, cieplne, korozję itd. Kres tego, co możemy praktycznie osiągnąć przy korzystaniu z pośrednictwa energii cieplnej, nie jest więc wysoki.

Nasuwa się w związku z tym pytanie, czy nie można pominąć tego niekorzystnego pośrednictwa? Próby takie są robione. Korzysta się tutaj z tzw. zjawiska elektrowoltaicznego. Uzyskano już wprawdzie w ten sposób pewne wyniki dodatnie, niestety jednak bardzo nikłe. Otrzymano dotąd tą drogą jedynie bardzo słabe źródła prądu, mianowicie baterie o nie-

Elektrownię ma zasilać reaktor mnożący (powielający) torowy. Rdzeń jego stanowić będzie uran 233 rozpuszczony w stopionym bizmucie. Z zewnątrz rdzeń otoczony będzie torem 232. Neutrony wybiegające z rdzenia chwytywane będą przez tor znajdujący się w zewnętrznej otoczce. W wyniku opisanych poprzednio przemian tor ten będzie się przekształcał w rozszczepialny uran 233. Reaktor taki nie tylko więc wyzwala energię, ale jednocześnie wytwarza nowe paliwo jądrowe, przy czym ilość wytwarzanego paliwa jest większa niż ilość paliwa zużywanego.

wielkiej mocy. Zjawisko elektrowoltaiczne nie daje się jeszcze zastosować na skalę przemysłową. Nie ulega jednak wątpliwości, że wraz z rozwojem techniki jądrowej uda się opanować proces przekształcania energii jądrowej w energię elektryczną bez pośrednictwa energii cieplnej.

Na tle dotychczasowych osiągnięć rysują się jednak już dalsze perspektywy. Na konferencji genewskiej, a właściwie na „marginesach” jej obrad, zastanawiano się również nad innymi źródłami energii jądrowej. Wielkie ilości energii jądrowej wyzwalała się w termojądrowej reakcji syntezy helu z ciężkiego wodoru. Proces ten dotąd znajduje zastosowanie niestety tylko w bombie wodorowej, gdzie przebiega on wybuchowo. Aby móc go wyzyskać dla celów pokojowych, trzeba znaleźć sposób regulowania procesu. Moglibyśmy wówczas energię reakcji wyzwalać w sposób niewybuchowy, w ilości zależnej od naszych potrzeb. Jak oświadczyli delegaci amerykańscy, radzieccy, angielscy i francuscy, uczeni tych krajów bardzo usilnie pracują nad opanowaniem pokojowego wyzwalaania energii w reakcji termojądrowej. Przewodniczący konferencji dr B h a b h a wypowiedział przypuszczenie, że na realizację tego programu potrzeba będzie około 20 lat. Inni delegaci na ogół bardziej pesymistycznie oceniali możliwości, przeznaczając na to dłuższy okres czasu. W każdym razie w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat nauka prawdopodobnie rozwiąże i to zagadnienie.

Jakie to będzie miało znaczenie dla energetyki światowej? Uran i tor, których jest względnie mało w przyrodzie, zostaną wtedy zastąpione, a przynajmniej wydatnie uzupełnione przez nowy, tani surowiec — ciężki wodór, w pokaźnych ilościach występujący w wodzie mórz i oceanów. W ten sposób ludzkości zostanie udostępnione nowe, obfite źródło energii, które na długi czas zaspokoi potrzeby.

2. ROLA IZOTOPÓW

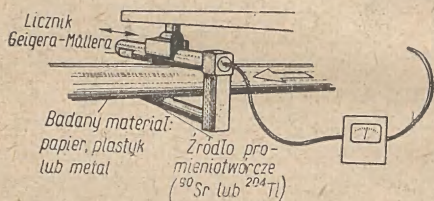
Reaktor jest nie tylko generatorem energii, lecz jest również źródłem izotopów, przede wszystkim promieniotwórczych. Izotopy otrzymuje się obecnie na wielką skalę we wszystkich krajach, które posiadają reaktory. Liczne izotopy znalazły szerokie zastosowanie w najrozmaitszych dziedzinach przemysłu, rolnictwa, medycyny, badań naukowych itd. Wymienie tutaj przykładowo kilka zastosowań izotopów promieniotwórczych i niepromieniotwórczych w praktyce i w poszukiwaniach badawczych.

W pawilonie radzieckim na wystawie, którą zorganizowano w Genewie w związku z konferencją, zademonstrowano następujące proste urządzenie do liczenia butelek. Butelki napelniane są w wytwórni np. wodą mineralną i odpowiednio zamykane. Następnie przechodzą one na ruchomej taśmie między źródłem promieniotwórczym i umieszczonym po drugiej stronie taśmy detektorem promieniowania, np. licznikiem Geigera-Müllera. Każda przechodząca butelka przerywa wiązkę promieni, na co natychmiast reaguje licznik. Liczba takich przerw zostaje zarejestrowana na numeratore licznika. Substancje promieniotwórcze znajdują więc tu zastosowanie do kontroli produkcji.

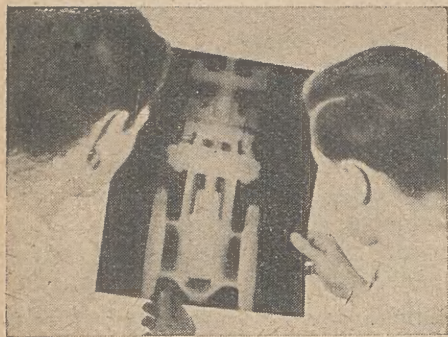
W tymże samym pawilonie wystawowym demonstrowano kilka urządzeń, w których izotopy promieniotwórcze pozwalają wyznaczać, a nawet

regulować poziom cieczy w zbiornikach o nieprzezroczystych ściankach. Jedno z takich urządzeń składało się z małego pływaka z niewielką ilością substancji promieniotwórczej, umieszczonego wewnątrz zbiornika, oraz z licznika Geigera-Müllera znajdującego się na zewnątrz. Licznik przesuwany pionowo wzdłuż zbiornika, znalazłszy się na poziomie pływaka, natychmiast reaguje na promieniowanie i informuje o poziomie zwierciadła cieczy. Urządzenie to można z kolei połączyć z przyrządem automatycznie regulującym dopływ cieczy do zbiornika. W ten sposób substancje promieniotwórcze mogą być używane nie tylko do kontroli procesu produkcyjnego, lecz również do jego automatyzacji.

W kilku pawilonach na wystawie w Genewie pokazano promieniotwórcze urządzenia do bezkontaktowego regulowania grubości jakiejś taśmy, np. blachy. Pod arkuszem blachy umieszcza się źródło promieniotwórcze, nad arkuszem zaś — detektor. Część promieniowania jest pochłaniana przez przesuwającą się blachę. Gdy w pewnym momencie między źródłem promieniotwórczym a detektorem przejdzie miejsce grubsze, przepuści ono mniejszą ilość promieniowania, co detektor natychmiast wykaże. Tak samo na podstawie zwiększonej ilości dochodzącego doń promieniowania detektor wykaże cieńsze miejsce blachy. Opisane urządzenie może uruchamiać sygnalizację świetlną lub dźwiękową albo nawet urządzenie odpowiedzialnie zmieniające odstęp między walcami i w ten sposób regulującą grubość blachy.



Rys. 3. Bezkontaktowy pomiar grubości



Rys. 4. Prześwietlanie wyrobów metalowych promieniami γ .

W realizacji tendencji przemysłu do automatyzacji procesów produkcyjnych niewątpliwie wybitna rola przypadnie izotopom promieniotwórczym.

Izotopy promieniotwórcze szeroko stosuje się do kontroli rozmaitych procesów w przemyśle chemicznym i hutniczym.

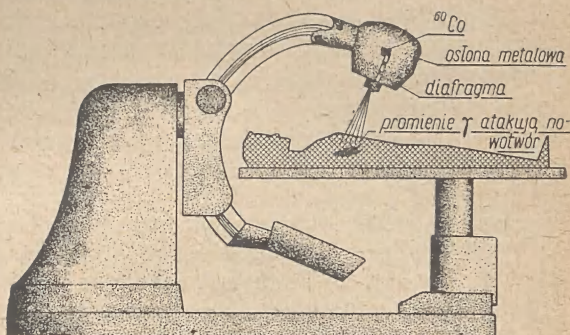
Substancje promieniotwórcze znajdują jednak zastosowanie nie tylko

do kontroli czy automatyzacji produkcji, ale również coraz częściej w samej technologii. Jeden z referatów wygłoszonych na konferencji w Genewie omawiał np. wpływ naświetlania promieniowaniem jądrowym na procesy polimeryzacji, którymi można w ten sposób kierować i otrzymywać masy plastyczne o pożądanych właściwościach. Są to dopiero pierwsze kroki w stosowaniu promieniotwórczości do procesów technologicznych. Udane próby odsłaniają i w tej dziedzinie obiecujące perspektywy.

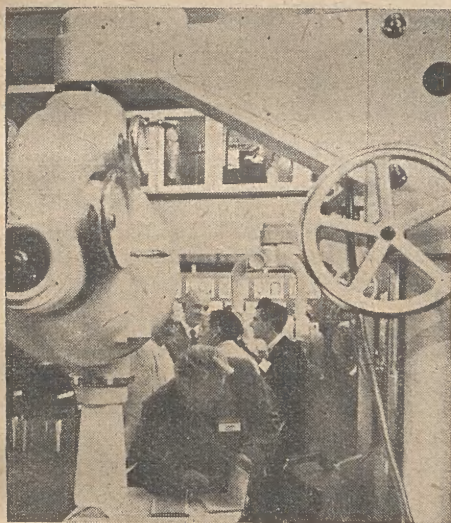
Liczne zastosowania znajdują izotopy promieniotwórcze wysyłające promienie γ , np. kobalt 60, w tzw. defektoskopii do prześwietlania wyrobów metalowych i wykrywania w ten sposób najrozmaitszych defektów.

Przykłady możliwości przemysłowych zastosowań izotopów promieniotwórczych można mnożyć niemal w nieskończoność. Paul C. A e b e r s o l d — dyrektor działu izotopów promieniotwórczych w Komisji do Spraw Energii Jądrowej w Stanach Zjednoczonych w swoim referacie na konferencji genewskiej ocenił oszczędności, jakie już dzisiaj uzyskuje przemysł światowy dzięki stosowaniu izotopów promieniotwórczych, na mniej więcej miliard dolarów rocznie. A są to przecież dopiero początki.

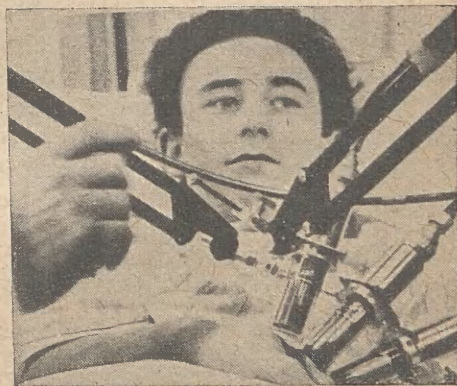
Bardzo liczne zastosowania znajdują izotopy promieniotwórcze również w medycynie. Na wystawie



Rys. 5. Leczenie nowotworów promieniowaniem γ wysyłanym przez ^{60}Co .



Rys. 5a. Aparat lekarski do naświetlań z promieniotwórczym kobaltem w pawilonie radzieckim na wystawie w Genewie.



Rys. 6. Promieniotwórczy sód użyty do mierzenia prędkości krążenia krwi.

instalacji elektrycznych. Izotopy promieniotwórcze stosuje się do leczenia nowotworów złośliwych oraz innych chorób. Metody atomów znaczonych używa się do badania działania leków. Na przykład promieniotwórcza siarka wprowadzona do penicyliny pozwala za pomocą licznika Geigera-Müllera prześledzić bardzo dokładnie losy tego leku w organizmie człowieka czy zwierzęcia. Zastosowanie promieniotwórczego wapnia jako wskaźnika umożliwiło stwierdzenie, iż wapń zawarty w mleku jest najłatwiej przyswajany przez organizmy młodych zwierząt do budowy kości.

w Genewie demonstrowano niedużych rozmiarów aparaty do prześwietleń z pierwiastkami promieniotwórczymi emitującymi promienie γ . Urządzenia te zastępują aparaty rentgenowskie, a nie wymagają żadnych

Za pomocą podobnych badań stwierdzono również, iż wraz z wiekiem zmniejsza się zdolność organizmu do przyswajania wapnia, co powoduje kruchość kości u ludzi starszych i trudność leczenia złamań.

Kilka referatów na konferencji genewskiej poświęcono sterylizacji leków i środków spożywczych za pomocą promieniowania jądrowego. Również tutaj otwierają się olbrzymie możliwości.

Wiele prac ogłoszono na temat zastosowania izotopów promieniotwórczych w rolnictwie. Większość tych prac dotyczy badania wpływu nawozów sztucznych w najrozmaitszych warunkach. Do danego nawozu wprowadza się niewielką ilość nawozu znaczonego promieniotwórczym izotopem jednego z pierwiastków składowych. Do nawozu fosforowego wprowadza się pewną domieszkę promieniotwórczego fosforu 32 . Jego losy w organizmie rośliny można z łatwością prześledzić za pomocą licznika Geigera-Müllera. W ten sposób daje się ustalić, w jakich warunkach nawożenie jest najkorzystniejsze, a przez to zwiększyć plony.

Szwedzi, Duńczycy, Anglicy i Amerykanie zreferowali na konferencji w Genewie ciekawe wyniki w dziedzinie genetyki. Przez naświetlanie promieniami jądrowymi wywoływali w roślinach mutacje. W kilku przypadkach udało im się osiągnąć mutacje korzystne. Uzyskali mianowicie odmiany roślin bądź wcześniej dojrzewające, bądź bardziej odporne na choroby czy na działanie rozmaitych pasożytów itd. Metoda ta obiecuje duże zwiększenie plonów prowadząc do obfitości płodów rolnych.

Na konferencji genewskiej bardzo wiele uwagi poświęcono badaniu fotosyntezy za pomocą wskaźników izotopowych.

Od dawna wiadomo, że przemiana materii w różnych roślinach przebiega w sposób różny, a w tych samych roślinach zależy od warunków: od temperatury, oświetlenia, dopływu wody, od doprowadzenia rozmaitych składników odżywczych. Powstają np. różne, lecz specyficzne dla danej rośliny w danych warunkach produkty, a przede wszystkim specyficzne białka.

Biochemicy już dawno starali się odpowiedzieć na pytanie, w jakim stadium procesu przemiany materii odbywa się synteza tych specyficznych białek. Jedni badacze stali na stanowisku, że we wszystkich roślinach fotosynteza ma ten sam przebieg prowadzący do węglowodanów, a te z kolei ulegając dalszym przekształceniom, dają białka. Inni badacze utrzymywali, że specyficzność biochemiczna roślin wytwarza się znacznie wcześniej, mianowicie już w samym procesie fotosyntezy, w którym jakoby powstają nie tylko węglowodany, lecz również białka.

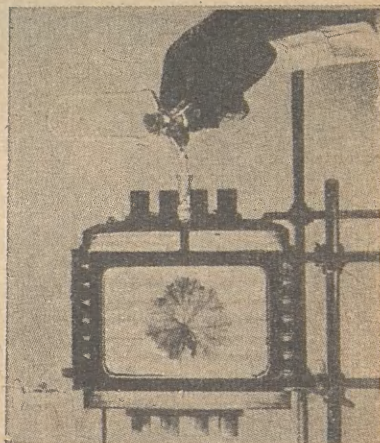
Aby odpowiedzieć na postawione pytanie, naświetlano w różnych warunkach liście roślin i próbowano sprawdzić, czy w czasie naświetlania wraz z ilością węglowodanów wzrasta ilość białka. Produkty fotosyntezy analizowano dawniej zwykłymi metodami chemicznymi. Zwykła analiza chemiczna jest jednak względnie mało czuła, może więc wykrywać tylko odpowiednio duże ilości produktów. Aby zaś wytworzyła się dostateczna ilość analizowanej substancji, czas naświetlania musi być dostatecznie długi. Ale wtedy trudno rozstrzygnąć, czy wykrywane przez analizę białko powstało rzeczywiście bezpośrednio w procesie fotosyntezy, czy też zdążyło wytworzyć się później jako produkt dalszych przemian bezpośrednich produktów fotosyntezy.

W celu wyjaśnienia tego zagadnienia zastosowano atomy znaczone. Na konferencji genewskiej m. in. prof. A. M. K u z i n przedstawił referat A. A. N i c z y p o r o w i c z a z Instytutu Fizjologii Roślin Akademii Nauk ZSRR, stanowiący przegląd ciekawych prac radzieckich w tej dziedzinie. Przede wszystkim badacze chcieli stwierdzić, do jakich grup substancji wchodzi asymilowany węgiel. W tym celu użyli dwutlenku węgla z β -promieniotwórczym węglem ^{14}C . Liście badanych roślin naświetlali w atmosferze $^{14}\text{CO}_2$. Następnie liście te poddawano ekstrakcji kolejno rozmaitymi rozpuszczalnikami. Najpierw ekstrahowano alkoholem, dalej benzyną, potem eterem i wreszcie wrzącą wodą. Następnie badano, do której z otrzymanych frakcji przeszła promieniotwórczość pochodząca od promieniotwórczego węgla.

Cóż wykazały te doświadczenia? We frakcji benzynowej i eterowej stwierdzono jedynie minimalne ślady promieniotwórczości. Główna aktywność promieniotwórcza magazynowała się we frakcji alkoholowej. Frakcja ta może zawierać białka rozpuszczalne w alkoholu i węglowodany. Dla oddzielenia tych dwóch rodzajów produktów — strącano białka octanem ołowiatym, węglowodany zaś — siarczanem miedziowym. We frakcji wodnej gromadziły się białka rozpuszczalne w wodzie i pewna część węglowodanów. Wreszcie część nierozpuszczalna (niewyekstrahowana) zawierała błonnik i białka nierozpuszczalne ani w wodzie, ani w alkoholu.

Poddawano badaniu różne rośliny oraz te same rośliny w różnych warunkach: badano, jak przebiega fotosynteza w liściach młodych i w liściach dojrzałych, stosowano naświetlanie o różnym składzie widmowym i badano wpływ długości fali itd. Stwierdzono, że już po upływie jednej sekundy różne rośliny, jak również te same rośliny w różnych warunkach, dawały różny procent promieniotwórczego węgla w poszczególnych frakcjach. Potwierdzało to przypuszczenie, że w samym procesie fotosyntezy tworzą się w różnych warunkach różne produkty. Nie wykluczało to jednak możliwości, że nawet w krótkim okresie jednej sekundy bezpośrednie produkty fotosyntezy zdążyły się dalej przekształcić.

W celu otrzymania definitywnej odpowiedzi zastosowano więc kombinowane znaczenie związków dwoma rodzajami atomów: promieniotwórczym węglem ^{14}C , jak poprzednio, oraz ciężkim azotem ^{15}N . Sporządzano roztwór siarczanu amonowego znaczonego ciężkim azotem i poprzez łożyskę wprowadzano ten roztwór do rośliny, albo też po prostu przecięty listek kładziono na tym roztworze i w ten sposób ^{15}N wraz z siarczanem amonowym przenikał do liścia. Liście, karmione ciężkim azotem, poddawano naświetlaniu w atmosferze promieniotwórczego dwutlenku węgla. Następnie odwirowywano chloroplasty stanowiące aparat fotosyntezy. Poddawano je ekstrakcji i badano zawartość znaczonych atomów. Stwier-



Rys. 7. Aparatura do badania fotosyntezy przy użyciu wskaźników izotopowych.

dzono, że podczas naświetlania wzrasta w białkach chloroplastów zarówno zawartość ^{15}N , jak i ^{14}C . W dalszym ciągu nie mamy jednak pewności, czy ^{14}C , który wchodzi w skład białka, pochodzi bezpośrednio z $^{14}\text{CO}_2$ (lub najbliższych produktów jego przekształceń), czy też z węglowodanów powstałych z tego dwutlenku węgla.

Aby rozstrzygnąć tę kwestię, wykonano następujące doświadczenia. Liść nasświetlano przez dłuższy czas w atmosferze $^{14}\text{CO}_2$. Powstawały węglowodany zawierające węgiel ^{14}C . Następnie plątek liścia kładziono na powierzchni roztworu zawierającego $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i naświetlano w atmosferze zwykłego niepromieniotwórczego dwutlenku węgla, po czym badano skład powstałych białek. Stwierdzono w białku obecność ^{15}N , nie stwierdzono natomiast w dostrzegalnej ilości ^{14}C , mimo iż były w liściu węglowodany zawierające ^{14}C . Świadczy to, iż gotowe węglowodany nie przekształciły się w białka. Białka powstały widocznie z dwutlenku węgla, który nie zawierał ^{14}C . Wydaje się, iż pomysłowe to doświadczenie dowodzi bezspornie, że białka powstają w organizmie roślinnym z pominięciem etapu węglowodanów, czyli tworzą się bezpośrednio w procesie syntezy.

Podobnie stwierdzono, że poszczególne aminokwasy, kwas askorbinowy i pewne inne związki powstają bezpośrednio w procesie fotosyntezy, a nie dopiero z jego produktów.

Proces fotosyntezy kryje jeszcze wiele nie wyjaśnionych zagadnień. Nie ulega jednak wątpliwości, że dalsze badania przy zastosowaniu wskaźników izotopowych pozwolą w przyszłości, i to prawdopodobnie niezbyt odległej, dokładnie poznać mechanizm fotosyntezy. To zaś umożliwi sztuczne syntezowanie substancji odżywczych w nieograniczonej ilości. Zarysowuje się ponętna perspektywa łatwego zaspokajania wszelkich potrzeb żywnościowych wbrew alarmom neomaltuzjanistów.

Kwestia ta wiąże się również z zagadnieniem głodu energetycznego. Węgiel kamienny jest przecież pochodzenia roślinnego i zawiera w sobie energię słoneczną zmagazynowaną w procesie fotosyntezy. Gdybyśmy umieli sztucznie przeprowadzać ten proces fotosyntezy, moglibyśmy tą drogą wiązać energię słoneczną i uzupełniać wyczerpujące się zapasy paliwa kopalnego.

Wspomnę jeszcze o zastosowaniu wskaźników izotopowych w chemii. Prof. Wiktor Kondratjew, dyrektor Instytutu Fizyki Chemicznej Akademii Nauk ZSRR, zreferował w Genewie ciekawe radiologiczne badanie tą metodą mechanizmu rozmaitych reakcji chemicznych. Proces wulkanizacji kauczuku znamy i stosujemy od przeszło 100 lat, ale mechanizmu tego procesu do chwili obecnej nie rozumiano. Zastosowanie promieniotwórczej siarki pozwoliło obecnie ten mechanizm odcyfrować.

Prof. John Turkevich z Princeton University przedstawił swoje i współpracowników prace, w których zastosowano wskaźniki izotopowe do badania mechanizmu reakcji kontaktowych. Za pomocą deuteru udało się wyjaśnić mechanizm kontaktowego uwodorniania węglowodorów nienasyconych. Mechanizm pewnych procesów kontaktowych można było odczytać dzięki zastosowaniu trytu. Badania tego rodzaju będą niewątpliwie miały olbrzymie znaczenie dla przemysłu chemicznego, zwłaszcza przemysłu tzw. wielkiej syntezy, w którym większość procesów ma charakter katalityczny.

Zastosowanie izotopów promieniotwórczych umożliwiło również opracowanie bardzo czułych metod analitycznych. Szczególnie dużą czułość daje tzw. analiza radioaktywacyjna. Polega ona na tym, że badaną próbkę poddaje się naświetlaniu wiązką neutronów z reaktora. Pod wpływem tego naświetlania izotopy niepromieniotwórcze, zawarte w próbce, przechodzą w izotopy promieniotwórcze. Badając promieniotwórczość próbki, możemy ustalić, jakie izotopy promieniotwórcze są w niej zawarte, a więc jakie izotopy niepromieniotwórcze zawierała przed naświetleniem. Metodą tą przy posługiwaniu się strumieniem neutronów z reaktora w Harwell udaje się wykrywać w badanych próbkach 10^{-12} grama pewnych pierwiastków ziem rzadkich (europu i dysprozu).

Izotopy promieniotwórcze znalazły zastosowanie nawet w badaniach archeologicznych i historycznych. Mianowicie Willard Frank Libby opracował metodę datowania szczątków organicznych na podstawie zawartości promieniotwórczego izotopu ^{14}C . Wskutek działania neutronów wytwarzanych przez promienie kosmiczne znajduje się on w pewnej ilości w naszej atmosferze. Jest zatem asymilowany przez rośliny. Ponieważ z kolei rośliny stanowią pożywienie dla świata zwierzęcego, więc ^{14}C zawarty jest również zawsze, w niewielkiej oczywiście ilości, w organizmach zwierzęcych. Gdy organizm roślinny lub zwierzęcy umiera, przerywa się proces pobierania ^{14}C , natomiast zawarty w organizmie promieniotwórczy węgiel rozpada się; jego okres połowicznego zaniku wynosi około 5600 lat. Z wiekiem zmniejsza się zatem zawartość ^{14}C w szczątkach organicznych. Zawartość ^{14}C można na podstawie wysyłanego promieniowania bardzo precyzyjnie wyznaczać za pomocą odpowiednich układów licznikowych. W ten sposób daje się ustalić wiek szczątków organicznych. Na tej podstawie Libby i jego współpracownicy badając stare przedmioty z materiałów pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego stwierdzili na ogół zgodność swoich wyników z poglądami historyków i archeologów. W przypadkach, gdy archeolog będzie miał wątpliwości co do wieku jakiegoś obiektu tego rodzaju, z pomocą pośpieszy mu fizyk.

Można powiedzieć, że niemal nie ma takiej dziedziny praktyki i badań naukowych, do której nie wkroczyłyby izotopy. A pamiętać musimy, że jest to dopiero początek kariery izotopów. Przedstawione tu perspektywy zastosowań są raczej bardzo skromne w porównaniu z tym, co niewątpliwie przyniesie przyszłość.

Udostępnienie Polsce przez Związek Radziecki izotopów promieniotwórczych umożliwi i nam stosowanie ich w różnych dziedzinach nauki i praktyki. A gdy zostanie u nas uruchomiony reaktor, będziemy mogli korzystać z izotopów własnej produkcji.

Włodzimierz Trzebiatowski

DROGI ROZWOJU CHEMII NIEORGANICZNEJ *

Chemia nieorganiczna we właściwym tego słowa pojęciu bierze swój początek od *Mendelejewa* i rozeznaniu przez niego wzajemnej relacji między pierwiastkami, znanej pod nazwą układu okresowego. Druga połowa ubiegłego stulecia i początek bieżącego poświęcone były w tej dziedzinie chemii na gromadzenie obszernego materiału doświadczalnego, potwierdzającego bez zastrzeżeń tezy *Mendelejewa* o własnościach pierwiastków i ich związków zmieniających się w periodyczny sposób na zasadach podanych przez powyższy układ.

Ta opisowa forma chemii nieorganicznej, znamionująca początek rozwoju każdej nauki doświadczalnej, stanowiła podstawę jej rozwoju, jednak charakter tego rodzaju klasycznej chemii nieorganicznej ulegał stopniowo zmianie. Wpłynęło na to wiele istotnych czynników, szczególnie rozwój nauk pokrewnych, jak chemii fizycznej, krystalografii i fizyki. Teoria budowy atomu nawet w swej pierwotnej korpuskularnej formie, podanej w r. 1913 przez *Bohra*, pozwoliła wysunąć pierwsze realne koncepcje o wiązaniu chemicznym, a więc rodzaju działania tych wszystkich sił, w następstwie których materia tylko wyjątkowo występuje w postaci swobodnych atomów, natomiast z reguły pod postacią większych jednostek — cząsteczek, kondensujących się łatwiej lub trudniej w postaci cieczy czy kryształów. Takim samym punktem zwrotnym stała się dla chemii nieorganicznej teoria koordynacji *Wernera* (od r. 1890), zajmująca się w jednolity sposób budową złożonych związków nieorganicznych i będąca skomplikowanym odpowiednikiem teorii *Va n't Hoffa* i *Bella* w chemii organicznej.

W tym też czasie chemia nieorganiczna zyskała nowe i podstawowe metody badawcze. Ugięcie promieni rentgenowskich o kryształy, stwierdzone przez *Lauego*, *Friedericha* i *Knippinga* w r. 1912, dało jej potężne narzędzie do ręki. Struktura pierwiastka chemicznego lub związku, a więc rozmieszczenie jego atomów czy jonów składowych w sieci przestrzennej kryształu, dotąd wydedukowana jedynie z ich właściwości chemicznych, mogła być odtąd określona bezpośrednio.

Nie tylko jednak rentgenografia, potem do tych samych celów służąca elektronografia, a ostatnio neutronografia wzbogaciły metody badawcze chemii nieorganicznej. Rozwój chemii fizycznej dostarczał coraz to nowych metod lub ulepszał dawne. Wszystkie właściwości substancji, jak

* Referat wygłoszony w dniu 21 maja 1955 r. na Sesji Naukowej Wrocławskich Dni Nauki i Kultury.

przewodnictwo elektryczne, własności dielektryczne, własności magnetyczne, absorpcja fal elektromagnetycznych od promieni X do mikrofal centymetrowych, własności termodynamiczne od temperatur najniższych do bardzo wysokich — są wykorzystywane dla scharakteryzowania substancji, odniesienia i powiązania jej budowy ze strukturą elektronową składników i rodzajem wiązania chemicznego, utrzymującego w równowadze składowe atomy związku. Powstaje i zyskuje trwałe podstawy *nieorganiczna chemia strukturalna*.

Dalsze istotne impulsy wynikły z rozwoju teorii wiązania chemicznego, opartej o mechanikę kwantową. Kształt cząsteczek czy złożonych jonów pozostaje w związku z kierunkowością oddziaływania w przestrzeni poszczególnych orbitali¹ lub kombinacji tych orbitali. Ich rodzaj może być przy dogodnych okolicznościach określony na podstawie badań własności magnetycznych. Podobnie koncepcje nowoczesnej teorii elektronowej metali umożliwiły pierwsze próby wytłumaczenia budowy związków międzymetalicznych.

Chemia strukturalna nie ogranicza się jednak tylko do poznania struktury określonych związków chemicznych. Wiadomo np., że tlenek zasadowy i kwasowy w rodzaju CaO i SiO_2 utworzyć mogą cały szereg związków chemicznych, krzemianów wapnia. Nie znaczy to, że chemia może zadowolić się tylko poznaniem struktury tych kilku związków, jak np. CaSiO_3 , Ca_2SiO_4 , $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$, które powstają. Narzuca się bowiem pytanie, co się dzieje z rozpatrywanymi składnikami układu przy proporcjach odbiegających od związków chemicznych, co istnieje w całym przedziale składników od 100% CaO do 100% SiO_2 włącznie? Prócz związków chemicznych i ich heterogenicznych mieszanin mogą jw. jeszcze istnieć roztwory stałe. Pełnej odpowiedzi na to zagadnienie udziela dopiero znajomość całego diagramu stanów fazowych obu składników, który oddaje własności i równowagi fazowe w całym interwale temperatur od najniższych do temperatury topnienia włącznie, a w razie potrzeby i wyżej. Taki punkt widzenia jest szczególnie istotny dla wielu zagadnień związanych z praktyką, gdzie rzadko mamy do czynienia z czystymi indywiduami chemicznymi.

Podobnemu pogłębianiu treści i zadań chemii nieorganicznej towarzyszy równocześnie poszerzenie znajomości nowych rodzajów materii. Zapęłniły się stopniowo luki układu okresowego przez określenie nowych, dawno już spodziewanych, pierwiastków, jak fransu, astatu, technetu, prometu. Równocześnie wzrosła ogromnie liczba różnicieńczych atomów u znanych pierwiastków. Zjawisko izotopii sprawiło, że faktycznie zamiast stu jeden pierwiastków chemicznych znamy około 300 trwałych rodzajów ich atomów, do których stopniowo przybyły setki izotopów nietrwałych, promieniotwórczych. Ich zastosowanie umożliwiło rozeznanie ogromnej ilości nowych faktów, istotnych dla poznania struktury związków chemicznych i mechanizmu reakcji chemicznych, niezależnie od ich zastosowania w innych działach nauki i techniki. Wydzielanie tych radioizotopów i kon-

¹ Funkcje falowe wywodzące się odpowiednio z elektronów *s*, *p*, *d* określa się mianem orbitali *s*, *p*, *d*. Kombinacje tych funkcji określa się jako orbitale zhybrydowane. Danej orbitali odpowiada określony rozkład gęstości elektronowych w przestrzeni.

centrowanie postawiło chemię nieorganiczną przed wielką liczbą nowych problemów, których rozwiązanie przy pomocy nowych metod stanowi jej zasługę.

Rozwój chemii nieorganicznej znalazł dalszą spontaniczną pobudkę, odkąd możliwa stała się produkcja radioizotopów nowych, transuranowych pierwiastków w ilościach nadających się nie tylko do obserwacji zjawisk ich promieniowania, ale także do doświadczeń chemicznych, a więc syntezy związków, badań struktury i własności chemicznych wpraw w ultramikro-, potem w mikro- i makroskali.

Najpotężniejsze źródło energii jądrowej, tj. reaktor atomowy, jest swą istą fabryką chemiczną, tym tylko różniącą się od zwykłej wytwórczości przemysłu chemicznego, że zamiast przekształcać jedne związki chemiczne w drugie, przekształca jeden rodzaj pierwiastków chemicznych w drugi, oddając przy tym nieproporcjonalnie w porównaniu do zwykłych reakcji chemicznych ilości energii reakcji jądrowych.

Chemia nieorganiczna jest w wieku energii jądrowej bardzo ściśle powiązana z problematyką z niej wynikającą. Przedmiotem badań stała się cała grupa pierwiastków transuranowych, czyli aktynowców, o liczbach porządkowych $Z = 93 - 101$, a właściwościach zbliżonych do pierwiastków ziem rzadkich. Rozwinęła się chemia neptunu, plutonu, ameryku, pierwiastków dostępnych w makroilościach. Uran i tor, podstawowe paliwa atomowe, należą obecnie do najlepiej i najbardziej nowoczesnymi metodami zbadanych pierwiastków chemicznych.

Byłoby jednak błędem sądzić, że zbadanie produktów rozszczepienia jądra uranowego czy powstałych nowych pierwiastków, a więc samo powiększenie liczby obiektów badań, stanowi jedyną korzyść wynikającą stąd dla chemii nieorganicznej.

Podczas kiedy uwaga nieorganików przez długie dziesiątki lat skupiała się przede wszystkim na pierwiastkach pospolitych, ściślej powiedziawszy łatwo dostępnych, znajdujących powszechne zastosowanie, to z kolei skierowała się ona obecnie ku pierwiastkom mniej znanym, nieraz niesłusznie określanym jako „rzadkie”. W wielu przypadkach pobudka do tego wychodziła od techniki, gdzie jeden wynalazek pociąga za sobą konieczność drugiego. Technika wysokopróżniowa, zapoczątkowana z początkiem bieżącego stulecia w przemyśle żarówek, z kolei lamp radiowych, zastosowania półprzewodników, rozwój awiacji, silników odrzutowych i turbin gazowych, a — powracając do zagadnień wieku atomowego — także reaktor atomowy stały się konsekwentnie w swych wymaganiach pobudką do szczegółowego poznania właściwości takich pierwiastków, jak wolfram, molibden, uran, tytan, cyrkon, beryl i ich związków. Spodziewać się można odnalezienia w nich tworzyw o nowych i tak cennych własnościach, których już pospolite pierwiastki nie mogą osiągnąć, a które są konieczne dla zrealizowania osiągnięć nowoczesnej techniki.

Kilka przykładów potwierdzi, że nadzieje te były uzasadnione. Dla użytku stosów atomowych produkcja uranu metalicznego, którego w r. 1939 nie było na całym świecie więcej niż kilka kilogramów, wzrosła do ilości wielotonowych, podobnie produkcja fluoru potrzebnego do otrzymywania fluorku uranu UF_6 , stosowanego przy zagęszczaniu izotopu ^{235}U . Tu należy również produkcja cyrkonu metalicznego, produkcja wielu utraczystych substancji, jak np. grafitu, produkcja wody ciężkiej.

W zakresie postulatów wysuwanych przez nowoczesną awiację trzeba podkreślić błyskawiczną karierę tytanu, który jeszcze 20 lat temu był unikatem, mimo swej pospólności w przyrodzie, gdyż w składzie skorupy ziemskiej około 40-krotnie pospolitszy od miedzi; jest on obecnie produkowany w ilościach dziesiątek tysięcy ton. Tytan zawdzięcza swoje powodzenie doskonałej odporności na korozję przy tylko 60% wagi stali nierdzewnej. Również węglik tytanu TiC zyskuje na ważności nie tylko jako składnik stopów twardych stosowanych do narzędzi skrawających, ale i stopów ognioodpornych, koniecznych dla turbin gazowych i napędów odrzutowych. Dla dysz rakietowych i komór spalinowych, obok molibdenu, który nauczono się odlewać już w blokach do 500 kg wagi, znajduje zastosowanie tak mało znany związek jak borek cyrkonu ZrB_2 . Użyteczność molibdenu dla tych celów może być jeszcze bardziej podniesiona przez proces powierzchniowego krzemowania go, gdyż krzemek $MoSi_2$ należy do najbardziej na utlenianie się odpornych substancji.

Jakkolwiek wydawać się może, że otrzymanie tych metali wchodzi w zakres metalurgii, a nie chemii nieorganicznej, to jednak stwierdzić należy, że stosowane są tutaj z reguły zupełnie specyficzne metody, będące dziełem nieorganików. Oparte na nich metody produkcji nie mają precedensu w metodach hutniczych. Wszystkie one powstały w laboratoriach typowo nieorganicznych, w przeciwieństwie do metalurgii żelaza, miedzi czy ołowiu, której zasady znane są od zamierzchłych czasów.

Naświetlone tutaj niektóre postępy chemii nieorganicznej są związane z rozwojem techniki w szerokim tego słowa znaczeniu. Byłoby jednak niesłuszne, gdyby wywody moje ograniczyły się do powyższego. Konieczne jest omówienie także zagadnień podstawowych, które nurtują chemię nieorganiczną w okresie ostatnich dziesiątek lat i które wzbogaciły jej ogólne pojęcia. Jak już wspomniałem, w obecnej dobie problematyka chemii nieorganicznej jest ściśle związana z chemią fizyczną i jej metodami badawczymi, i te dwie dziedziny chemii przenikają się wzajemnie tak istotnie, że często niepodobieństwem jest znaleźć tu linię podziału.

Tematyka rozpatrywana może zatem mieć aspekt tak nieorganiczny, jak i fizyko-chemiczny, zależnie od postawienia problemu przez autorów, którzy jej nadają odpowiedni kierunek.

Mnogość tej problematyki sprawia, że trzeba się ograniczyć do pewnej tylko liczby zagadnień szczególnie aktualnych.

Na pierwszy plan wysuwają się tu zagadnienia strukturalne. Jakkolwiek rentgenograficzne metody oznaczania struktur rozpowszechniły się szeroko, to jednak liczba związków oczekujących rozwiązania swojej struktury jest bardzo znaczna i nieraz dla pospolitych połączeń nie można jeszcze podać określonego typu sieci i rozmieszczenia w niej atomów. Dla pewnego rodzaju połączeń badania rentgenograficzne stały się zupełnie decydujące, gdyż umożliwiły dopiero zrozumienie zasad ich budowy. Są to związki międzymetaliczne, które istnieją na zasadzie działania specjalnego typu wiązania chemicznego, tj. wiązania metalicznego, zasadniczo różniące się od wiązania jonowego czy atomowego. Klasyfikacja tych połączeń nie jest łatwa, gdyż obejmuje ona typy tak specjalne, jak np. KZn_{13} , $RbSi_8$, obok typów walencyjnych, jak np. Mg_2Sn , oraz licznych przedstawicieli tzw. faz elektronowych. Do tej kategorii związków międzymetalicznych zaliczyć również należy związki śródwęzłowe, jak np. wodor-

ki, węgliki, borki, azotki metali przejściowych, które kryją atomy składników niemetalicznych w wolnych przestrzeniach na ogół typowych sieci metalicznych.

W zakresie tych połączeń istnieje zasadniczy problem: co decyduje o składzie ilościowym i typie struktury związku międzymetalicznego? Jaki charakter ma wiązanie chemiczne działające w obrębie takiej fazy? Dlaczego skład chemiczny niektórych faz tego typu może się zmieniać w szerokich granicach, a w innych przypadkach powstają zupełnie ściśle w swym składzie określone związki? Są to zagadnienia znajdujące się dotąd jeszcze raczej w zaczątkach badań. Klasyfikacja faz międzymetalicznych wymaga nie tylko rozeznania struktury sieciowej, ale także dokładnego ustalenia własności elektrycznych i magnetycznych, odzwierciedlających stan elektronowy związku, jednak tego rodzaju badań jest jeszcze bardzo mało. Szczególnie dotyczy to tzw. metali przejściowych, które odznaczają się zawartością wewnętrznych, niepełno obsadzonych elektronami powłok typu *d* czy *f*.

Nowoczesna teoria elektronowa metali umożliwiła tu pewne założenia, po części tłumaczące znane wśród stopów miedzi, srebra i złota z metalami kolejnych grup prawidłowości „steżeń elektronowych“, a ponadto usiłujące czynnikiem elektronowym interpretować zakres granicy egzystencji tego rodzaju faz (H u m e - R o t h e r y, R a y n o l d s i inni).

Konieczne jest jednak w tym celu porzucenie obrazu korpuskularnego modelu atomu i przedstawienie elektronów według ich oblicza falowego w oparciu o zasady mechaniki kwantowej. Jeżeli zwiększać stężenie elektronowe, czyli proporcję elektronów walencyjnych do liczby atomów w stopie metalicznym, np. miedzi, przez wprowadzenie doń składnika bogatszego w liczbę elektronów, jak cynku, glinu, cyny czy antymonu, to w tzw. *k*-przestrzeni oddającej rozkład impulsów fal elektronowych, wywodzących się od elektronów walencyjnych, początkowo swobodne elektrony, których rozkład stanów energetycznych oddaje tzw. *kula Fermiego*, napotyka na przeszkodę energetyczną. Powstaje ona z odbicia tych fal o wewnętrzne płaszczyzny sieciowe kryształu metalu na zasadach prawa Bragga. Modelem geometrycznym tych przeszkód jest tzw. *polieder Brillouina*, którego ściany określają ograniczenia kierunków i długości rozprzestrzeniających się fal elektronowych, a jego objętość podaje krytyczne stężenie elektronowe, którego dalszy wzrost wymaga skokowego wzrostu ich energii, powoduje zatem nietrwałość danej fazy. W tych wszystkich przypadkach, kiedy inne czynniki, jak np. deformacje sieci metalu macierzystego, nie stanowią decydującego czynnika, to ostatnie stężenie elektronowe określa granicę egzystencji danej fazy metalicznej.

Obecnie usiłowania badaczy zmierzają do tego, ażeby teorii powyższe rozszerzyć na dalsze typy stopów. Nie tylko bowiem w przypadkach stopów miedzi, srebra czy złota z cynkiem, kadmem, rtęcią, galem, indem, cyną itp. dopatrzeć się można istnienia izostrukтурalnych faz elektronowych, ale również w stopach metali przejściowych stwierdzić można pojawienie się takich faz izostrukтурalnych, które domagają się uzasadnienia swego istnienia. Zadanie to jest jednak znacznie trudniejsze do rozwiązania od poprzedniego, gdyż stan elektronowy metalu przejściowego jest wskutek nakładania się jego pasm elektronowych mniej przejrzysty. I tak np., jeżeli wolny atom niklu posiada strukturę $3d^8 4s^2$ — to w stanie

metalicznym należałoby podać go w postaci $3d^{9'}4s^{0'6}$. Określenie struktury elektronowej metali nie interesuje jednak tylko specjalistów z zakresu stopów metalicznych. Ma ona także istotne znaczenie dla zdolności katalitycznych kontaktów metalicznych, dla których istnienie luk w powłoce elektronowej d (np. 0,6 el./at. w przypadku niklu) ma, jak się wydaje, zasadnicze znaczenie.

Należy się spodziewać, że w przyszłości z istniejącego chaosu materiału eksperymentalnego wyłonią się takie przesłanki, które pozwolą zdefiniować warunki pojawiania faz metalicznych o określonej strukturze w układach metalicznych, jak również określić charakter czynnika elektronowego istotnego dla aktywności katalizatorów kontaktowych.

Dla zanalizowania stanów elektronowych w metalu istnieje jeszcze jeden sposób, a mianowicie badania właściwości wodorków tych metali, otrzymanych przez stopniowe nasycanie metali wodorem. Wodór ulega przy tym metalizacji, tj. stając się protonem oddaje swój elektron metalowi macierzystemu. Oddany elektron spełnia rolę sondy zgłębiającej stan elektronowy metalu. W razie powstania dziur w pasmach elektronowych zastępujących w ciałach stałych dyskretne poziomy energetyczne elektronów w swobodnych atomach, jest skłonny zapełniać je, co natychmiast rozeznąć można po odpowiedniej zmianie własności magnetycznych metalu. W ten sposób więc badania wodorków metali przejściowych mają nie tylko na celu rozeznanie składowych faz występujących w tych układach, ale także naświetlają ich strukturę elektronową.

Zatrzymałem się tu chwilę nad osobliwościami związków międzymetalicznych, jako jednej z dziedzin nowoczesnej chemii nieorganicznej będącej w toku rozwoju, lecz ograniczony czas referatu nie pozwala na zapoznanie się szczegółowe z tym problemem. Dla utrzymania ciągłości pozostanę przy zagadnieniach strukturalnych, ale w innej dziedzinie, mianowicie w zakresie związków kompleksowych.

Pojęcie związku kompleksowego jest bardzo szerokie. Każdy kryształ nawet najprostszego związku czy pierwiastka chemicznego stanowi w istocie swej olbrzymi kompleks umiejscowionych w przestrzeni jednostek budowy. W ściślejszym tego słowa znaczeniu chodzi tu jednak o związki zawierające złożone zespoły atomów czy jonów.

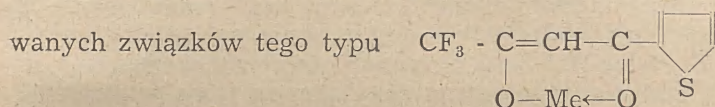
Stworzenie przez W e r n e r a ogólnej teorii związków kompleksowych rozwinęło zainteresowanie ich budową, a więc rozkładem przestrzennym atomów lub grup atomowych, którą to dziedzinę chemii określa się mianem *stereochemii*. Stosowane od dawna w chemii organicznej metody zostały rozszerzone na związki kompleksowe. W ten sposób stereochemia kompleksów wyprzedziła krystalochemię, której rozwój został umożliwiony dopiero przez wprowadzenie metod rentgenograficznych.

Rozpoznanie zjawiska kompleksotwórczości dzięki swej powszechności stało się owocne i dla innych dziedzin. Jest np. powszechnie wiadome wielkie znaczenie chemii kompleksów dla rozwoju metodyki analitycznej. Indywidualność pierwiastków znajduje o wiele jaskrawszy wyraz w kompleksach niż w związkach prostych.

Na skutek tworzenia kompleksów zmieniają się własności prostych jonów centralnych i powiązanych z nimi adendów, a więc charakter kwasowy czy zasadowy oraz własności oksydacyjno-redukcyjne danego zwią-

ku. Przez odpowiedni dobór składników kompleksu można własności te zmieniać w pożądanym kierunku. Można, jak wiadomo, obniżyć potencjał oksydacyjno-redukcyjny kobaltu (III) tak, że ten nietrwały stopień utlenienia utrwała się. W kompleksach żelaza (III) z o-fenantroliną tak korzystnie wzrasta potencjał oks-red, że mogą być one stosowane jako indykatory oksydacyjno-redukcyjne. Zmiany własności oksydacyjno-redukcyjnych wywołane są zmianą struktury elektronowej samego centralnego jonu metalicznego, wynikające w następstwie utworzenia kompleksu. Kompleksotwórczość ma istotne znaczenie dla rozdzielania metali w ich technologii produkcyjnej. Dotyczy to przede wszystkim platynowców, złota, niklu, kobaltu, pierwiastków „rzadkich” i produktów rozszczepienia uranu.

Pouczający jest następujący przykład. Kompleksy chelatowe, w których wielocząłkowy adend tworzy z metalem charakterystyczny pierścień, jak np. pochodne acetyloacetonu, tzw. TTA — tenoilotrójfloroacetonaty cyrkonu i hafnu wydają się stanowić przykłady skomplikowa-



a znalazły jednak szerokie zastosowanie. Mianowicie różnią się one dostatecznie swymi współczynnikami rozdziłu między dwie nie mieszające się ciecze, tak że umożliwiają one usunięcie hafnu z jego mieszaniny z cyrkonem drogą ekstrakcji i to w dogodny, a mianowicie ciągły sposób. Rozdział tych pierwiastków okazał się bardzo istotny, gdyż hafn, stały i nawiasem mówiąc tak skryty towarzysz cyrkonu, że do roku 1922 uchylał się w ogóle przed okiem chemików, odznacza się dużą, a w stosie atomowym szkodliwą zdolnością absorpcji neutronów, której nie posiada cyrkon. Cyrkon zaś jest doskonale odporny na korozję, nawet w wyższych temperaturach. Dlatego jest szczególnie cennym tworzywem i m. in. stosowany jest na pochwy dla prętów uranowych w reaktorach atomowych, w miejsce dotychczasowego aluminium, które topi się już w 658°, gdy natomiast cyrkon czyni to dopiero przy 1860°. Umożliwia to podwyższenie temperatury reaktora atomowego i cyrkulującego w nim gazu lub cieczy chłodzącej, np. stopu sodowopotasowego. Korzystać w wydajności energetycznej jest oczywista, a najczystszy cyrkon uwolniony w podany sposób od hafnu jest obecnie produkowany w tonowych ilościach przez rozkład termiczny jodku cyrkonu Zr J_4 w fazie gazowej.

Podobne metody stosowane są na szeroką skalę przy rozdzielaniu innych pierwiastków chemicznych. Dla technologii reaktora atomowego niezmiernie istotne znaczenie posiada proces recykliczacji uranu, który w następstwie procesu rozszczepienia zanieczyszcza się wielką liczbą pierwiastków od cynku do europu włącznie. Pierwiastki te obok powstającego a cennego plutonu muszą być co pewien czas usuwane, gdyż zmieniają niekorzystnie, m. in. wskutek absorpcji neutronów, bieg łańcuchowego rozpadu jądra uranowego. Prowadzi do tego celu skomplikowany proces chemiczny, dający w rezultacie czysty uran. Oparty jest on najczęściej na metodach ekstrakcji, w których odmienne właściwości i zachowanie związków kompleksowych azotanów uranylu, plutonu i produktów roz-

szczepienia wobec różnych rozpuszczalników organicznych ma decydujące znaczenie.

Ta istotna rola kompleksotwórczości doprowadziła w ostatnich latach do dużego rozwoju tej gałęzi chemii oraz do powstania teorii zmierzających do wyjaśnienia struktury i rodzaju sił wiązania chemicznego działającego w kompleksach oraz praw rządzących powstawaniem kompleksów w roztworach.

Dla wyjaśnienia stereochemii kompleksów zastosowano mechanikę kwantową. Wykorzystując znaną kierunkowość orbital s , p i d oraz ich kombinacji, można przewidzieć geometryczny rozkład adendów w zespole kompleksowym. Dla pierwiastków przejściowych wielce pomocny jest tu pomiar momentu magnetycznego wykazującego liczbę nieparzystych elektronów, pozwalający niekiedy na rozpoznanie charakteru wiązania w kompleksach metalicznych. Do niedawna do tego celu służyły wyłącznie klasyczne metody chemiczne. Kompleksy, w których działają wiązania jonowe czy też jonowo-dipolowe, są mniej trwałe, łatwiej ulegają dysocjacji wtórnej — przykładem może tu być jon aminokobaltawy $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, podczas gdy w trwałym kompleksie aminokobaltowym $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ działają wiązania kowalencyjne. Kompleksy pierwszego rodzaju wykazują nie zmieniony moment magnetyczny jonu centralnego, natomiast zmieniona konstytucja elektronowa drugiego kompleksu kobaltowego na skutek zajęcia zhybrydizowanych orbital s , p i d atomu centralnego przez pary elektronowe adenda wywołuje zasadniczą zmianę jego momentu magnetycznego.

Stereochemia kompleksu wynika logicznie z charakteru działającego w nim wiązania i z liczby koordynacji jego jonu centralnego. Decydują o niej orbitale wyzyskane w wiązaniu. Od ich rodzaju zależy bowiem, czy zespół adendów rozmieści się na narożach np. tetraedru, piramidy tetraedralnej, oktaedru czy dodekaedru, których środek zajmuje jon centralny.

Zastosowanie radioizotopów dla określenia charakteru wiązania w jonie kompleksowym wykazało, że wymianie ulegają łatwiej adendy związane jonowo niż kowalencyjnie, choć ta metoda nie zawsze daje jednoznaczne rezultaty, ponieważ o szybkości wymiany decyduje też struktura kompleksu i ewentualne przeszkody steryczne.

Od typu wiązania chemicznego i stereochemii kompleksów zależą ich własności w roztworach. Na odwrót własności kompleksów w roztworze pozwalają na wnioski o charakterze wiązania i ich stereochemii. W ostatnich latach ustalono również metodami fizykochemicznymi szereg praw, jakie rządzą powstawaniem kompleksów w roztworach. Zbadano wpływ jonu centralnego, adendów oraz czynników sterycznych na trwałość kompleksu, którego stała trwałość stanowi zarazem jego podstawową, termodynamiczną wielkość charakterystyczną. Rozwinięcie tych badań jest głównie zasługą radzieckiej szkoły „kompleksistów“.

Adendy chelatujące (por. str. 37) wzmagają z utworzeniem pierścienia znacznie trwałość kompleksu. Adendami takimi są związki organiczne m. in. pochodne kwasu octowego oraz liczne złożone kwasy aminokarboksyłowe. Zamiana grupy octanowej na propionową zmniejsza tu znacznie trwałość kompleksu. Dla trwałości kompleksów chelatowych decydujące są czynniki przestrzenne. Można to wykazać przez zastosowanie wymiany

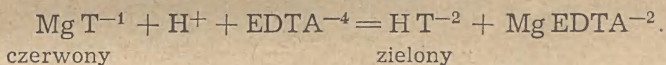
izotopowej. Wymiana cynku trwałego na jego radioizotop ^{65}Zn zachodzi gwałtownie, gdy pierścień chelatowy jest zbyt duży; w przypadku natomiast trwałych pierścieni cynku, np. u ftalocyjaniny, wymiana nie zachodzi w ogóle lub tylko w znikomym stopniu.

Szczególnie wielostronne znaczenie uzyskał kwas etylenodwuamino-czterooctowy „EDTA“:



Jony metaliczne koordynując z kompleksami zwalniają pewną ilość jonów wodorowych i mogą być dzięki temu oznaczone przez proste miareczkowanie.

Nowsza jest metoda stosująca indykator w postaci barwnika, np. czerwieni eriochromowej T, tworzącego z jonem metalicznym zabarwiony kompleks chelatowy, niezbyt jednak trwałą. W roztworze odpowiednio zbuforowanym do $\text{pH} = 10$ następuje z kolei miareczkowanie roztworem wersenu (soli czterosodowej EDTA), który silniej kompleksuje metal od powyższego barwnika, co powoduje charakterystyczną zmianę barwy roztworu, wykorzystywaną dla określenia punktu równoważnikowego. Tą drogą można oznaczyć wygodnie magnez i wapń, a więc czynniki wywołujące twardość wody. Reakcja przebiega według równania następującego, w którym T oznacza resztę indykatora:



czzerwony

zielony

Dotychczas omówione zagadnienia z chemii nieorganicznej mają charakter statyczny, zajmują się strukturą związków, a nie reakcjami. Zagadnienia dynamiki, a więc mechanizmu i kinetyki reakcji chemicznych, są niemniej ważne jak te pierwsze i posiadają zasadnicze znaczenie dla poznania zarówno trwałości jak i reaktywności cząsteczek, co jest istotne także dla wielu gałęzi chemii stosowanej. Podkreślić należy, że studia kinetyczne rozwijały się do niedawna głównie w dziedzinie chemii organicznej. Okazały się one tam bardzo owocne i pomocne dla opanowania takich procesów, jak krakowanie i synteza węglowodorów, procesów spalania, chemii polimerów i mas plastycznych a także substancji wybuchowych. O wiele bardziej skomplikowany jest jednak mechanizm i kinetyka reakcji nieorganicznych, które badane były przeważnie na najprostszych układach gazowych. Chemik-organik studiujący kinetykę dysponuje reagentami o dokładnie znanym składzie i koncentracji, zna kąty między poszczególnymi wiązaniami, odstępów międzyatomowe i inne własności fizyczne. W czasie reakcji następuje pękanie czy powstawanie wiązań, lecz zawsze tego samego typu, mianowicie wiązań kowalentnego. Chemik-nieorganik często nie dysponuje wszystkimi danymi charakteryzującymi substancję biorące udział w reakcji.

Wpływ rozpuszczalnika, jeżeli chodzi o roztwory, zmienia istotnie charakter związków rozpuszczalnych, powodując ich jonizację i solwatację. W pewnych przypadkach, posługując się izotopem tlenu ^{18}O wykazano, że zhydratyzowany jon chromowy wymienia wolno cząsteczki wody ze sfery koordynacyjnej na cząsteczki z otoczenia. W innych przypadkach wymiana idzie tak szybko, że nie można zastosować pomiarów (np. Co^{3+} , Co^{2+}).

Mn^{2+}). Istnieje zatem zasadnicza trudność ścisłego zdefiniowania jednostek reagujących. Dalsze trudności wynikają z kwasowej dysocjacji hydratów, na skutek której powstają hydroksykompleksy mające skłonność do assocjacji, do tworzenia jonów wielordzeniowych. Te względy powodowały, że tylko niewielu badaczy decydowało się na poświęcenie tej niezwykle ciekawej i ważnej dziedziny. W badaniach przeprowadzonych przez fizykochemików chodziło raczej o ustalenie teorii samych procesów kinetycznych niż o wyjaśnienie zagadnień nieorganicznych.

Do wzrostu badań w dziedzinie kinetyki reakcji nieorganicznych przyczyniła się dostępność trwałych i radioaktywnych izotopów. Został w dużym stopniu rozeznany mechanizm wymiany atomów promieniotwórczych. Szczegółowe badania kinetyki reakcji wykazały, że większość najprostszych reakcji także w roztworach przebiega w kilku stadiach. Badania najprostszych układów w fazie gazowej i reakcji organicznych wykazały, że aktywnymi pośrednikami reakcji są atomy i rodniki. W układach nieorganicznych rodnikowy charakter został stwierdzony do tej pory eksperymentalnie tylko w reakcjach z udziałem nadtlenu wodoru, gdzie wykazano doświadczalnie i energetycznie obliczono powstawanie rodników OH.

Sporo uwagi w dziedzinie chemii nieorganicznej poświęcono reakcjom przebiegającym pomiędzy substratami wchodzącymi do reakcji w postaci faz stałych. Ustalił się pewien pogląd oparty na pracach H e d v a l l a, T a m m a n a i innych, że jedynie dyfuzja substratów przez warstwę stałego produktu reakcji, tworzącego się na granicy styku między substratami, jest miarodajna dla przebiegu reakcji. Na tej zasadzie ustalone zostało proste równanie kinetyczne (W. J a n d e r), sprawdzone na niektórych przykładach, jak np. $BaCO_3 + SiO_2$ czy $CaCO_3 + MoO_3$. Wydawało się, że ten sposób tłumaczenia mechanizmu jest powszechnie obowiązujący. Poważne jednak zastrzeżenia i wnikliwą analizę zjawisk tego rodzaju przeprowadził w ostatnich latach radziecki chemik A. M. G i n s t l i n g. Wysunięte przez niego obiektywnie stwierdziły, że reakcje między tego rodzaju substratami stałymi niekoniecznie muszą przebiegać tą drogą, tj. przez dyfuzję, tym bardziej że równaniem kinetycznym J a n d e r a nie można objąć przebiegu wszystkich reakcji zaliczanych do tego typu. Raczej jest to jeden z przypadków szczegółowych, który nie jest jednak powszechnie obowiązujący, gdyż w temperaturach reakcji niejednokrotnie może współdziałać faza ciekła lub gazowa, powstająca dopiero w warunkach reagowania. G i n s t l i n g wykazał m. in., że możliwe są niekiedy reakcje między stałymi substratami nawet przy braku jakiegokolwiek styku między nimi, co zupełnie wyklucza proces dyfuzji w stanie stałym, a ujawnia rolę i udział fazy gazowej w jej przebiegu. Podobnie w niektórych przypadkach wytworzenie fazy ciekłej, np. niskotopliwego eutektiku, będzie miarodajne. Rozstrzygnięcie zagadnienia od przypadku do przypadku leży w badaniach kinetycznych, gdyż funkcja przebiegu reakcji w czasie jest w każdym wypadku odmienna.

W obecnej chwili liczba przykładów mogących eksperymentalnie potwierdzić pozytywnie te wywody jest jeszcze skromna. Ich wyniki zdecydują dopiero o słuszności poglądów tego autora.

W przedstawionych tu wycinkach problematyki nowoczesnej chemii nieorganicznej można było tylko w sposób zupełnie pobieżny przedstawić na ograniczonej liczbie przykładów jej podłoże rozwoju i osiągnięcia w ostatnich dziesięcioleciach. Mają one przyczynić się do tego, aby przekonać interesujących się tą dziedziną chemii, że zgodnie z ustaloną na całym świecie opinią chemia nieorganiczna przeżywa obecnie swój okres odrodzenia. Bezpowrotnie zamknął się już ten rozdział, w którym zdawało się, że rola chemii nieorganicznej streszcza się do opisowego traktowania różnych form materii nieożywionej i sposobów ich reagowania chemicznego. Pojęta w ten sposób chemia nieorganiczna stawia jednak bardzo duże wymagania swym adeptom tak w zakresie przygotowania teoretycznego, jak i opanowania wielu nowych metod badawczych. Również wyposażenie aparaturowe i materiałowe dyktuje rozwój tej typowo eksperymentalnej dziedziny wiedzy. Niech mi będzie wolno wyrazić nie tylko nadzieję, ale i przekonanie, że również w Zakładach naszych uczelni wyższych i w Instytutach Badawczych chemia nieorganiczna kroczyć będzie po tej naszkicowanej tu linii rozwoju, albowiem prowadzi ona nie tylko do rozwoju nauki, ale również ściśle z nią związany jest i uzależniony postęp techniki w naszym kraju.

Włodzimierz Mościcki

IZOTOPOWE SKALE CZASU

I. WSTĘP

Zagadnienie chronologii zjawisk zachodzących na Ziemi było do niedawna jednym z najtrudniejszych problemów nauki. Wprawdzie już w połowie XIX w. w związku ze sformułowaniem II zasady termodynamiki udało się znaleźć prawa pozwalające w zasadzie ustalać kolejność zjawisk w czasie. Prawa te jednak miały taki charakter, że poza bardzo ogólnymi wskazówkami, dotyczącymi kierunku przeobrażeń zachodzących w przyrodzie, nie dawały żadnych praktycznych korzyści dla zagadnienia chronologii.

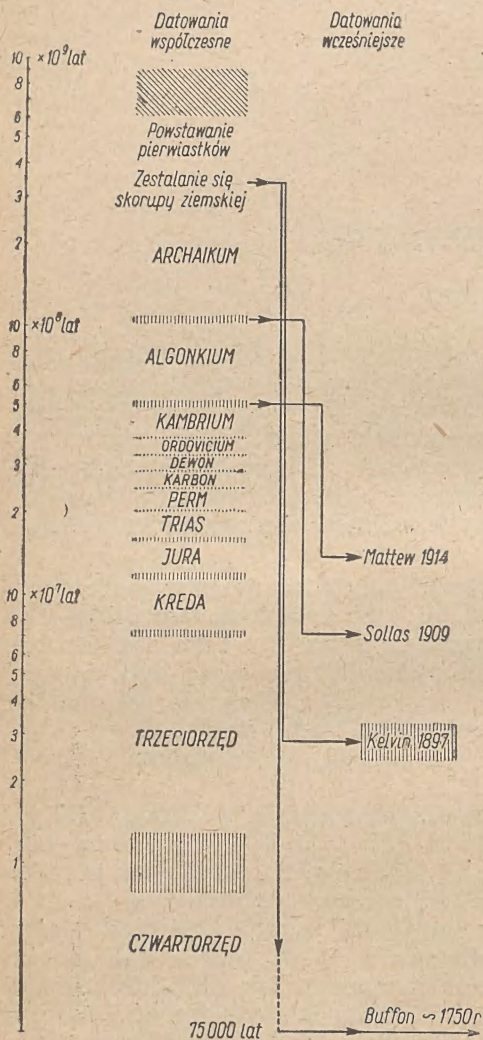
Pierwsze próby ustalenia wieku Ziemi, oparte na przesłankach mitologicznych, określały jej wiek na 5700 lat. Pierwsza naukowa próba obliczenia wieku Ziemi została przeprowadzona przez Buffona jeszcze przed sformułowaniem II zasady termodynamiki, ale może być uzasadniona prawem ogólnym, zawartym w tej zasadzie. Opierała się ona na pomiarach szybkości stygnięcia rozgrzanej kuli. Na tej drodze Buffon obliczył, że od momentu oddzielenia się Ziemi od Słońca upłynęło 75 000 lat.

Późniejsze dokładniejsze obliczenia, przeprowadzone w końcu XIX w. przez Lorda Kelvina, podwyższyły tę liczbę do 20—40 milionów lat. W tym samym mniej więcej czasie C. D. Walcott ocenił wiek początków Kambrium na 28 milionów lat. W obliczeniach swoich Walcott opierał się na szybkości sedymentacji i grubości warstw skał osadowych.

Jeszcze w początkach XX w. informacje, jakie mogła dać nauka o wieku Ziemi, były zupełnie nie zadowalające i, jak dziś już wiemy, fałszywe. W r. 1900 J. Joly ocenił całkowitą zawartość sodu i potasu w morzach i porównując otrzymaną stąd liczbę z ilościami tych pierwiastków w rzekach, doszedł do wniosku, że wiek oceanów leży w granicach 90—100 milionów lat. Opierając się na tych wynikach i uwzględniając proces sedymentacji i odkładania się złóż soli, W. J. Sollas ocenił w r. 1909 początek Algonkium na 80 milionów lat. W. D. Mather w na podstawie bardzo dowolnych i nieściśłych rozważań, dotyczących szybkości rozwoju gatunków, doszedł do wniosku, że początki Kambrium odległe są o ponad 150 milionów lat od epoki współczesnej.

Dla zorientowania się, jak bardzo dalekie od rzeczywistości były wszelkie oceny wieku poprzedzające współczesne metody oparte na prawach rozpadu ciał promieniotwórczych i analizie składu izotopowego pierwiastków, zamieszczamy rys. 1. Obok wieku różnych epok geologicz-

nych i czasu ich trwania, określonego za pomocą metod współczesnych, naniesione są oceny oparte na innych, wspomnianych wyżej przesłankach.



Rys. 1. Wiek epok geologicznych określony współczesnymi metodami, opartymi na analizach izotopowych ołowiu i promieniotwórczych pierwiastków macierzystych U i Th. Czas podany jest w skali logarytmicznej. Po prawej stronie rysunku oceny wieku przed zastosowaniem metody „uranowo-ołowiowej”

mieniotwórcze. Pierwiastkami macierzystymi tych rodzin, tj. tymi, od których rozpoczyna się rozpad, są dwa izotopy uranu ^{238}U , ^{235}U oraz ^{232}Th . Rodzina, której atomem macierzystym jest ^{238}U , nosi nazwę uranowo-ra-

II. METODA URANOWO-OŁOWIOWA CHRONOLOGII BEZWZGŁĘDNEJ

Jak wiadomo, prawo rozpadu promieniotwórczego pierwiastka mówi, że liczba atomów (ΔN) rozpadających się w ciągu czasu Δt jest proporcjonalna do całkowitej liczby atomów (N), które jeszcze rozpadowi nie uległy:

$$\Delta N = -\lambda N \Delta T. \quad (1)$$

Znak minus oznacza ubytek atomów. Współczynnik proporcjonalności λ , noszący nazwę „stałej rozpadu”, związany jest z tzw. okresem połowicznego rozpadu $T_{1/2}$, określającym odstęp czasu, w ciągu którego rozpadowi ulegnie połowa atomów zawartych w próbce, wzorem:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2)$$

Wzór (1) pozwala znaleźć prawo ubywania liczby atomów pierwiastka promieniotwórczego. Jeżeli w chwili początkowej w poddanej badaniu próbce było $N(0)$ atomów, to po upływie czasu t pozostanie:

$$N(t) = N(0) e^{-\lambda t} \quad (3)$$

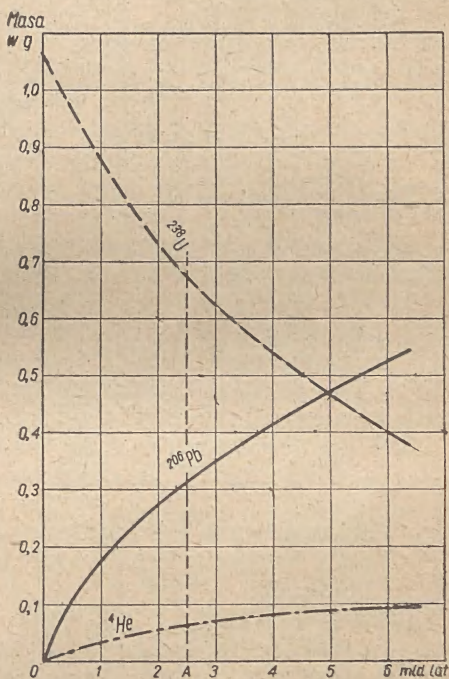
a więc rozpadowi ulegnie:

$$n(t) = N(0) - N(t) = N(0) (1 - e^{-\lambda t}). \quad (4)$$

Badania nad własnościami naturalnych ciał promieniotwórczych pozwoliły wyodrębnić trzy niezależne od siebie rodziny pro-

dowej, rodzina ^{235}U — aktyno-uranowej i rodzina ^{232}Th — torowej. Jak wiadomo, z procesem naturalnego rozpadu pierwiastków promieniotwórczych wiąże się emisja promieniowania α , β i γ . Dwa ostatnie rodzaje promieniowania wpływają tylko bardzo nieznacznie na zmianę masy atomów emitujących, którą ze względów praktycznych można uważać za nie zmienioną przed i po emisji. Emisja natomiast cząstki α , która jest, jak wiadomo, dwukrotnie zjonizowanym atomem helu, zmienia masę, a więc i ciężar atomowy pierwiastka, o 4 jednostki. Atomy powstające po rozpadzie atomów macierzystych U lub Th ulegają dalszym sukcesywnym rozpadom, kończąc łańcuch rozpadowy na trwałym, już niepromieniotwórczym ołowiu. Końcowym produktem rozpadu rodziny uranowo-radowej jest izotop ołowiu ^{206}Pb , rodziny aktyno-uranowej — ^{207}Pb , rodziny torowej — ^{208}Pb .

Z porównania ciężarów atomowych (ściślej liczb masowych, które są zaokrąglonymi wartościami ciężarów atomowych) atomów macierzystych i końcowych produktów rozpadu widać, że przejściu ^{238}U do ^{206}Pb towarzyszyła emisja 8 cząstek α ($238 - 206 = 32$, $32 : 4 = 8$), przejściu ^{235}U do ^{207}Pb emisja 7 cząstek α , a przejściu ^{232}Th do ^{208}Pb emisja 6 cząstek α . Już w początkach badań pierwiastków promieniotwórczych stwierdzono, że okresy połowicznego rozpadu atomów macierzystych są znacznie dłuższe od okresów połowicznego rozpadu któregośkolwiek z atomów powstających w szeregu sukcesywnych rozpadów. I tak: okres połowicznego rozpadu ^{238}U wynosi $T_{1/2} (^{238}\text{U}) = 4,5$ miliarda lat, wobec 270 000 lat, najbardziej po ^{238}U długowiecznego atomu w szeregu uranowo-radowym innego izotopu uranu — ^{234}U . Okres połowicznego rozpadu ^{235}U wynosi 0,707 miliarda lat wobec następnego według długowieczności ^{231}Pa z $T_{1/2} (\text{Pa}) = 32\,000$ lat. Okres połowicznego rozpadu ^{232}Th — $T_{1/2} (\text{Th}) = 13,89$ miliarda lat wobec zaledwie 6,7 lat drugiego z kolei według długowieczności ^{228}Ra . Okoliczność ta ma dla chronologii metodą uranowo-ołowiową lub torowo-ołowiową podstawowe znaczenie. Chodzi o to, że jeżeli rozpatrujemy okresy czasu porównywalne z okresami połowicznego rozpadu



Rys. 2. Krzywe zaniku masy uranu i wzrostu mas ołowiu i helu, zachodzące wskutek przemian promieniotwórczych. Na osi odciętych odłożono czas w miliardach lat. Rzędna, poprowadzona w punkcie A, ilustruje metodę postępowania: Jeżeli ruda uranonośna wykazuje zawartość ołowiu, którego masa znajduje się w stosunku do masy uranu jak $29:67 = 1:2,35$ to można przypuszczać, że ruda powstała przed 2,6 miliardami lat.

pierwiastków macierzystych uranu i toru, a więc okresy rzędu setek milionów lat, to można całkowicie pominąć detale cyklu rozpadów prowadzących od np. uranu do ołowiu i uważać, że np. atom ^{238}U zamienia się od razu na atom ^{206}Pb i 8 atomów He.

Stąd wypływa wniosek, że jeżeli wyobrazimy sobie, iż w jakimś kawałku minerału uranonośnego, który powstał przed 4,5 miliardami lat, był związany chemicznie 1 g U, to w chwili obecnej (tj. po upływie okresu połowicznego rozpadu) pozostanie już tylko 0,5 g uranu, a pozostałe 0,5 g zamieni się na 432,6 mg ołowiu i 67,4 mg helu. Podobna sytuacja występuje z odpowiednio zmienionymi wartościami i dla toru. Znając okresy połowicznego zaniku U i Th oraz określone równaniami (3) i (4) prawa zmiany liczby atomów U (ewent. Th) i liczby atomów U (Th), które uległy rozpadowi i wyprodukowały równą liczbę atomów Pb oraz 2-krotną liczbę atomów He (w wypadku U — lub 6-krotną w wyp. Th), można odtworzyć zmiany składu chemicznego minerału, jakie musiałyby w nim zachodzić na skutek procesów promieniotwórczych. Rysunek 2 przedstawia przewidywany teoretycznie przebieg wspomnianych zmian w składzie chemicznym minerału uranonośnego w miarę upływu czasu od momentu jego powstania.

Badając więc zawartość ołowiu w rudach urano- i toronośnych można pokusić się o określenie wieku tych rud.

Metoda ta, zastosowana po raz pierwszy w r. 1905 przez J. R. S t r u t t a (Lorda R a y l e i g h a), pozwoliła rzucić pewne światło na wiek odległych epok geologicznych i Ziemi. Obliczenia uzyskane za pomocą tej metody nie mogły jednak, bez dalszego jej udoskonalenia, dać poprawnych wyników. Przyczyny tego są następujące:

- a) Określenie stosunku mas ołowiu i uranu bez uwzględnienia wspomnianego wyżej faktu występowania uranu w 2 odmianach izotopowych, różniących się bardzo znacznie okresem połowicznego rozpadu oraz różnic w ciężarach atomowych końcowych produktów rozpadu obu szeregów promieniotwórczych musi prowadzić do wyników błędnych.
- b) Metoda mogłaby dać tylko wtedy zadowalające wyniki, gdyby istniała gwarancja, że w ciągu długich okresów czasu oddzielających moment powstania minerału od chwili jego badania nie zachodziły żadne procesy powodujące wylugowywanie z minerału pewnych ilości U (Th) lub Pb.
- c) Metoda miałaby sens tylko wtedy, gdyby minerał uranonośny (lub toronośny) nie zawierał w chwili swego powstania śladów ołowiu innego pochodzenia.

W związku ze sformułowanymi wyżej trudnościami należy przede wszystkim zastanowić się nad wpływem, jaki wywiera obecność w uranie izotopu ^{235}U o krótkim stosunkowo okresie połowicznego rozpadu. Współczesne metody analizy izotopowej pozwalają z bardzo dużą dokładnością określać skład izotopowy pierwiastków. W ten właśnie sposób ustalono, że w skład izotopowy uranu wchodzi 99,284% ^{238}U , 0,710% ^{235}U oraz 0,006% ^{234}U .

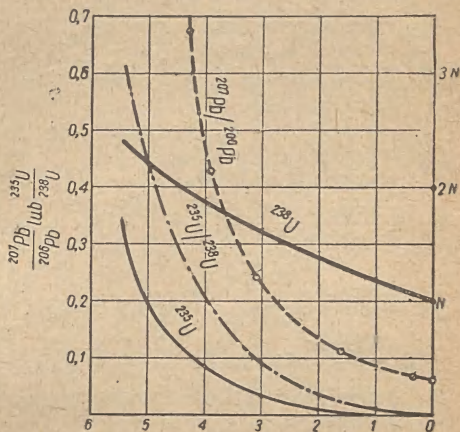
^{234}U jest wspomnianym już wcześniej członkiem rodziny uranoworadowej i jako taki powinien być doliczony do całkowitej liczby atomów ^{238}U , które jeszcze nie uległy rozpadowi. Ilość jego jest tak znikomo ma-

ła, że minimalna poprawka związana ze zmienionym ciężarem atomowym może być zupełnie pominięta. Inaczej przedstawia się sprawa z ^{235}U . W chwili obecnej przedstawia i ten izotop tylko nieznaczną domieszkę do ^{238}U i udział jego w produkcji ołowiu jest mały. Jeżeli się jednak weźmie pod uwagę to, że rozpadał się on ponad 6 razy szybciej niż ^{238}U , ilości jego w przeszłości musiały być znacznie większe. Z tego względu, jeśli dla bardzo odległych epok bierze się po prostu stosunek mas Pb/U i na tym opiera datowanie, przyjmując $T_{1/2}(\text{U}) = 4,5$ miliarda lat, to niewątpliwie popełnia się poważny błąd, nie uwzględniając w ogólnej masie ołowiu przyczynku pochodzącego od rozpadu stosunkowo bardzo dużej liczby atomów ^{235}U . Rys. 3 pokazuje zmiany składu izotopowego U, jakie zachodziły w ciągu długich okresów, oraz zmiany ogólnej liczby atomów obu izotopów tego pierwiastka.

Dotychczasowe wyniki datowań wskazują, że niebezpieczeństwo uzyskania fałszywych wyników, związanych z możliwością straty przez minerał pewnych ilości Pb lub pierwiastka macierzystego, jest bardzo realne. W szczególności może np. zachodzić strata jednego z produktów pośrednich łańcucha rozpadowego. Strata taka jest oczywiście równoznaczna ze stratą ołowiu. Z nie wyjaśnionych dotychczas powodów szczególnie wrażliwy na straty tego rodzaju jest szereg torowy. Metoda cparta na analizie masy toru i powstającego zeń izotopu ^{208}Pb jest jeszcze i z tego względu mniej dokładna od metody urano-owo-ołowiowej, że okres połowicznego rozpadu Th jest 3 razy dłuższy niż U.

Tabela I podaje analizę składów izotopowych kilku charakterystycznych próbek ołowiu. Pierwsze trzy pozycje odnoszą się do ołowiu wydobytego z rud urano- i toronośnych, pozycje 5, 6 i 7 dają skład izotopowy ołowiu pochodzącego z minerałów nie wykazujących śladów zanieczyszczeń pierwiastkami radioaktywnymi.

Już pobieżny rzut oka na składy izotopowe ołowiu wskazuje na to, że tylko pozycja 1 reprezentuje przykład minerału nie zanieczyszczonego, na którym z powodzeniem można przeprowadzić analizę chronologii próbek bez konieczności uwzględniania poprawki na zanieczyszczenie ołowiem innego pochodzenia. Pozostaje tu w dalszym ciągu otwarte zagadnienie tego, czy próbka nie traciła w ciągu minionych wieków oło-



Rys. 3. Krzywe ciągłe przedstawiają zmiany, jakie zachodziły w ogólnej liczbie atomów ^{235}U i ^{238}U zawartych w skorupie ziemskiej. Liczbę obecnie istniejących atomów ^{238}U określa się literą N. Krzywa przerywana ilustruje zmiany składu izotopowego uranu. Stosunek liczby atomów ^{235}U do liczby atomów ^{238}U odłożono na osi rzędnych po lewej stronie. Krzywa kropkowana podaje przewidywaną teoretycznie zawartość izotopu ołowiu ^{207}Pb w minerałach uranonośnym, uformowanym we wczesnych okresach geologicznych, w zależności od czasu jego powstania. Na osi odciętych podano czas w miliardach lat.

Tabela I

L. p.	Nazwa i pochodzenie minerału	Skład procentowy				Skład izotopowy względny				wiek w latach
		²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb	²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Smółka uranowa Kongo Belgijskie	—	94.28	5.69	0.03					613
2.	Toryt Norwegia	0.06	5.18	1.14	93.62	1.0	86.3	19.0	15.60	250
3.	Smółka uranowa Joachimów (CSR)	0.58	66.17	11.75	21.50	1.0	113.1	20.08	36.76	140
4.	Minerał uranonośny sprzed 650 milionów lat.	—	94.30	5.70	—					650
5.	Galenit (Arizona)	1.35	25.32	01.34	52.00	1	18.81	15.85	38.63	25
6.	Galenit (Quebec)	1.47	23.92	22.28	52.33	1	16.27	15.16	35.6	1030
7.	Galenit (Ontario)	1.57	22.01	23.38	53.04	1	14.05	14.92	33.85	2480
8.	Ołów „pierwotny“	1.76	19.90	23.79	54.55	1	11.33	13.55	31.1	3500
9.	Teoretyczny skład ołowiu współcz.	1.36	25.12	21.25	52.27	1	18.45	15.61	38.40	0

wiu albo uranu. Do sprawy eliminacji wynikającego stąd ewentualnego błędu powrócimy niżej. Dla porównania pod pozycją 4 zamieszczono przewidywany skład izotopowy ołowiu powstałego z rozpadu uranu w mineralu uformowanym w okresie sprzed 650 milionów lat (por. rys. 3).

Próbka nr 2 wykazuje poza wielką obfitością izotopu ²⁰⁸Pb, będącego końcowym produktem rozpadu Th, mniejsze ilości ²⁰⁶Pb oraz ²⁰⁷Pb i bardzo nieznaczna ilość izotopu ołowiu ²⁰⁴Pb. Ponieważ żaden ze znanych szeregów promieniotwórczości naturalnej nie kończy się na ²⁰⁴Pb, którego jednak niewielka ilość występuje w przyrodzie (por. poz. 5, 6 i 7), obecność jego w ołowiu torytu wskazuje na to, że minerał musiał być zanieczyszczony ołowiem innego pochodzenia. Dane porównawcze (rubryki 7, 8, 9, 10 Tab. I), dotyczące ilości atomów izotopów ²⁰⁶Pb i ²⁰⁷Pb przypadających na 1 atom ²⁰⁴Pb, wskazują na to, że obecność tych izotopów nie może być wyjaśniona wyłącznie domieszką ołowiu pochodzącego z rud niepromieniotwórczych, ale że pochodzą one z rozpadu niewielkiej domieszki uranu do rudy torowej. W konkretnym przypadku domieszka ta była znana i wynosiła ok. 1,5% masy toru. Ponieważ domieszka ołowiu innego, niepromieniotwórczego pochodzenia jest w rozważanym przykładzie niewielka, poprawka wniesiona na masy izotopów Pb wyprodukowanych na skutek rozpadu U i Th nie odgrywa tu poważniejszej roli i pozwala na wyznaczenie wieku minerału, ze stosunku mas ²⁰⁶Pb/²³⁸U oraz niezależnie ze stosunku mas ²⁰⁸Pb/Th na 243 bądź 255 milionów lat, a więc w bardzo dobrej ze sobą zgodzie.

Trudniejsze zagadnienie przedstawia przykład smółki uranowej z Joachimowa (CSR) (por. poz. 3, Tab. I). Skład procentowy izotopów Pb wydzielonych z tej rudy wydaje się sugerować, że jest to mieszanina

ołowiu pochodzącego zarówno z rozpadu U i Th, jak i zanieczyszczenia ołowiem niepromieniotwórczego pochodzenia.

Przeliczenie składu procentowego na liczby atomów cięższych izotopów ołowiu, przypadających na 1 atom ^{204}Pb , wskazuje jednak, że liczba 36,76 atomów ^{208}Pb , przypadających w tej rundzie na 1 atom ^{204}Pb , jest zbliżona do tych wartości, które spotykamy w ołowiu niepromieniotwórczego pochodzenia. Ponieważ analiza chemiczna minerału również nie wykazuje dostrzegalnych ilości Th, należy przyjąć, że na całkowitą masę ołowiu składa się:

- a) ołów wyprodukowany w procesie promieniotwórczym szeregów uranowo-radowego i aktyno-uranowego;
- b) ołów „naturalny” pochodzenia niepromieniotwórczego, którego masę należy odliczyć przed przystąpieniem do wyznaczenia wieku próbek.

W związku z tym zjawia się zasadnicza trudność, jaką mieszanke izotopów ołowiu uważać za „naturalną”.

Podane w tabl. I poz. 5, 6, 7 — przykłady rud ołowiowych pochodzenia niepromieniotwórczego wskazują, że składy izotopowe ołowiu mogą zmieniać się w dość szerokich granicach. Wprawdzie liczby wskazują, że istnieje pewna tendencja tych zmian, ale jakie jest prawo tych zmian i od czego zależy, należy dopiero zbadać.

Postaramy się w związku z tym prześledzić dzieje ołowiu spotykanego na Ziemi. Należy przypuszczać, że w okresie powstawania pierwiastków, który miał miejsce — powiedzmy — x lat temu, obok późniejszych źródeł izotopów ołowiu, którymi, jak wiemy, są ^{235}U , ^{238}U i ^{232}Th , powstały w przyrodzie pewne ilości izotopów ołowiu nie związane z pierwiastkami promieniotwórczymi. Ponieważ liczby ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb ulegały następnie nieustannemu wzrostowi, natomiast nie istnieją naturalne źródła produkcji ^{204}Pb i należy sądzić, że liczba atomów tego izotopu była niezmienna, wygodnie jest przy śledzeniu zmian zachodzących w składzie izotopowym ołowiu operować stosunkami — zmiennych w czasie — liczb atomów ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb do stałej liczby atomów ^{204}Pb . Przypuśćmy, że w chwili obecnej stosunki te określone są liczbami n_1 , n_2 , n_3 , a stosunki liczb atomów macierzystych rodzin promieniotwórczych ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th do liczby atomów ^{204}Pb odpowiednio liczbami N_1 , N_2 , N_3 .

Jak już podkreślaliśmy, liczby te ulegają nieustannym zmianom, związanym z procesem rozpadu U i Th i wiążącym się z tym wzrostem liczby atomów ciężkich izotopów Pb. Z tego względu, jeżeli przed t latami powstał jakiś minerał zawierający ołów, to skład izotopowy tego ołowiu musiał być inny niż skład izotopowy obecnego ołowiu.

Niech jak poprzednio liczby $n_1(t)$, $n_2(t)$, $n_3(t)$ oznaczają względne liczby atomów odpowiednich izotopów Pb w chwili tworzenia się minerału, tj. przed t latami, a $N_1(t)$, $N_2(t)$, $N_3(t)$ ówczesne względne liczby izotopów U i Th.

Wzrost liczby atomów izotopów ołowiu, który zaszedł w ciągu ostatnich t lat:

$$\Delta n_1 = n_1 - n_1(t), \quad \Delta n_2 = n_2 - n_2(t), \quad \Delta n_3 = n_3 - n_3(t), \quad (5)$$

równa się ubytkowi liczby odpowiednich atomów macierzystych

$$\Delta N_1 = N_1(t) - N_1, \quad \Delta N_2 = N_2(t) - N_2, \quad \Delta N_3 = N_3(t) - N_3. \quad (6)$$

Ponieważ ubytkiem liczby atomów ciała promieniotwórczego rządzi prawo opisane wzorem (3), więc:

$$N_1 = N_1(t)e^{-\lambda_1 t}, \quad N_2 = N_2(t)e^{-\lambda_2 t}, \quad N_3 = N_3(t)e^{-\lambda_3 t}, \quad (7)$$

a więc przed t latami liczby atomów pierwiastków promieniotwórczych były:

$$N_1(t) = N_1 e^{\lambda_1 t}, \quad N_2(t) = N_2 e^{\lambda_2 t}, \quad N_3(t) = N_3 e^{\lambda_3 t}, \quad (8)$$

a zaszło w ciągu tego okresu ubytki liczb odpowiednich atomów

$$\Delta N_1 = N_1 e^{\lambda_1 t} - N_1, \quad \Delta N_2 = N_2 e^{\lambda_2 t} - N_2, \quad \Delta N_3 = N_3 e^{\lambda_3 t} - N_3. \quad (9)$$

Stąd, biorąc pod uwagę towarzyszący ubytkowi atomów U i Th wzrost liczby izotopów Pb, otrzymamy układ trzech równań:

$$\begin{aligned} n_1 - n_1(t) &= N_1 (e^{\lambda_1 t} - 1), \\ n_2 - n_2(t) &= N_2 (e^{\lambda_2 t} - 1) = \frac{N_1}{139} (e^{\lambda_2 t} - 1), \\ n_3 - n_3(t) &= N_3 (e^{\lambda_3 t} - 1). \end{aligned} \quad (10)$$

W równaniach tych $\lambda_1 = 0,154 \cdot 10^{-9} \text{ lat}^{-1}$ jest stałą rozpadu ^{238}U , $\lambda_2 = 0,980 \cdot 10^{-9} \text{ lat}^{-1}$ — ^{235}U , $\lambda_3 = 0,0499 \cdot 10^{-9} \text{ lat}^{-1}$ — ^{232}Th . bezpośrednich pomiarów znany jest stosunek liczby atomów ^{238}U do liczby atomów ^{235}U , tak że $N_1/N_2 = 139$. Wielkości n_1 , n_2 , n_3 oraz N_1 i N_3 należy wyznaczyć doświadczalnie, a wówczas $n_1(t)$, $n_2(t)$, $n_3(t)$ będą określonymi funkcjami czasu, pozwalającymi na ustalenie wieku powstawania rud ołowioowych na podstawie analizy izotopowej ich składu.

Dla wyznaczenia stałych n_1 , n_2 , n_3 , N_1 , N_3 wystarczyłoby w zasadzie dysponowanie 5 równaniami z określonymi wartościami $n_1(t)$, $n_2(t)$, $n_3(t)$ i t . Mówiąc inaczej wystarczyłoby dysponować dwoma minerałami o zupełnie pewnie określonym wieku i składzie izotopowym ołowiu. Niestety wszelkie pomiary fizyczne obarczone są pewnymi błędami i takich zupełnie pewnych datowań nie ma.

Czasami jednak się zdarza, że w pewnej formacji geologicznej obok rud urano- lub toronośnych, pozwalających określić wiek formacji, występują rudy ołowioowe bez śladów zanieczyszczeń pierwiastkami promieniotwórczymi. Można wówczas z dużym prawdopodobieństwem twierdzić, że wiek obu rud jest zbliżony do siebie.

Z materiałów tego rodzaju można skorzystać i stosując odpowiednie metody rachunkowe wyznaczyć wartości n_1 , n_2 , n_3 , N_1 , N_3 najbardziej zgodne z danymi takich pośrednich datowań.

W ten sposób otrzymuje się na liczby atomów przypadających w chwili obecnej na 1 atom ^{204}Pb dla ^{208}Pb — $n_1 = 18,45$, dla ^{207}Pb — $n_2 = 15,61$, dla ^{206}Pb — $n_3 = 38,40$, $N_1 = 9,92$, $N_3 = 38,3$, tak że zmiany składu izotopowego ołowiu w zależności od wieku, w którym nastąpiła mineralizacja, przebiegałyby według wzorów:

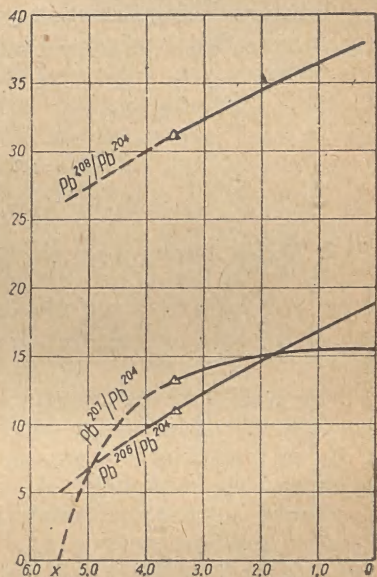
$$\begin{aligned}
 n_1(^{206}\text{Pb}) &= 18,45 - 9,92(e^{0,154t} - 1), \\
 n_2(^{207}\text{Pb}) &= 15,61 - 0,0714(e^{0,98t} - 1), \\
 n_3(^{208}\text{Pb}) &= 38,40 - 38,3(e^{0,0499t} - 1), \quad (t \text{ w miliardach lat}).
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Wykresy $n_1(t)$, $n_2(t)$ i $n_3(t)$ w funkcji czasu pokazane są na rys. 4. Jak widać, krzywa $n_2(t)$ przecina oś czasową dla $t = x = 5,5$ miliarda lat. Oznacza to, że przed 5,5 miliardami lat atomów ^{207}Pb , a więc i ^{235}U , w ogóle być nie mogło.

Otrzymana w ten sposób liczba daje więc górną granicę liczby lat, jakie minęły od okresu powstawania pierwiastków w układzie słonecznym. Równocześnie z wykresu widać, że już w chwili tworzenia się pierwiastków musiał istnieć ołów zawierający na pewno izotopy ołowiu ^{204}Pb , ^{206}Pb i ^{208}Pb .

Oczywiście, ażeby rozumowanie pozwalające wyznaczyć czas tworzenia się pierwiastków było usprawiedliwione, należy zrobić szereg istotnych założeń. Na-

Rys. 4. Wykres zmian składu izotopowego ołowiu zachodzącego wskutek dodawania się ołowiu pochodzenia promieniotwórczego do ołowiu innego pochodzenia. Na osi rzędnych odłożono stosunki liczby atomów cięższych izotopów ołowiu ^{206}Pb , ^{207}Pb i ^{208}Pb do stałej w czasie liczby atomów izotopu ^{204}Pb . Na osi odciętych wiek w miliardach lat. Znaki Δ na krzywych oznaczają prawdopodobny skład izotopowy ołowiu w okresie zestalania się skorupy ziemskiej. Punkt x przecięcia się krzywej $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ z osią odciętych wyznacza górną granicę wieku okresu formowania się pierwiastków ($x = 5,5$ miliarda lat).



leży założyć, że poczynając od momentu powstawania pierwiastków ołów powstający wskutek rozpadu uranu i toru ulegał nieustannemu mieszanin się z ołowiem już istniejącym, względne ilości ołowiu, uranu i toru w Ziemi pozostawały wszędzie takie same i zmieniały się jedynie wskutek przemian promieniotwórczych. W okresie pierwszej mineralizacji ołowiu ołów o określonym, charakterystycznym dla tego okresu składzie izotopowym utrwalił aktualny dla tej chwili skład izotopowy ołowiu skorupy ziemskiej. Po skrzepnięciu skorupy ziemskiej procesy fizyko-chemiczne wywołały zmiany koncentracji ołowiu, uranu i toru w różnych jej miejscach. Część ołowiu wykrystalizowała od razu tworząc tzw. ołów „pierwotny“. Reszta pozostawała w kontakcie z pierwiastkami promieniotwórczymi, zmieniając swój skład izotopowy w zależności od koncentracji U, Th i Pb w tym miejscu. W późniejszych okresach część ołowiu mogła znów wydzielć się w minerałach utrwalać znów poprzez swój skład izotopowy moment krystalizacji. Z założeń tych widać, że ze względu na różnice chemiczne i fizyczne pomiędzy uranem i torem nie można spodziewać się, ażeby zawsze koncentracje U i Th były średnio takie same. Z tego względu wykorzystanie analizy izotopowej ołowiu dla celów chro-

nologii nie może opierać się na badaniu np. stosunku mas ^{206}Pb , ^{208}Pb albo ^{207}Pb do masy ^{204}Pb .

Na szczęście dwa izotopy ołowiu ^{206}Pb i ^{207}Pb posiadają ten sam pod względem własności chemicznych pierwiastek macierzysty — uran. Założenie, że stosunek liczby atomów ^{235}U do liczby ^{238}U był wszędzie po zastygnięciu skorupy ziemskiej taki sam, wydaje się naturalne i całkowicie usprawiedliwione. Przypuśćmy, że moment krzepnięcia Ziemi nastąpił t_0 lat temu, a moment wykrystalizowania minerału t_m lat przed naszą erą. Opierając się na rozumowaniu analogicznym do tego, które pozwoliło nam napisać równania (10), można pokazać, że jeżeli $n_1(0)$ i $n_2(0)$ reprezentuje ilość atomów ^{206}Pb i ^{207}Pb względem ^{204}Pb w ołowiu pierwotnym, charakterystycznym dla okresu krzepnięcia skorupy ziemskiej, $n_1(m)$ i $n_2(m)$ — ilości tychże izotopów w momencie mineralizacji ołowiu, a t_0 i t_m — liczby lat oddzielających wymienione procesy od chwili obecnej, to:

$$\begin{aligned} n_1(m) - n_1(0) &= N_1(e^{\lambda_1 t_0} - e^{\lambda_1 t_m}), \\ n_2(m) - n_2(0) &= N_2(e^{\lambda_2 t_0} - e^{\lambda_2 t_m}), \end{aligned} \quad (12)$$

a stąd biorąc pod uwagę to, że $N_1/N_2 = 139$, otrzymuje się:

$$\frac{n_1(m) - n_1(0)}{n_2(m) - n_2(0)} = 139 \frac{e^{\lambda_1 t_0} - e^{\lambda_1 t_m}}{e^{\lambda_2 t_0} - e^{\lambda_2 t_m}}.$$

Równanie to mówi, że jeżeli potrafimy określić skład izotopowy ołowiu „pierwotnego” — a więc $n_1(0)$ i $n_2(0)$ oraz t_0 , to odliczając od znalezionych z analizy izotopowej wartości $n_1(m)$ i $n_2(m)$ wartości $n_1(0)$ i $n_2(0)$ i wyznaczając stosunek tak otrzymanych wartości, potrafimy obliczyć t_m , a więc wyznaczyć wiek mineralizacji ołowiu, a tym samym wiek formacji geologicznej.

Za pomocą metody opartej na identycznych przesłankach, jakie stosowano przy wyznaczeniu wieku tworzenia się pierwiastków, otrzymano

$$n_1(0) = 11,33; n_2(0) = 13,55; t_0 = 3,5 \cdot 10^9 \text{ lat.}$$

Jeżeli ponadto założenia dotyczące stałości koncentracji Th i U są usprawiedliwione, wykres zamieszczony na rys. 4 pozwala znaleźć dla okresu, w którym następowało zestalanie skorupy ziemskiej i procesy pierwszej mineralizacji pierwotnego ołowiu, — względną obfitość atomów izotopu ^{208}Pb , która wynosiłaby $n_3(0) = 31,1$. W tabeli I w poz. 8 umieszczono przewidywany teoretycznie skład ołowiu „pierwotnego”.

Powróćmy jeszcze do zagadnienia poruszonego przy omawianiu trudności, na jakie napotyka uranowo-ołowiowa metoda chronologii, związanych z możliwością straty ołowiu albo uranu (toru) w ciągu okresu oddzielającego moment mineralizacji rudy radioaktywnej od chwili obecnej. Zgodnie z omawianym już faktem — istnienia trzech niezależnych od siebie rodzin promieniotwórczych i trzech różnych izotopów ołowiu, będących końcowymi produktami rozpadu tych rodzin, mamy trzy niezależne od siebie metody datowania, polegające na:

- a) znalezieniu zanieczyszczenia ołowiem pochodzenia niepromieniotwórczego, którego wskaźnikiem jest obecność ^{204}Pb ;
- b) odliczeniu od mas poszczególnych izotopów Pb zanieczyszczenia;
- c) obliczeniu stosunków mas $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ oraz ^{206}Th i wyznaczeniu trzech niezależnych od siebie wartości wieku próbki.

Jest to oczywiście okoliczność bardzo ważna, pozwalająca przez porównanie trzech otrzymanych dat zorientować się, czy wynik może być zniekształcony stratą części wchodzących w grę pierwiastków, czy nie. Zważywszy duże różnice w szybkości rozpadu obu izotopów uranu i toru, a więc i w ilościach wyprodukowanych w procesie rozpadu izotopów ołowiu, jako też różnice w składzie izotopowym ołowiu „pierwotnego“, fakt utraty części Pb lub któregoś z pierwiastków macierzystych objawi się dużą różnicą otrzymanych datowań.

Powstaje pytanie, czy w takim wypadku można pomimo wszystko otrzymać przybliżoną bodaj datę formowania się minerału. Okazuje się, że niezwykle sprzyjającą okolicznością jest tu fakt występowania dwóch izotopów uranu, które jako praktycznie identyczne pod względem chemicznym podlegają takim samym losom, a więc jeżeli np. w pewien czas po uformowaniu się minerału uranowego część tego uranu z jakichkolwiek powodów została przez minerał stracona, to strata ta w równej mierze dotyczy i ^{235}U , i ^{238}U . Wzory (9) pozwalały nam obliczać liczby rozpadaających się w ciągu czasu t atomów uranu i toru. Ponieważ w przypadku datowania rud uranowych interesuje nas tylko ten ołów, który został wytworzony w rudzie na skutek procesu promieniotwórczego rozpadu, możemy odpowiednie liczby atomów ^{206}Pb i ^{207}Pb przedstawić w formie:

$$\begin{aligned} n_1 &= N_1(e^{\lambda_1 t} - 1), \\ n_2 &= N_2(e^{\lambda_2 t} - 1) \quad \text{z} \quad \frac{N_1}{N_2} = 139, \end{aligned} \quad (13)$$

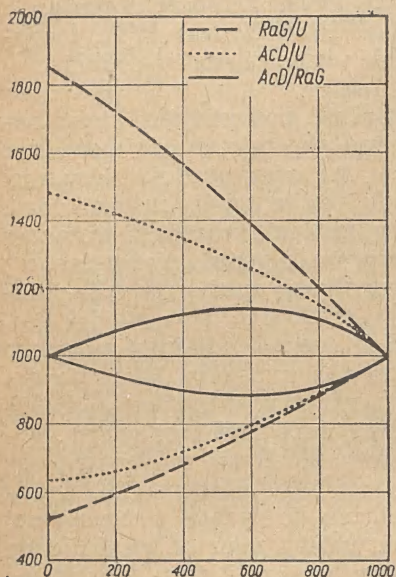
$$\text{a więc} \quad \frac{n_1}{n_2} = 139 \frac{e^{\lambda_1 t} - 1}{e^{\lambda_2 t} - 1} = k(t). \quad (14)$$

Analiza matematyczna wykazuje, że stosunek $k(t)$ liczby atomów izotopów ołowiu wyprodukowanych przez oba izotopy uranu, jest stosunkowo mało czuły na ewentualne straty przez minerał części ołowiu lub uranu. Rys. 5 ilustruje wielkość błędów popełnianych przy stosowaniu metody uranowo-ołowiowej przez wyznaczenie stosunków mas $^{206}\text{Pb}/^{389}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ oraz stosunku $k(t) = ^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

Jak widać z przytoczonego, raczej ekstremalnego, przypadku straty aż 50% uranu albo ołowiu, metoda wyznaczenia stosunku $k(t)$ daje wyniki z błędem najwyższej rzędu 10%, gdy tymczasem błędy przy stosowaniu innych metod mogą sięgać 80%.

Reasumując należy stwierdzić, że ołowiowo-uranowa i ołowiowo-torowa metody chronologii bezwzględnej pozwalają, dzięki zastosowaniu analizy izotopowej, datować zupełnie pewnie wiek powstawania rud uranowych i niezależnie niemal od losów, jakim rudy te podlegały. Rudy toronośne mogą być datowane tylko metodą porównania masy ^{208}Pb i ma-

sy toru, przy czym datowania nie są już tak pewne, jak w przypadku rud uranowych. Co do datowania rud ołowiowych — z analizy składu izotopowego tych rud — można powiedzieć, że w chwili obecnej metoda ta nie dojrzała jeszcze o tyle, by dawać równie pewne wyniki, jak to ma miejsce dla rud uranowych. Znane są złoża ołowiu, których składy izotopowe bardzo znacznie odbiegają od teoretycznie możliwych. Niemniej jednak metoda stanowi niezwykle cenne uzupełnienie metody datowania złóż ra-



Rys. 5. Wykresy dają porównanie wpływu straty 50% ołowiu (dolna część rysunku) lub pierwiastka macierzystego (górna część rysunku) na pozorny wiek otrzymany metodami: a) wyznaczenia stosunku $^{206}Pb/^{238}U$ — krzywe przerywane, b) stosunku $^{208}Pb/Th$ — krzywe kropkowane i c) stosunku $^{207}Pb/^{206}Pb$ — krzywe ciągłe. Rzeczywisty wiek minerału: 1 miliard lat. Na osi odciętych wiek, w którym nastąpiła strata ołowiu lub uranu (toru), na osi rzędnych pozorny wiek minerału otrzymanego przez zastosowanie jednej z trzech metod.

dioaktywnych, a dalsze badania składów izotopowych rud ołowiowych mogą odsłonić wiele interesujących zjawisk, jakie zdarzyły się w epokach powstawania tych rud.

III. INNE METODY DATOWANIA ODLEGŁYCH EPOK GEOLOGICZNYCH

Jak wiadomo, pierwiastki promieniotwórcze, wchodzące w rodziny uranowo-radową, uranowo-aktynową oraz torową, nie wyczerpują listy naturalnych pierwiastków promieniotwórczych spotykanych na Ziemi. Inne naturalne pierwiastki promieniotwórcze można podzielić na dwie klasy. Do pierwszej należą pierwiastki, takie jak potas, rubid, samar, lutece, których bardzo długie okresy połowicznego rozpadu (rzędu od miliarda lat do ponad stu miliardów) umożliwiły im przetrwanie do chwili obecnej. Drugą klasę stanowią pierwiastki, takie jak wodór i węgiel, o krótkich stosunkowo okresach połowicznego rozpadu, których promieniotwórcze izotopy są bezustannie produkowane na skutek oddziaływania promieniowania kosmicznego na materię.

Pierwsza grupa pierwiastków może być w zasadzie wykorzystana do celów chronologii odległych epok geologicznych przez zastosowanie metody podobnej do urano-ołowiowej. Druga może być wykorzystana do datowania zjawisk współczesnych, ewentualnie niezbyt odległych od teraźniejszości. W niniejszym rozdziale omówimy pokrótce metody stanowiące uzupełnienie metody uranowo-ołowiowej.

Współczesny potas naturalny składa się z trzech izotopów: dwu trwałych ^{39}K i ^{41}K , stanowiących odpowiednio 93,4% oraz 6,6% ogólnej liczby

atomów, oraz niewielkiej domieszki 0,011% promieniotwórczego izotopu ^{40}K . Rozpad ^{40}K może nastąpić albo na skutek emisji β , przy czym potas przemienia się na trwały izotop ^{40}Ca z okresem połowicznej przemiany $T_{1/2} = 1,37 \cdot 10^9$ lat, albo na skutek tzw. „wychwytu K “ polegającego na tym, że jeden z elektronów wewnętrznej powłoki elektronowej zostaje wciągnięty do jądra. „Wychwyt K “ zmniejsza ładunek dodatni jądra o jedną, tak że w wypadku ^{40}K skutkiem tego procesu jest generacja izotopu argonu ^{40}Ar . Okres połowicznej przemiany tego typu nie jest dokładnie dotychczas znany i ocenia się w zależności od metody na od ok. 60 do ok. 6 miliardów lat.

Fakt alternatywnej przemiany ^{40}K na ^{40}Ca lub ^{40}Ar pozwala w zasadzie na równoległe stosowanie dwu niezależnych metod datowania, polegających na znalezieniu mas generowanych w rozpadzie ^{40}Ca i ^{40}Ar i masy pierwiastka generującego ^{40}K . Niestety pomiar ilości generowanego ^{40}Ca jest na razie niemożliwy ze względu na to, że ten izotop wapnia występuje w przyrodzie w przytłaczającej przewadze 96,97% wobec 0,64% izotopu ^{42}Ca , 0,145% izotopu ^{43}Ca , 2,06% izotopu ^{44}Ca , 0,003% — ^{46}Ca oraz 0,185% — ^{48}Ca . Ze względu na bardzo małe ilości promieniotwórczego potasu ^{40}K w potasie naturalnym, a w związku z tym bardzo małe ilości wyprodukowanego ^{40}Ca , nawet skrajnie małe zanieczyszczenia minerału wapniem „naturalnym“ uniemożliwiają praktycznie wykonanie pomiaru. Ze względu na rozpowszechnienie i aktywność chemiczną wapnia zanieczyszczenia takie zawsze istnieją.

Metoda posługująca się wyznaczeniem masy zaabsorbowanego przez minerał ^{40}Ar była z dość dużym powodzeniem stosowana przez wielu badaczy do określenia względnego wieku minerałów zawierających potas. Podobnie jak i w przypadku wapnia, zanieczyszczenia argonem niepromieniotwórczego pochodzenie są ze względu na rozpowszechnienie tego izotopu bardzo trudne do oceny. ^{40}Ar stanowi 99,632% atmosferycznego argonu wobec 0,307% — ^{36}Ar i 0,061% — ^{38}Ar . Okolicznością natomiast sprzyjającą jest brak aktywności chemicznej tego pierwiastka, a w związku z tym znikome prawdopodobieństwo takiego „zanieczyszczenia“. Przy stosowaniu metody argonowej należy jednak zawsze liczyć się z możliwością: a) dyfuzji argonu z minerału, b) domieszki argonu atmosferycznego, c) niewydzielenia całej masy argonu z badanej próbki. Jak z powyższego widać, metoda ta nie jest jeszcze rozpracowana w takim stopniu, jak metoda ołowiowa i może być traktowana tylko jako metoda pomocnicza.

Inną metodą podobnego charakteru jest metoda rubidowo-strontowa. Rubid naturalny występuje w dwóch odmianach izotopowych: trwałego izotopu ^{85}Rb (72,3%) oraz aktywnego ^{87}Rb (27,7%) z okresem połowicznej przemiany ok. 60 miliardów lat. Produktem rozpadu ^{87}Rb jest jeden z izotopów strontu — ^{87}Sr — stanowiący ok. 7,02% naturalnego strontu. Pozostałe trwałe izotopy strontu są: ^{84}Sr — stanowiący 0,56%, ^{86}Sr — 9,86%, ^{88}Sr — 82,56% strontu naturalnego.

Badania składu izotopowego strontu przeprowadzane w różnych laboratoriach w ciągu kilku ostatnich lat wykazały znaczne oscylacje składu izotopowego, szczególnie w odniesieniu do zawartości ^{87}Sr . W szczególności w niektórych minerałach zawierających rubid stwierdzono występowanie tego izotopu w ilości powyżej 99,7% całkowitej masy strontu.

Źródłem tych oscylacji jest przede wszystkim generacja ^{87}Sr z ^{87}Rb . Ze względu na bardzo długi okres połowicznej przemiany ^{87}Rb nawet okresy rzędu miliarda lat mogą być uważane za małe w porównaniu z $T^{1/2}$, a więc wobec tego liczba atomów ^{87}Sr w mineralu powstałym z rozpadu ^{87}Rb

$$n(^{87}\text{Sr}) = \Delta N(^{87}\text{Rb}) = \lambda \cdot t \cdot N(^{87}\text{Rb}). \quad (15)$$

Ponieważ ciężary atomowe ^{87}Sr i ^{87}Rb są praktycznie równe, przeto całkowita masa izotopu ^{87}Sr powstałego na drodze przemiany promieniotwórczej równa się masie ^{87}Rb pomnożonej przez t i λ . Znając procentową zawartość ^{87}Rb i ^{87}Sr pochodzenia promieniotwórczego w mineralu oraz stałą rozpadu, można określić wiek.

Podobnie jak przy metodzie ołowiowej, metoda ta może być z powodzeniem stosowana do datowania minerałów „czystych” — bez domieszek naturalnego strontu. W wypadku „zanieczyszczeń” dodatkową trudność stanowi zjawisko rozdziału izotopowego, który powoduje zmianę składu izotopowego trwałych izotopów strontu. Stosunek $N(^{86}\text{Sr})/N(^{88}\text{Sr})$, jak stwierdzono, może oscylować w granicach od 0,116 do 0,122.

Przyczyny, które mogły wywoływać tę zmianę składu, musiałyby również zmieniać stosunek ^{87}Sr do trwałych izotopów. Zjawisko to należy przy określaniu wieku metodą rubidowo-strontową mieć na uwadze. Metoda ta ogranicza się siłą rzeczy tylko do datowania okresów odległych o setki milionów, a nawet miliardy lat, i dla takich datowań stanowi bardzo cenne, aczkolwiek jeszcze nie w pełni opracowane, uzupełnienie metody uranowo-ołowiowej.

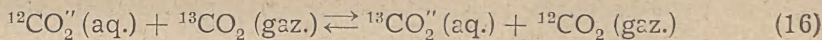
Ostatnio opracowuje się jeszcze dwie, zasadniczo różne od wymienionych, metody chronologii. Jedna z nich pozwala określić wiek meteorytów z analizy składu izotopowego helu. W badaniach nad procesami hamowania bardzo energicznych, tzw. pierwotnych cząstek promieniowania kosmicznego w materii, stwierdzono, że zderzeniu tych cząstek (będących przeważnie jądrami atomowymi lekkich atomów, najczęściej protonami) z jądrami innych atomów towarzyszą procesy częściowych lub całkowitych rozpadów jąder atomowych, których fragmentami są często cząstki α i jadra izotopu helu ^3He lub ciężkiego wodoru ^3H . Jeżeli pierwotna cząstka promieniowania kosmicznego wywoła rozbicie jądra atomowego takiego typu wewnątrz substancji, przez którą przechodzi, powstające w tym procesie atomy obu izotopów helu i ciężki izotop wodoru zostają uwiecznione w samej substancji. Tryt — ^3H jest izotopem nietrwałym i rozpada się z emisją β^- w okresie połowicznego rozpadu ok. 12 lat na trwały ^3He . Jak uczą dotychczasowe doświadczenia, łączna liczba wyprodukowanych przez pierwotne promieniowanie kosmiczne jąder ^3He stanowi ok. 30% jąder ^4He — tego samego pochodzenia. Ocena natężenia promieniowania kosmicznego poza zasięgiem pola magnetycznego Ziemi pozwala ocenić liczbę zderzeń cząstek pierwotnych promieniowania kosmicznego z jądrami substancji meteorytów, a w związku z tym ocenić masę (objętość) wyprodukowanego w tym procesie helu. W ten sposób ocenia się, że w ciągu jednego roku promieniowanie kosmiczne produkuje np. w 1 gramie żelaza $5.10 \cdot 10^{14} \text{ cm}^3$ helu.

Zasada określenia wieku polegałaby w tym wypadku na znalezieniu masy (objętości) helu uwiecznionego w meteorycie. Ponieważ jednak źródłem helu w meteorycie mogą być również i rodziny promieniotwórcze —

generujące, jak wspominaliśmy już, tylko izotop ^4He — obecność izotopu ^3He jako indikatora helu „kosmicznego“ pochodzenia ma tu podstawowe znaczenie. Metoda ta jest w chwili obecnej dopiero w załączkach. Cytowane wyżej oceny, dotyczące stosunku $^3\text{He} + ^3\text{H}/^4\text{He}$, jak również liczby zderzeń prowadzących do rozbitcia jąder są raczej prowizoryczne. Nie wiadomo również, jaka część helu więzionego w meteorycie zostaje stracona na skutek rozgrzewania się meteorytu w czasie jego przelotu przez atmosferę ziemską.

Inne możliwości otwierają się przed chronologią bezwzględna w związku ze wspomnianymi już przy omawianiu metody rubidowo-strontowej zmianami składu izotopowego pierwiastków, wywołanymi różnymi procesami fizyko-chemicznymi, a w szczególności procesami biofizycznymi i biochemicznymi.

W związku z różnicami mas różnych izotopów tego samego pierwiastka w szeregu procesów fizycznych, takich jak np. dyfuzja gazów i cieczy, parowanie, krzepnięcie, sublimacja itp., zachowanie się izotopów tego samego pierwiastka będzie różne. Izotopy lżejsze będą np. łatwiej przechodzić w stan lotny niż cięższe. W rezultacie takich procesów następuje nieznaczna, ale dostrzegalna zmiana składu izotopowego np. parującej cieczy i powstającej pary. Podobne separujące izotopy działania wywierają różne reakcje chemiczne, a w szczególności reakcje wymiany. Stwierdzono np., że reakcja wymiany



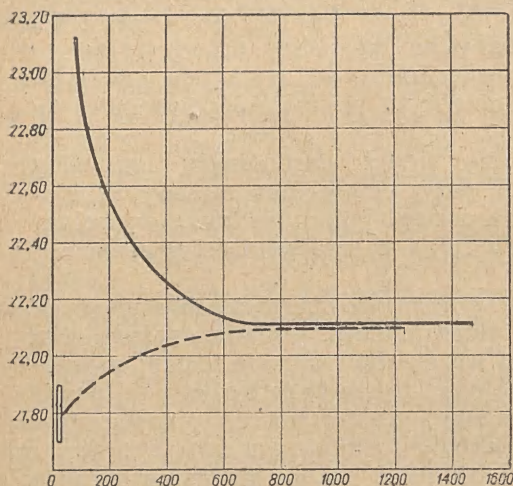
przebiega w ten sposób, że w równowadze termodynamicznej w fazie gazowej gromadzi się nieco więcej ^{12}C niż w fazie ciekłej. Szczególnie silną separację izotopów wywołują niektóre procesy biologiczne. Na przykład proces fotosyntezy uprzywilejowuje lekki izotop węgla ^{12}C w stosunku do ^{13}C .

W wyniku różnych procesów fizyko-chemicznych, powtarzających się w ciągu długich okresów, różnice w składach izotopowych pierwiastka tworzącego różne związki mogą być bardzo znaczne. Prace wielu autorów wykazały w ostatnich latach, że skład izotopowy siarki, przedstawiającej mieszaninę czterech izotopów trwałych $^{32}\text{S} - 95,10\%$, $^{33}\text{S} - 0,740\%$, $^{34}\text{S} - 4,29\%$ i $^{36}\text{S} - 0,0160\%$, wykazuje dość duże wahania w zależności od pochodzenia wziętej do analizy próbki i związku chemicznego, z jakiego siarkę wydobyto. W szczególności stwierdzono, że siarczany (szczególnie źródeł mineralnych) wykazują mniejszą wartość stosunku $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ niż siarczki. Natomiast siarka pochodzenia meteorycznego posiada skład pośredni — bliski przytoczonemu wyżej.

M a c n a m a r a i T h o d e wysunęli przypuszczenie, że pierwotna siarka na Ziemi posiadała skład izotopowy identyczny z tym, jaki obserwuje się w meteorytach. Procesy fizyczne i chemiczne, a przede wszystkim biochemiczne, jakim podlegała następnie siarka, spowodowały wspomnianą wyżej zmianę składów izotopowych siarki w różnych związkach chemicznych.

Niezwykle interesujące rezultaty uzyskano przeprowadzając analizę izotopową siarczanów i siarczków biosfery określonego wieku. Rys. 6 pokazuje krzywe obrazujące wartość stosunku $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ w zależności od wieku

wziętej do analizy próbki. Z przebiegu krzywych widać, że rozdział izotopowy przed 700—800 milionami lat praktycznie nie istniał, a skład izotopowy siarki był taki, jaki obecnie obserwuje się w meteorytach.



Rys. 6. Zmiany składu izotopowego siarki w siarczankach (krzywa górna) i siarczanach (krzywa dolna) wywołane rozdziałem izotopowym w procesach biologicznych. Na osi odciętych wiek w milionach lat, na osi rzędnych stosunek liczby atomów izotopów ^{32}S do ^{34}S .

lenia „biologicznej skali” czasu. Stanowi ona bardzo interesujący przyczynek do zagadnienia chronologii bezwzględnej i niewątpliwie zostanie rozszerzona przez dalsze badania składów izotopowych innych pierwiastków, odgrywających rolę w procesach biologicznych.

IV. CHRONOLOGIA METODĄ ^{14}C

Opisywane w poprzednich rozdziałach metody chronologii bezwzględnej, wykorzystujące zmiany składu izotopowego niektórych pierwiastków, zachodzących w wyniku przemian promieniotwórczych, mogą być stosowane tylko do bardzo odległych okresów geologicznych. Dolna granica zasięgu tych metod ogranicza się do okresów sprzed co najmniej 10—20 milionów lat. Wynika to z powolności przemian, jakim podlegają pierwiastki promieniotwórczości naturalnej, a w przypadku takich metod, jak helowa i siarkowa, powolności procesów prowadzących do produkcji ^3He bądź separacji izotopów siarki. Dla przeszłości poprzedzającej bezpośrednio naszą erę metody te stosowane być nie mogą.

Drugim bardzo istotnym ograniczeniem jest to, że większość pierwiastków wykorzystywanych w pomiarach chronologicznych, a przede wszystkim pierwiastki macierzyste rodzin promieniotwórczych i ołów nie wchodzi w dostrzegalnych ilościach w skład substancji organicznych.

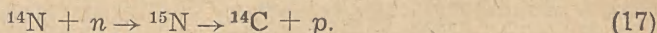
Ogranicza to stosowanie tych metod tylko do stosunkowo niewielkiej liczby minerałów, pozostawiając najbardziej interesujące dla człowieka

Bieg krzywych wskazuje, że zmiany w składzie izotopowym przebiegają przy zbliżaniu się do naszej epoki coraz szybciej. Przyczyn tego rozdziału należy dopatrywać się w reakcji wymiany zachodzącej w procesach biologicznych $^{32}\text{SO}_4 + \text{H}_2^{34}\text{S} \rightleftharpoons ^{34}\text{SO}_4 + \text{H}_2^{32}\text{S}$, uprzywilejowującej wzbogacenie w cięższy izotop jonu SO_4 . Wzrost szybkości rozdziału izotopów siarki wskazuje przy tym na wzrost aktywności biologicznej w ciągu ostatnich 200—300 milionów lat.

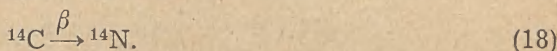
Opisana wyżej zależność składu izotopowego siarki od wieku pozwala na stworzenie nowej metody datowania opartej na analizie izotopowej siarki. Jest to pierwsza próba usta-

zagadnienie chronologii procesów organicznych na uboczu. Wyjątek stanowić tutaj będą, być może, po odpowiednim udoskonaleniu, metody potasowa i siarkowa, ale i one, jeżeli nawet będą spełniały postulaty rzetelności datowań, ograniczą się do okresów bardzo odległych.

W tej sytuacji postawiona w r. 1946 hipoteza Libbyego o generacji promieniotwórczego izotopu węgla ^{14}C w atmosferze Ziemi i możliwości wykorzystania ^{14}C do celów chronologicznych stała się prawdziwą rewelacją. Według hipotezy Libbyego proces prowadzący do wytworzenia ^{14}C polega na absorpcji jądrowej przez azot atmosferyczny neutronów (powstających jako proces wtórny oddziaływania cząstek pierwotnych promieniowania kosmicznego na materię) oraz reakcji przemiany jądrowej według schematu:



Powstający w tej reakcji izotop węgla ^{14}C , tzw. „radiowęgiel“, ulega samorzutnemu rozpadowi — z emisją β na azot:



Okres połowicznej przemiany tego procesu wynosi:

$$T_{1/2} = 5568 \pm 30 \text{ lat}. \quad (19)$$

Natychmiast po powstaniu „radiowęgla“ ulega utlenieniu i jako dwutlenek węgla przedostaje się do powierzchni Ziemi. Tu wymieszany z atmosferycznym dwutlenkiem węgla, w którego skład wchodzi trwałe izotopy węgla ^{12}C (98,9%) i ^{13}C (1,1%), przedostaje się do biosfery, wchodzi na skutek procesów fizyko-chemicznych w skład węglanów rozpuszczonych w morzach, oceanach oraz w skład węgla morsk pochodzenia organicznego.

Biorąc pod uwagę dużą stosunkowo szybkość przenikania „radiowęgla“ do wspomnianych rezerwuarów wobec małej szybkości przemiany ^{14}C , należy sądzić, że koncentracja atomów izotopu ^{14}C w stosunku do izotopów trwałych jest wszędzie taka sama.

Z natężenia składowej neutronowej promieniowania kosmicznego i oceny całkowitej ilości węgla wchodzącego we wspomniane wyżej rezerwuary można ocenić zawartość ^{14}C w jednostce masy węgla tych rezerwuarów¹.

Z kolei znając $T_{1/2}$ „radiowęgla“ można obliczyć liczbę rozpadów zachodzących w 1 gramie węgla wchodzącego do rezerwuarów ^{14}C . Według współczesnych ocen wynosi ona ok. 18,8 rozpadów ^{14}C na 1 gram węgla rezerwuarów na 1 minutę. Pomiar bezpośredni dał na średnią liczbę rozpadów ^{14}C z węglanów morsk wartość 16,2 rozp./min. g, a dla współczesnego węgla organicznego pochodzenia wartości $15,3 \pm 0,1$ rozp./min.g².

Ze względu na nietrwałość izotopu ^{14}C przytoczone liczby odnoszą się tylko do węgla „współczesnego“ — biorącego nieustannie udział w wy-

¹ Dokładniejsze dane, dotyczące oceny masy węgla w rezerwuarach oraz ilości ^{14}C na Ziemi znajdzie Czytelnik w artykule autora *Rozmieszczenie i krążenie izotopów węgla w przyrodzie*, „Kosmos“ ser. B, 1, 139 (1955).

² Wyjaśnienie przyczyny wspomnianej różnicy promieniotwórczości węgla organicznego i nieorganicznego pochodzenia znajdzie Czytelnik tamże.

mianie węgla pomiędzy źródłem produkcji ^{14}C — atmosferą i rezerwuarami.

W chwili śmierci substancji organicznej, ewentualnie osadzenia się węglanu, wymiana taka ustaje, a ilość „radiowęgla“ zawartego w umierającej substancji organicznej lub osadzającego się w formie skały osadowej węglanu zaczyna wskutek promieniotwórczego rozpadu maleć. Ponieważ liczba rozpadów ^{14}C w jednostce czasu jest proporcjonalna do całkowitej liczby atomów „radiowęgla“ w 1 g węgla niepromieniotwórczego, można we wzorze (3), określającym liczbę pozostałych po czasie t atomów pierwiastka promieniotwórczego, zamiast liczb N_0 i $N(t)$ podstawić proporcjonalne do nich liczby rozpadów ^{14}C , zachodzących w 1 g węgla/min. — odpowiednio: współczesnego i wziętego do analizy węgla — nie wchodzącego już w skład węgla rezerwuarów ^{14}C . W ten sposób można powiedzieć, że jeżeli badany węgiel przed t latami wyszedł ze składu rezerwuarów „radiowęgla“ (śmierć organizmu — sedymentacja), radioaktywność 1 g węgla badanej próbki będzie wynosiła:

$$\begin{aligned} I(t) &= 15,3 e^{-\lambda t} \text{ — dla węgla organicznego pochodzenia,} \\ I(t) &= 16,2 e^{-\lambda t} \text{ — dla węglanów,} \end{aligned} \quad (20)$$

gdzie $\lambda = 1,245 \cdot 10^{-4} \text{ lat}^{-1}$ — jest stałą rozpadu ^{14}C , a t wiekiem śmierci (sedymentacji) badanego węgla w latach.

Wprowadzając okres połowicznego rozpadu ^{14}C — $T_{1/2}$ można wzory te zapisać w postaci:

$$\begin{aligned} I(t) &= 15,3 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \text{ — dla węgla organicznego,} \\ I(t) &= 16,2 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \text{ — dla węglanów.} \end{aligned} \quad (21)$$

Odwrotnie:

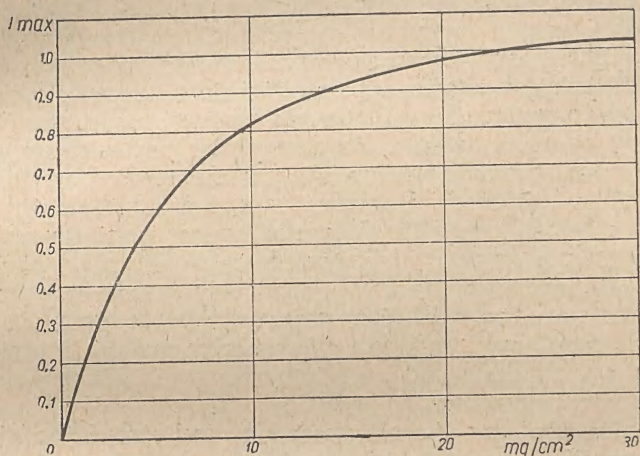
Jeżeli określimy na drodze doświadczalnej radioaktywność 1 g węgla próbki — w liczbie rozpadów ^{14}C na minutę — wówczas wiek próbki określają wzory:

$$t = -\frac{\lg I_0/I}{\lg 2} \cdot T_{1/2} = 5568 \frac{\lg 15,3/I}{0,30103} \text{ lat.} \quad (22)$$

Przytoczone wyżej rozumowanie stanowi punkt wyjściowy „metody radiowęglowej“ chronologii bezwzględnej. Należy tu zwrócić uwagę na to, że zmiany składu izotopowego węgla wynikające z rozpadu ^{14}C nie mogą być badane metodami właściwymi dla metod opisanych w poprzednich rozdziałach, a to z uwagi na niezwykle małą, niemierzalną tymi metodami zawartość ^{14}C , stanowiącą zaledwie 1 atom ^{14}C na $0,63 \cdot 10^{12}$ atomów węgla niepromieniotwórczego.

Pomiar radioaktywności badanego węgla może odbywać się za pomocą jednego ze znanych detektorów cząstek jonizujących: licznika G. M., liczników proporcjonalnych lub liczników scyntylacyjnych. Detektorem najprostszym w obsłudze i o najlepiej zbadanych właściwościach jest licznik G. M. Do pomiarów promieniowania silnych i energicznych źródeł β używa się zazwyczaj liczników specjalnej konstrukcji, zaopatrzonych w cienkościenne „okienko“ grubości od kilku do kilkudziesięciu mikronów w za-

leżności od kształtu i pola powierzchni „okienka” oraz materiału, z jakiego okienko bywa wykonywane (mika, metal, lak). W wypadku detekcji promieniowania β — ^{14}C — liczniki tego typu są najzupełniej bezużyteczne. Wiąże się to z jednej strony z bardzo słabym natężeniem emisji elektronów przez węgiel zawierający ^{14}C w naturalnej koncentracji, a z drugiej z bardzo małą stosunkowo energią elektronów emitowanych przez „radio-węgiel”, której maksymalna wartość nie przekracza 145 keV^3 .



Rys. 7. Zmiana natężenia promieniowania β „radiowęgla” w zależności od grubości warstwy radioaktywnej. Na osi odciętych grubość warstwy w mg/cm^2 ; na osi rzędnych względne natężenie w stosunku do natężenia promieniowania „nieskończenie grubej” warstwy. Z rysunku widać, że każda warstwa o grubości większej niż $28\text{ mg}/\text{cm}^2$ może być uważana za „nieskończenie grubą”.

Ta stosunkowo niska wartość energii elektronów emitowanych przez „radiowęgiel” powoduje bardzo silną ich absorpcję w materiale, przez który przechodzą, a w szczególności w samym materiale (np. węglu, węglanach itp.) będącym ich źródłem. Rys. 7 pokazuje krzywą wyrażającą zmianę całkowitej liczby elektronów rozpadu ^{14}C emitowanych przez czysty węgiel w zależności od grubości jego warstwy.

Z rysunku widać, że powiększenie próbki węgla powyżej grubości odpowiadającej masie 28 mg węgla na cm^2 powierzchni próbki nie daje, wskutek występowania zjawiska autoabsorpcji elektronów, żadnych korzyści. Bezpośrednie pomiary wykazują, że efektywne natężenie promieniowania elektronowego warstw czystego węgla o grubości powyżej $28\text{ mg}/\text{cm}^2$ jest niezmiennicze. Wynosi ono $0,0168$ elektronów na minutę na cm^2 powierzchni węgla.

Jeżelibyśmy do detekcji elektronów ^{14}C użyli licznika z „okienkiem”, wówczas poza zjawiskiem autoabsorpcji w samym materiale próbki nale-

³ Jak wiadomo w odróżnieniu od dyskretnych widm energetycznych promieniowania α i γ , widmo promieniowania β składa się z elektronów o energiach zawartych w granicach od 0 do E_{max} .

żałoby się liczyć z absorpcją elektronów w materiale okienka, które przy grubości 28 mg/cm^2 — w ogóle nie dopuściłoby elektronów do objętości czynnej licznika. Ze względu na to, że w widmie elektronów emitowanych przez ^{14}C znaczny ich procent posiada energie bardzo małe, zastosowanie najcieńszych nawet „okienek“ spowodowałoby stratę ok. 50% elektronów. Przypuśćmy teraz, że dla detekcji elektronów użyliśmy licznika o powierzchni okienka 4 cm^2 . Wysokość takiego licznika gwarantująca poprawną jego pracę wynosiłaby przy takiej powierzchni przynajmniej 4 — 5 cm. W liczniku o takich wymiarach pozostawionym z dala od jakichkolwiek źródeł radioaktywnych, w zależności od miejsca obserwacji i indywidualnych cech licznika, obserwuje się od 20 do 40 impulsów/minutę, spowodowanych wyładowaniami wywołanymi przez cząstki promieniowania kosmicznego lub promieniowania zanieczyszczeń radioaktywnych, rozsianych w sprzęcie laboratoryjnym lub samym materiale licznika. W takim razie obok stałej (w granicach fluktuacji statystycznych) liczby impulsów „tła“ o poziomie 20 do 40 imp./min. otrzymalibyśmy po umieszczeniu węgla naturalnego, przykrywającego całą powierzchnię licznika, wzrost liczby impulsów o 0,033 imp./min. Jest to oczywiście wzrost tak znikomy, że w ogóle nie można go obserwować, zważywszy statystyczny charakter notowań zarówno impulsów „tła“, jak i impulsów próbki. Prawdopodobne odchylenie⁴ liczby impulsów od wartości nominalnej 25 wynosi 5 impulsów/min. przy jednonumutowej rejestracji.

Oczywiście dłuższy czas obserwacji może zmniejszyć ten efekt. Po to jednak, by uzyskać statystykę wystarczająco dokładną, ażeby w ogóle stwierdzić przy dwóch oddzielnych notowaniach wspomnianą różnicę 0,033 imp./min., należałoby przeprowadzać każdy pomiar w ciągu ponad 400 godzin, zakładając przy tym niezmienną pracę licznika oraz niezmienną w czasie natężenie promieniowania „tła“. W rzeczywistości ani jedno, ani drugie nie ma miejsca i pomiar taki nie ma w ogóle sensu.

Omówiony wyżej przykład wskazuje jak subtelnie musi być opracowana technika pomiaru radioaktywności węgla naturalnego i w jak zasadniczy sposób musi się ona różnić od normalnie stosowanej techniki detekcji ciał radioaktywnych.

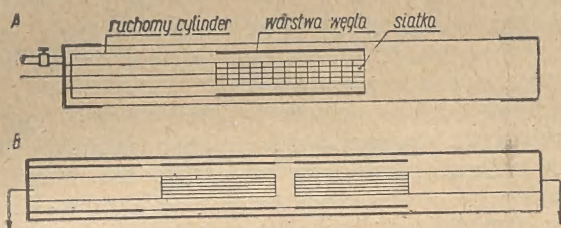
Prace w kierunku opracowania odpowiedniej techniki podjęte zostały niemal równocześnie w r. 1948 przez Andersona, Libby'ego i współpracowników oraz w Polsce w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej UP.

Istnieją dzisiaj dwie konkurujące techniki: opracowana w r. 1949 przez zespół Andersona i Libby'ego — posługująca się węglem elementarnym w fazie stałej — oraz druga, w której węgiel wprowadza się pod postacią związku lotnego do środka licznika (przeważnie proporcjonalnego) — jako gaz wypełniający.

Technika węgla elementarnego posługuje się licznikiem specjalnej konstrukcji o katodzie w formie siatki, wprowadzanym do rury próżniowej, na której wewnętrznych ściankach naniesiona jest cienka warstwa węgla w formie odpowiednio spreparowanej. Schematy ideowe dwu liczników tego typu przedstawione są na rys. 8 A i B. Rys. 8 A pokazuje schemat budo-

⁴ Mowa tu o tzw. „standard deviation“, którego wartość wynosi $N^{1/2}$, gdzie N liczba notowań przypadkowych. Prawdopodobieństwo odchylenia większego od „standard deviation“ wynosi 31,8%.

wy tzw. „screen wall counter“, rys. 8 B „double screen wall counter“. Można przesuwania preparatu węglowego względem licznika, wypełnionego w czasie pomiaru odpowiednią mieszkanką gazów stosowaną w liczni-



Rys. 8. Schematy liczników z katodą siatkową. A — „screen wall counter“, B — „double s. w. c.“. Na rys. B widać dwa niezależne liczniki. Próbkę: dwie zewnętrzne wykonane z węgla bez zawartości ^{14}C i wewnętrzna — z węgla badanego obiektu, umieszczone są na ruchomym cylindrze, przesuwalnym wzdłuż osi rysunku. W położeniu jak na rysunku licznik lewy mierzy efekt: „tło + ^{14}C “, prawy — „tło“. Po przesunięciu ruchomego cylindra w prawo lewy licznik mierzy „tło“, prawy „tło + ^{14}C “.

kach G. M. (np. 100 mm Hg Ar + 10 mm alkoholu etylowego), pozwala dokonywać pomiaru w dwóch położeniach. W jednym z tych położów próbka znajduje się dokoła siatkowej elektrody licznika, a elektrony emitowane przez próbkę przedostają się przez siatkę w obszar czynny licznika i dają wyładowanie. W drugim położeniu próbka znajduje się poza obszarem elektrody (katody) i licznik rejestruje tylko impulsy „tła“. Metoda ta pozwala na równoległą i prawie równoczesną rejestrację oddzielnie: a) impulsów „tła“ i b) impulsów „tła“ + impulsy próbki. Różnica notowań daje w granicach błędów statystycznych efekt pochodzący od samej próbki. Wadą tej metody jest oczywiście to, że notowanie „tła“ odbywa się gdzie indziej i kiedy indziej niż notowanie elektronów próbki. Gdyby np. jedna część rury, na której została umieszczona próbka, była więcej zanieczyszczona radioaktywnością niż druga — wynik musiałby być zły.

Konstrukcja pokazana na rys. 8 B jest wolna od błędów tego rodzaju. W konstrukcji tej mamy dwa liczniki ustawione współosiowo, jeden za drugim. Każdy z nich rejestruje na przemian raz promieniowanie próbki + „tło“, drugi raz promieniowanie samego „tła“. W ten sposób można wyeliminować zarówno ewentualne fluktuacje „tła“ w czasie, jak też i nierównomierność zanieczyszczeń radioaktywnych w materiale samego przyrządu. Wadą tego przyrządu jest mała długość czynna w stosunku do całkowitej długości urządzenia. W liczniku „s. w. c.“ — mniej niż 1/3 długości może być wykorzystana jako obszar licznika elektronów ^{14}C . W liczniku „d. s. w. c.“ można wykorzystać mniej niż 1/4 całkowitej długości, ponadto trzeba niezależnie rejestrować impulsy obu liczników oddzielnie. W jednym z laboratoriów pracujących techniką węgla elementarnego stosuje się licznik o średnicy ok. 8 cm i długości czynnej ok. 20 cm, tak że dysponuje się powierzchnią ok. 500 cm² siatkowej katody licznika, dokoła której moż-

na umieścić odpowiednio spreparowaną warstwę węgla. Można, biorąc pod uwagę maksymalną radioaktywność węgla, spodziewać się, że w ciągu minuty do licznika przedostanie się $500 \cdot 0,0168 = 8,4$ elektronów pochodzących z rozpadu ^{14}C . Wartość ta musi ulec redukcji ze względu na to, że pewna liczba elektronów ugrzęźnie w samej siatce, inna część może ominąć obszar czynny licznika. W rzeczywistości otrzymuje się 6,6 elektronów/min. zarejestrowanych przez licznik.

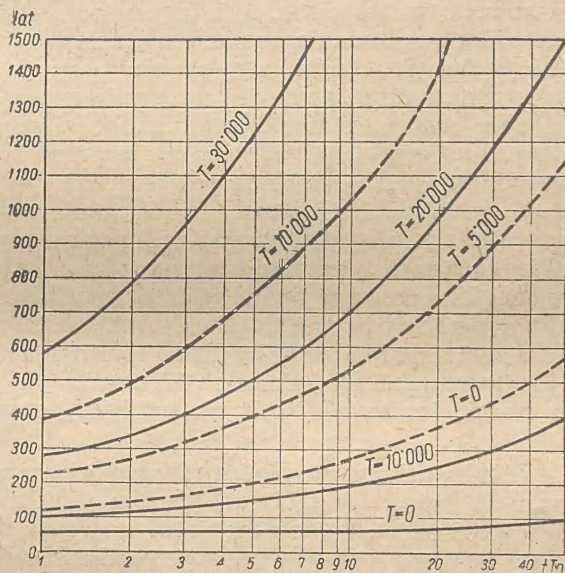
W technice posługującej się węglem w fazie lotnej (np. CO_2 , C_2H_2 , CH_4) sam gaz, syntetyzowany z węgla próbki, wprowadza się do licznika. W tych warunkach prawie cała objętość gazu (80—90%) ma niemal 100% wydajności: tylko nieznaczny ułamek wszystkich elektronów, które zostają wyrzucone w ścianki samego licznika albo w obszarze „martwym“ licznika, nie podlega rejestracji. W urządzeniu o rozmiarach cytowanych wyżej (tj. średnicy 8 cm i długości czynnej $3 \cdot 20 = 60$ cm) użytym jako licznik wypełniony gazem zawierającym 1 atom węgla w cząsteczce (np. CO_2) pod ciśnieniem 1 atmosfery — wprowadzilibyśmy ok. 1,6 g węgla. Jeżeli użyty do syntezy węgiel pochodzi ze współczesnej tkanki organicznej, jego promieniotwórczość odpowiadałaby emisji ok. 23 elektronów na minutę, co przy 80% wydajności licznika odpowiada ponad 18 imp./minutę. Przy użyciu gazu o drobinach zbudowanych z dwu atomów węgla albo ciśnieniu 2 atm. liczba impulsów wzrosłaby do 36—37 itd. Podany przykład detektora należał raczej do typu małych detektorów stosowanych w „metodzie radiowęglowej“. Już dla takich detektorów cytowane liczby przemawiają za techniką węgla w fazie gazowej. Jeżeli wielkość detektora powiększać liniowo, to efektywna masa węgla czynnego w liczniku wzrasta: przy technice węgla elementarnego z kwadratem wymiarów liniowych, gdy przy technice gazowej z trzecią potęgą.

Jak okazuje dokładniejsza dyskusja, dla urządzeń o długości 30 cm i średnicy od 3—6 cm obie techniki są równoważne. Przy mniejszych wymiarach opłaca się stosować węgiel elementarny w fazie stałej, przy większych — w fazie gazowej.

Omawiając sposób pracy liczników typu „s. w. c.“ zwracaliśmy uwagę na to, że pozwalają one na równoczesne notowania impulsów „tła“. Przy czym przy technice „d. s. w. c.“ notowania te mogą być prowadzone praktycznie w tym samym miejscu, tym samym licznikiem i równocześnie z pomiarem promieniotwórczości próbki. Eliminacja „tła“ jest w tych warunkach doskonała.

Znacznie, jak widzieliśmy, wydajniejsza i czulsza technika węgla w stanie lotnym nie pozwala na eliminację tła z taką precyzją. W większości laboratoriów pracujących tą techniką zakłada się, że od pomiaru do pomiaru średnia wartość „tła“ w liczniku nie ulega zmianie. To samo założenie robi się odnośnie niezmienności pracy detektora (licznika) od próby do próby. (Należy tu mieć na uwadze to, że po wykonaniu pomiaru licznik zostaje opróżniony i wypełniony od nowa). Założenia te są częściowo usprawiedliwione tym, że warunki geometryczne położenia licznika są niezmiennie, a fizyczne (ciśnienie gazu, napięcia podane na licznik itp.) mogą być utrzymywane z bardzo dużą dokładnością na tym samym poziomie. Nie jest to oczywiście założenie zupełnie usprawiedliwione i sprawą kontroli pracy licznika i ewentualnej fluktuacji „tła“ przy technice „gazowej“ zajmujemy się niżej.

Omawialiśmy dotychczas sposoby powiększenia liczby rejestrowanych za pomocą licznika elektronów, pozostawiając sprawę „tła” na uboczu. „Zdławienie” niedokładności statystycznej pomiaru, związanej z efektem tła, metodą powiększania wymiarów licznika jest sprawą beznadziejną. Przy licznikach „s. w. c.” nie daje to bowiem nic, gdyż liczba impulsów „tła” wzrasta również z kwadratem rozmiarów licznika, tak jak i sam efekt pochodzący od elektronów ^{14}C . Przy licznikach gazowych poprawa jest tak powolna, że należałoby budować absurdalnie wielkie liczniki, ażeby w ogóle móc cokolwiek mierzyć. Tymczasem, jak wykazują rozważania statystyczne, błąd w określeniu wieku zależy niezwykle silnie od liczby impulsów „tła”.



Rys. 9. Wpływ liczby impulsów tła na wielkość błędów pomiaru. Krzywe ciągłe wykreślone są dla urządzenia dającego przy użyciu węgla „współczesnego” 12 imp./min, pochodzących z rozpadu ^{14}C . Krzywe przerywane dla urządzenia dającego w podobnych warunkach 2 imp./min. T — oznacza wiek badanej próbki. Błąd w określeniu wieku, przy pomiarze trwającym 50 godzin, odłożony na osi rzędnych. Wielkość „tła” na osi odciętych w skali logarytmicznej.

Na rys. 9 podane są krzywe określające wartość błędów (w latach) wynikających ze statystycznego charakteru pomiaru dla próbek różnego wieku rejestrowanych za pomocą dwóch różnych urządzeń. Jak widać z rysunku, nawet dla próbek współczesnych ($T = 0$) tło nie powinno posiadać wartości powyżej kilkudziesięciu imp./min., ale nawet i wtedy niedokładność oznaczenia wieku może wynosić kilkaset lat — co oczywiście dla próbek współczesnych jest absolutnie za dużo.

Tymczasem w urządzeniu wspomnianych wyżej rozmiarów, użytym w technice „s. w. c.” obserwuje się w warunkach laboratoryjnych aż

350 imp./min., a w technice „gazowej” ponad 1000 imp./min. Wspominaliśmy już, że impulsy te pochodzą albo od promieniowania zanieczyszczeń radioaktywnych oraz tzw. „składowej miękkiej” promieniowania kosmicznego, złożonej z szybkich elektronów i energicznych fotonów — i „składowej twardej” lub „przenikliwej” promieniowania kosmicznego, w skład której wchodzi przede wszystkim mezony. Promieniowanie zanieczyszczeń radioaktywnych oraz „składowa miękka” promieniowania kosmicznego może być łatwo zaabsorbowana przez zastosowanie dostatecznie grubej warstwy odpowiedniego absorbenta. I tak, otoczenie licznika warstwą ok. 20 cm żelaza pochłania ponad 99,8% promieniowania „miękkiego”, wskutek czego liczba impulsów „tła” spada w liczniku „s. w. c.” wyżej cytowanych rozmiarów do wartości ok. 125 imp./min. Dalsza wydajna eliminacja „tła” metodą powiększania „osłony materiałowej” jest niemożliwa. Rejestrowana w liczniku „składowa twarda” posiada ogromną przenikliwość i dostrzegalne zmniejszenie jej natężenia mogłoby nastąpić dopiero po zastosowaniu „osłony materiałowej” grubości rzędu kilkudziesięciu metrów. Dalsza eliminacja „tła” odbywa się poprzez zastosowanie tzw. „osłon antykoincydencyjnych” — składających się ze zwykłych liczników G. M., otaczających ze wszystkich stron licznik pomiarowy. Odpowiednie układy elektronowe pozwalają rejestrować tylko takie wyładowania licznika pomiarowego, którym nie towarzyszą równoczesne (w granicach jednej stutysięcznej części sekundy) wyładowania liczników osłony antykoincydencyjnej. Ponieważ każdy mezon przed przejściem przez licznik pomiarowy musi przelecieć przez któryś z liczników osłony i wywołać tam wyładowanie — rejestrowane są tylko albo elektrony ^{14}C , albo takie elektrony bądź inne cząstki jonizujące, których źródłem jest wnętrze licznika pomiarowego.

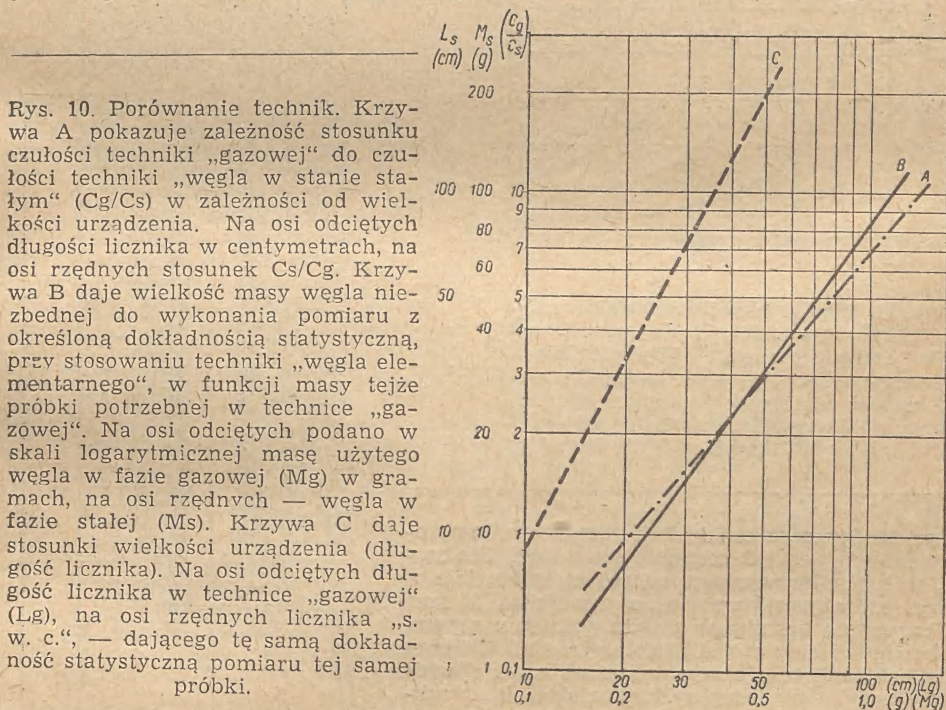
Zastosowanie dobrej osłony antykoincydencyjnej pozwala zmniejszyć liczbę rejestrowanych impulsów „tła” w liczniku wspomnianych rozmiarów do 12—5. Wielkość tego „tła reszkowego” pochodzi w przeważającej mierze (a być może i całkowicie) od zanieczyszczeń radioaktywnych materiału licznika albo materiału osłony. Zmniejszenie efektu zanieczyszczenia osłony może być dokonane przez stosowanie dalszego filtru w postaci np. warstwy wielokrotnie destylowanej rtęci; zmniejszenie zaś zanieczyszczeń materiału licznika — tylko przez bardzo troskliwą selekcję materiałów użytych do jego budowy. Najlepszy wynik, jaki zdołano dotychczas osiągnąć dla licznika omawianej wielkości, wynosi 2,0 imp./min. „tła”. Należy wspomnieć, że równie dobre wyniki można osiągnąć bez stosowania układów antykoincydencyjnych na dużych głębokościach pod ziemią (kopalnie), w miejscach wolnych od naturalnych pierwiastków promieniotwórczych.

Powróćmy jeszcze do sprawy kontroli pracy licznika w technice „gazowej” i ewentualnej eliminacji fluktuacji „tła”. Pomijając detale, kontrola taka może być w zasadzie przeprowadzona w ten sposób, że osłona antykoincydencyjna albo jej część, umieszczona podobnie jak licznik pomiarowy w niezmiennych, niemal identycznych z licznikiem pomiarowym warunkach geometrycznych, może służyć jako miernik fluktuacji „tła”. Rejestracja wszystkich impulsów licznika pomiarowego, na równi z „właściwymi” impulsami antykoincydencji licznik — osłona, może ponadto dać niezbędne informacje co do poprawności i powtarzalności pracy licznika w każdej fazie pomiaru.

Przy ocenie stosowanych technik metody radiowęglowej należy brać pod uwagę czynniki takie jak:

- rzetelność pracy detektora,
- rzetelność i pewność kontroli pracy licznika w czasie pomiaru, a w szczególności kontroli „tła”,
- czułość techniki,
- masa próbki niezbędnej do wykonania pomiaru z określoną dokładnością,
- pewność uniknięcia zanieczyszczeń radioaktywnych w czasie preparatyki chemicznej i przy wprowadzeniu próbki do licznika,
- pewność uniknięcia intarsji węgla innego pochodzenia do próbki,
- prostota obróbki chemicznej próbki,
- prostota konstrukcji licznika,
- prostota urządzeń i obsługi elektrotechnicznej,
- wielkość (koszt) aparatury dającej takie same wyniki.

Z wyżej wspomnianych względów technika „s. w. c.” ma wyraźną przewagę w punktach b oraz i. Ma też przewagę w punkcie a, ponieważ



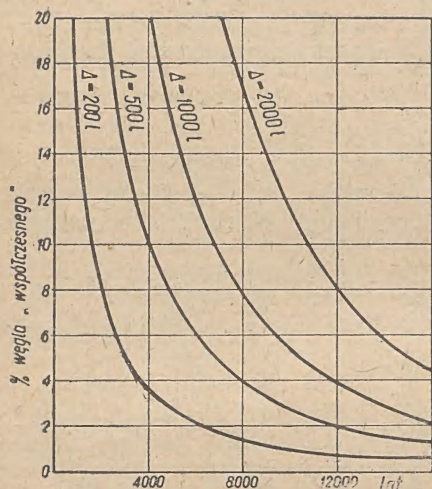
Rys. 10. Porównanie technik. Krzywa A pokazuje zależność stosunku czułości techniki „gazowej” do czułości techniki „węglowej” (C_g/C_s) w zależności od wielkości urządzenia. Na osi odciętych długości licznika w centymetrach, na osi rzędnych stosunek C_s/C_g . Krzywa B daje wielkość masy węgla niezbędnej do wykonania pomiaru z określoną dokładnością statystyczną, przy stosowaniu techniki „węglowej”, w funkcji masy tejże próbki potrzebnej w technice „gazowej”. Na osi odciętych podano w skali logarytmicznej masę użytego węgla w fazie gazowej (M_g) w gramach, na osi rzędnych — węgla w fazie stałej (M_s). Krzywa C daje stosunki wielkości urządzenia (długość licznika). Na osi odciętych długość licznika w technice „gazowej” (L_g), na osi rzędnych licznika „s. w. c.”, — dającego tę samą dokładność statystyczną pomiaru tej samej próbki.

własności liczników G. M. wypełnionych mieszkanką argonowo-alkoholową, stosowaną przy technice „s. w. c.”, są bardzo dobrze poznane. Natomiast liczniki „proporcjonalne”, używające gazów takich, jak CO_2 , C_2H_2 , CH_4 , są poznane znacznie słabiej i mogą być kapryśne. O ile chodzi o inne względy, to tutaj technika „gazowa” ma przewagę zdecydowaną, szczególnie przy większych urządzeniach.

Na rys. 10 podane są stosunki czułości technik, stosunki mas niezbędnych do wykonania określonego pomiaru oraz stosunki wielkości nie-

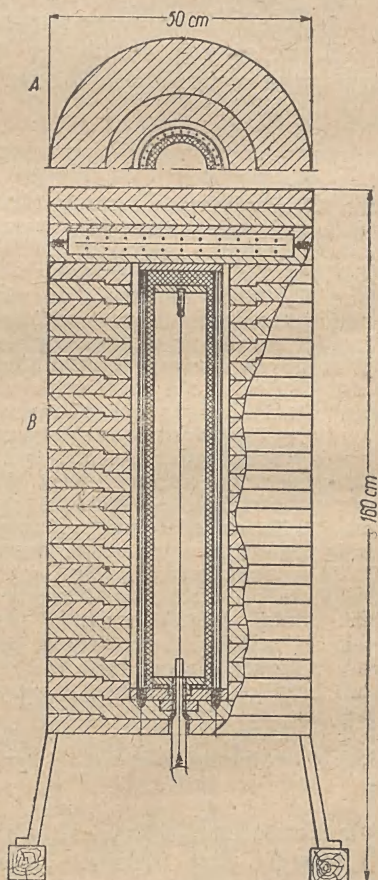
zbędnych aparatur dla wykonania określonego pomiaru. Warunki *g* i *h* są słabą stroną techniki „węgla elementarnego“. Chodzi tu o to, że preparatyka pasty węglowej i konieczność wprowadzenia jej do licznika stwarza bardzo sprzyjające warunki dla zanieczyszczenia atmosferycznym Rn i CO₂, a to z uwagi na bardzo silną zdolność absorpcyjną węgla elementarnego, otrzymywanego przez redukcję CO₂ za pomocą magnezu. Zanieczyszczenie radonem może być stosunkowo łatwo stwierdzone ze względu

na krótki okres połowicznego rozpadu tego pierwiastka ($T_{1/2} = 3,8$ dni), zanieczyszczenia natomiast atmosferycznym CO₂ wykryć w ogóle nie można. Intarsja węgla w tej postaci powoduje sfalszowanie wieku próbki.



Rys. 11. Błąd w określeniu wieku próbki przy wprowadzeniu do próbki węgla „współczesnego“. Wartość błęd oznaczono literą Δ; wiek badanej próbki na osi odciętych; zawartość procentowa węgla współczesnego na osi rzędnych.

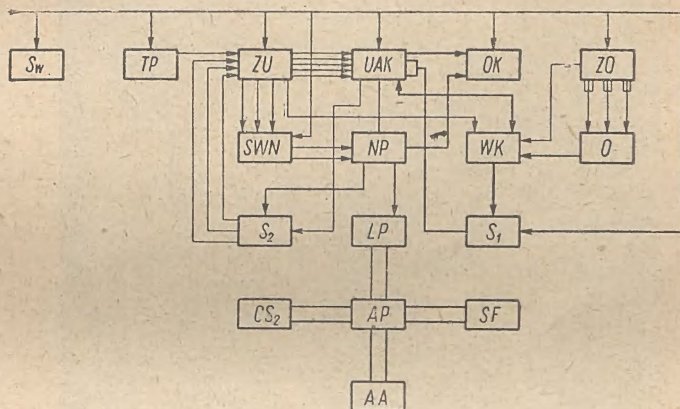
Rys. 12. Schemat konstrukcji urządzenia do chronologii metodą ¹⁴C techniką „gazową“. Stalowy licznik pomiarowy zanurzony jest całkowicie w rtęci, która tworzy warstwę o grubości ok. 15 mm. Utrzymanie licznika w stałym położeniu zapewnia odpowiednia mutra (u dołu rysunku). Od góry i z boków licznik otoczony jest układami liczników antykoincydencyjnych specjalnej konstrukcji. Całość mieści się w „beczce“ stalowej o grubości ścianek 18 cm. Wymienny od pomiaru do pomiaru gaz (CO₂) doprowadza się przewodem szklanym.



Wielkość wynikającego stąd błęd dla próbek różnego wieku i stopnia zanieczyszczenia atmosferycznym CO₂ podano na wykresach rys. 11.

W technikach „gazowych“ cała preparatyka może w zasadzie odbywać się wewnątrz aparatury próżniowej i intarsje wspomnianego typu w ogóle

w czasie obróbki chemicznej zachodzić nie mogą. Trzeba podkreślić, że niezależnie od stosowanej techniki i mniejszych lub większych jej przewag nad technikami konkurencyjnymi wszelkie urządzenia przeznaczone dla celów chronologii metodą ^{14}C są bardzo skomplikowane i duże. Dla ilustracji wielkości urządzenia montowanego obecnie w Gdańsku i stopnia jego komplikacji przytaczamy rys. 12, pokazujący schemat licznika pomiarowego i osłon materiałowej i licznikowej, na rys. 13 schemat blokowy urządzeń elektro- i radiotechnicznych, obsługujących aparaturę, na rys. 14 widok ogólny aparatury próżniowej dla spalań i oczyszczenia dwutlenku węgla stanowiącego wypełnienie licznika.

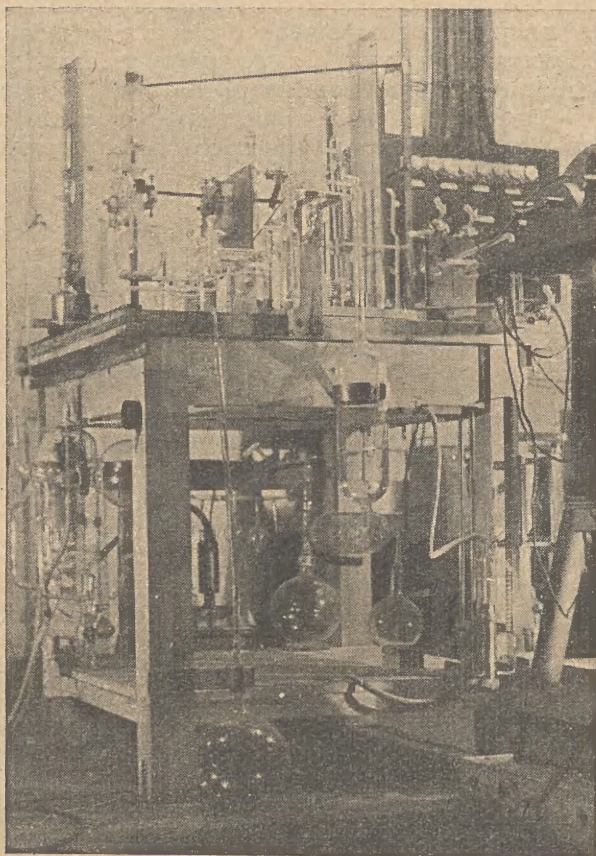


Rys. 13. Schemat blokowy zasilania liczników i potrójnej rejestracji impulsów.

S_w — oświetlenie aparatury; TP — transformator pierścieniowy; ZU — zasilacz wysokiego napięcia do 12 000 V; SWN — stabilizator wysokiego napięcia; S_2 — przelicznik (scaler) 1:64 dla rejestracji impulsów osłony antykoincydencyjnej; UAK — układ antykoincydencyjny i rejestrator liczby impulsów antykoincydencji licznik — osłona; NP — układ wygaszający wyładowania w liczniku pomiarowym; LP — licznik pomiarowy; OK — oscylograf katodowy; WK — wtórnik katodowy; S_1 — przelicznik 1:8 rejestrujący wszystkie wyładowania licznika pomiarowego; ZO — zasilacz osłony; O — zespół liczników osłony antykoincydencyjnej; CS_2 , AP, EF, AA — części aparatury próżniowej. Liniami pogrubionymi pokazano bieg impulsów w licznikach; linie podwójne — części szklane.

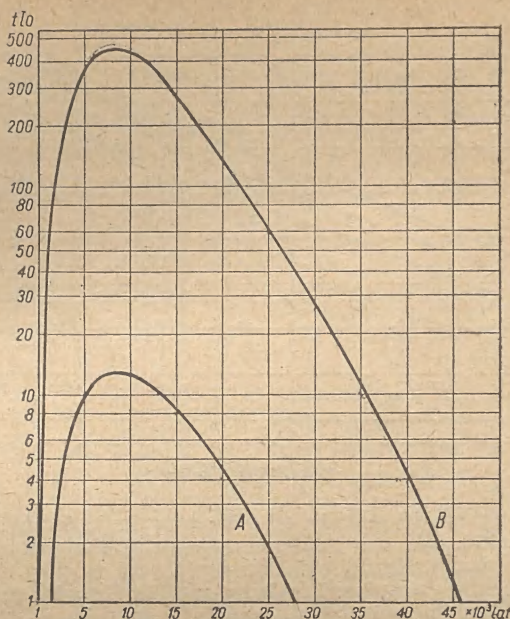
Ze względu na eksponencjalny z wiekiem próbki zanik promieniotwórczości ^{14}C — zasięg „metody radiowęglowej” ogranicza się do kilkudziesięciu tysięcy lat. Na zasięg ten wpływają czynniki takie, jak wielkość urządzenia, której miarą może być liczba rozpadów ^{14}C rejestrowanych w aparaturze, pochodzących od węgla „współczesnego”, efektywność redukcji szkodliwego „tła”, którego miarą jest liczba impulsów rejestrowanych przy wprowadzeniu do urządzenia bardzo starego węgla (np. z antracytu, węgla kamiennego itp.), czas trwania pomiaru — zmniejszający błąd statystyczny — i inne czynniki.

Przyjmując za zasięg metody taki wiek, przy którym błąd wynikający ze statystycznego charakteru notowań liczby impulsów wynosi 10% wieku określonego, otrzymuje się „krzywe zasięgu“ pokazane na rys. 15.

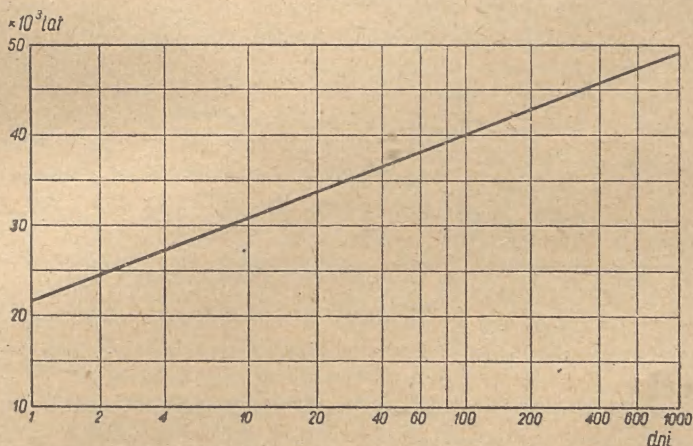


Rys. 14. Ogólny widok aparatury próżniowej.

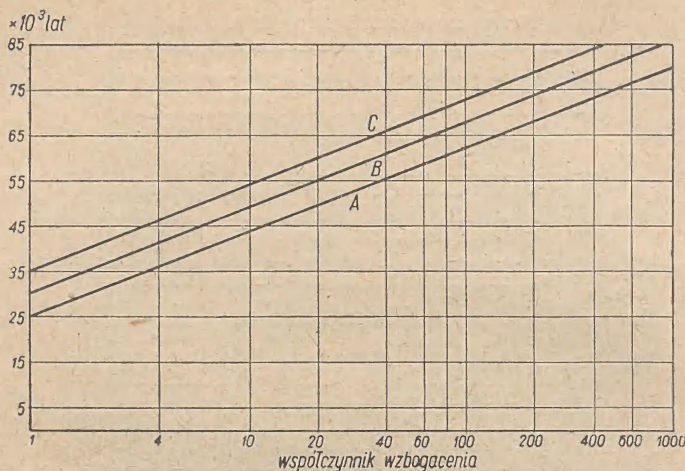
Krzywe te poprowadzone są dla dwóch urządzeń, w których liczby impulsów dawanych przez próbkę „węgla współczesnego“ wynoszą odpowiednio 2 imp./min. i 18 imp./min. Czas pomiaru określono na 50 godzin. Jak widać, dla każdej wartości „tła“ otrzymuje się dwie wartości na zasięg. Większa daje górną granicę wieku, mniejsza — dolną. (Chodzi tu oczywiście o to, że przy zastosowanym sposobie definicji zasięgu — wieku próbki współczesnej ($T = 0$) w ogóle z tą dokładnością określić nie można). Powiększanie czasu obserwacji wpływa bardzo nieznacznie na przesunięcie zasięgu. Na rys. 16 pokazana jest zależność zasięgu metody od czasu obserwacji dla urządzenia, w którym liczba impulsów „tła“ i liczba rozpadów ^{14}C „węgla współczesnego“ jest równa i wynosi 5 imp./min. Dość znaczne rozszerzenie metody byłoby możliwe przy zastosowaniu metody wzbogacania izotopowego. Wykres przedstawiony na rys. 17 pokazuje, że przy warunkach urządzenia: 5 imp./min. — „tło“, 5 imp./min. — „węgiel



Rys. 15 Zasięg metody ^{14}C przy zastosowaniu urządzeń dających dla węgla „współczesnego“ 2 imp./min. — krzywa A i 12 imp./min. — krzywa B. Zasięg odłożony w tysiącach lat na osi odciętych zależy od wielkości „tł“. Liczba impulsów „tł“ odłożona na osi rzędnych w skali logarytmicznej. Zakłada się, że pomiar „tł“ trwa 200 godzin, pomiar „tł + ^{14}C “ 50 godzin. Jako zasięg określa się taki wiek, przy którym błąd w latach, wynikający z błędu statystycznego liczby zarejestrowanych impulsów, wynosi 10% określonego wieku.



Rys. 16. Wpływ czasu trwania pomiaru (na osi odciętych) na zasięg metody. Zasięg odłożony na osi rzędnych w tysiącach lat. Krzywa poprowadzona jest przy założeniu: „tł“ — 5 imp./min., węgiel „współczesny“ — 5 rozpadów ^{14}C /min.



Rys. 17. Zależność metody od wzbogacenia izotopowego badanej próbki. Na osi odciętych współczynnik wzbogacenia w skali logarytmicznej. Na osi rzędnych granica zasięgu. Warunki pracy urządzenia jak na rys. 16. Krzywa A — odpowiada pomiarowi trwającemu 2 dni. B — tydzień, C — miesiąc.

współczesny“ zasięg metody można by przy 1000-krotnym wzbogaceniu przesunąć do ok. 100 000 lat. Ograniczeniem tego sposobu przesuwania zasięgu byłoby, poza kosztownością procesu wzbogacania, po prostu ograniczenie materiałowe: przy metodzie „s. w. c.“ — należałoby „przerobić“ nie mniej niż 30—50 kilogramów węgla „surowca“, ażeby otrzymać dostateczną ilość wzbogaconego 1000-krotnie w izotop ^{14}C węgla, niezbędnego do wykonania pomiaru, tj. ok. 20 gramów.

Adam Trembecki

DROGI POSTĘPU W DZIEDZINIE OBLICZANIA ZASOBÓW ZŁÓŻ SUROWCÓW MINERALNYCH

Karol Bohdanowicz w przedmowie do pośmiertnego wydania pracy Henryka Czeczotta pt. *Szacowanie złóż* (1921 — 1930) stwierdził, że praca ta nie miała precedensu w naszej literaturze technicznej. W literaturze światowej w tym czasie (1921) obok prac Rickarda i Hoovera można było znaleźć na ten temat jedynie luźne artykuły rozproszone w czasopismach specjalnych.

H. Czeczott pracę swą traktował jako wstęp do ogólnych rozważań podstawowych, niezbędnych zarówno dla inżyniera górniczego, jak i geologa zajmującego się zagadnieniami surowcowymi. Znajomość nakreślonej w tej pracy problematyki leży u podstaw opanowania metody właściwego wykorzystywania surowców mineralnych, jak również jest podstawą realnie ujętych studiów z zakresu ekonomiki i organizacji kopalń oraz właściwego podejścia do zagadnienia urządzeń górniczych.

O wartości tego dzieła może świadczyć to, że w pośmiertnym jego wydaniu brali udział uczeni tej miary, co K. Bohdanowicz, W. Budryk, S. Czarnocki, C. Kuźniar, nie licząc ich współpracowników. Praca ta o przeszło ćwierć wieku wyprzedziła obecnie w naszym kraju obserwowany bujny rozwój wiedzy, związany z tą dziedziną nauki technicznej. Daje to obiektywny probierz wartości tego dzieła.

Szacowanie złóż zawiera syntezę wykładów, jakie wygłosił H. Czeczott w latach 1921 — 1922 na wydziale geologiczno-poszukiwawczym Instytutu Górniczego w Leningradzie. Czytając obecnie tę syntezę wykładów możemy podziwiać dalekowzroczność naszkicowanych w nich koncepcji technicznych, które dopiero dziś nabrały pełnej aktualności i stały się podstawą obecnego poglądu na omawiane zagadnienia.

W pracy tej przejawiają się dwa nurty: teoretyczny i praktyczny. Z problemów teoretycznych znajdujemy w niej geometryczną interpretację średniej arytmetycznej użytej do obliczenia ilości i jakości złoża. Zawiera ona dalej ciekawe zastosowanie geometrii do obliczania ilości i jakości zasobów. Między innymi ciekawe jest w tej pracy obliczenie zasobów w obrębie bloków geologicznych przez zastosowanie metody pryzmatoidów. Wielce charakterystyczną dla bystrości umysłu H. Czeczotta jest geometryczna interpretacja średniej arytmetycznej ważonej, sposobem obliczania zasobów ogłoszonym przez Bołdyriewa, co pojęciowo nie jest zagadnieniem prostym. O trudności tej interpretacji niech świadczy fakt, że niektórzy z współczesnych autorów, interpretując metodę Bołdyriewa w odmienny sposób, napotykają na trudności logiczne, z których wnoszą o rzekomej jej niedoskonałości.

Wymienione wyżej problemy rozwiązał H. C z e c z o t t z e zdumiewającą prostotą i ścisłością. Podane w jego pracy teoretyczne podstawy dla metodyki pobierania i pomniejszania prób, mimo znacznego postępu, jaki się w tej dziedzinie dokonał (np. prace W. B u d r y k a), zachowują dzisiaj zupełną aktualność. Duże zainteresowanie budzą jego rozważania z zakresu metodyki pobierania próby generalnej. Jest to oryginalny temat rozwiązyany przez H. C z e c z o t t a. W dzisiejszych pracach zmierzających do ustalania zasobów surowców mineralnych kładzie się u nas jeszcze zbyt mały nacisk na pobieranie próby generalnej, niezbędnego warunku przeprowadzania prób technicznych.

Obok tego, zaledwie w grubych rysach naszkicowanego nurtu teoretycznego, będącego punktem wyjściowym wielu późniejszych prac innych autorów, przejawia się w *Szacowaniu złóż* nurt praktyczny, będący nie tylko doskonałą ilustracją ogólnych rozważań, lecz również w sposób ciekawy i realistyczny charakteryzujący stosunki ekonomiczne, jakie w tym czasie panowały w przemyśle górniczym, a jakie niewątpliwie dochowały się do chwili obecnej w krajach, gdzie rządzi kapitał.

Szacowanie złóż w ujęciu H. C z e c z o t t a jest znacznie silniej związane z górnictwem niż z geologią. Znamienne jest jego określenie, że „zagadnienia złożowe w wielu przypadkach sprowadzają się do problemów geometrycznych i arytmetycznych“, rozwiązywanych jego zdaniem „w wielu przypadkach przez górników“, którzy w tym czasie zazwyczaj „jedynie w trudnych przypadkach nie mogli się obejść bez porady geologów“. W obecnej nomenklaturze typ górnika zajmującego się problemami geologicznymi lub też geologa zajmującego się problemami górnictwem nazywamy geologiem surowcowym lub technologiem złożowym.

Cechą charakterystyczną szacowania złóż w ujęciu H. C z e c z o t t a było ściśle zespolenie poszukiwań z górnictwem i to podziemnym. C z e c z o t t interesował się przede wszystkim tymi rodzajami poszukiwań, jakie wynikały z bieżącej obsługi istniejących już kopalń. W pracy jego znajdujemy wiele krytycznych wypowiedzi na temat wiarygodności informacji o złożu uzyskanych z otworów poszukiwawczych, których — jak wynika z jego wypowiedzi — nie był entuzjastą. Obecnie, w wyniku ewolucji pojęć dotyczących sposobu badania złóż, na pierwszy plan w tematyce ustalania zasobów wysuwa się ich określanie na podstawie przeprowadzonych specjalnie dla celów poszukiwawczych robót poszukiwawczych, które zazwyczaj wykonywane są sposobem wiertniczym i które obejmują znaczne obszary badanego złoża.

Ewolucja ta wpłynęła w dużej mierze na silny postęp w technice wierceń. Postęp ten dotyczy nie tylko udoskonalenia aparatury i sprzętu wiertniczego, co wpłynęło na zwiększenie uzysku rdzenia, lecz i wprowadzenia metod karotażu wykonanych i zarurowanych już otworów wiertniczych, w wyniku czego uzyskuje się możliwość pośredniego ustalenia i kontroli miąższości przewierconych otworami wiertniczymi warstw. Ten postęp w technice wiertniczej, jaki zaznaczył się od czasu C z e c z o t t a, sprawił, że wierceńca są obecnie uważane za pełnowartościowy materiał dowodowy.

C z e c z o t t w swej pracy podkreślał ścisły związek szacowania złóż z górnictwem, zaznaczając się między innymi w tym, że roboty poszukiwawcze przeprowadzane wyrobiskami podziemnymi ustawicznie przechodzą w wyrobiska przygotowawcze przyszłej eksploatacji, co w swej kon-

sekwencji prowadzi do stałej obsługi złożowej kopalń. Ponadto podkreśla rolę obsługi geologicznej, jaką odgrywa ona w zapewnieniu stałości wydobywania kopalń. Zachowanie stałości wydobywania kopalń nie zawsze jest łatwe, co jest szczególnie widoczne np. w przypadku występowania złoża w formie żyłowej o różnej koncentracji tych żył na poszczególnych poziomach wydobywczych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że obecnie w dobie gospodarki planowej wypowiedzi C z e c z o t t a na temat geologicznej obsługi kopalń zachowały swą całkowitą aktualność.

Tok rozumowania H. C z e c z o t t a charakteryzuje dążenie do konsekwentnego sprowadzania problemów złożowych do zagadnień geometrycznych. C z e c z o t t a można w naszej literaturze technicznej uważać za prekursora geometrii złożowej. W *Szacowaniu złóż* ustawicznie podkreśla on, że obliczenie zasobów dokonuje się albo z wyprzedzeniem robót eksploatacyjnych robotami poszukiwawczymi, lub też jest wynikiem systematycznego stwierdzania własności złoża na większej przestrzeni.

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z operatywnym określeniem zasobów prowadzonych pod kątem widzenia bieżącej eksploatacji. W drugim przypadku — z ustalaniem zasobów w obecnym tego słowa znaczeniu, przy użyciu specjalnie w celach poszukiwawczych przeprowadzanych robót górniczo-wiertniczych.

Miarą natężenia prac górniczo-poszukiwawczych prowadzonych dla celu obsługi bieżącej eksploatacji jest stopień wyprzedzenia robotami poszukiwawczo-przygotowawczymi robót eksploatacyjnych. Miarą natężenia prac górniczo-poszukiwawczych w przypadku ustalania zasobów surowców mineralnych jest intensywność robót wiertniczo-górnich, których obmiar zależy od obszaru poszukiwań, jak i od gęstości sieci poszukiwawczej.

W obu przypadkach poznajemy bryłę złoża; w pierwszym — sukcesywnie wraz z wydobywaniem, w drugim — od razu na większym obszarze złoża. W swej interpretacji geometrycznej używa C z e c z o t t określenia bryły kruszcowej jako bryły, którą charakteryzuje zarówno objętość, jak i jakość złoża. Podkreśla on praktyczne znaczenie konstrukcji geometrycznych, które jest szczególnie wyraźne przy znajdowaniu części pozauskokowych złóż. Konstrukcje te dają nieocenione usługi górnictwu podziemnemu.

Konsekwencją tej geometrycznej interpretacji złóż surowców mineralnych jest zwracanie uwagi na wiarygodność materiałów wyjściowych, a w szczególności na konieczność szczegółowego podbudowania przez miernictwo zagadnień złożowych. Podkreśla on w swej pracy wielokrotnie, że w wielu przypadkach miernicy, którzy latami śledzą bryłę złoża, niejednokrotnie trafnie kierują pracami poszukiwawczymi na kopalniach.

Metody geometryczne, których dużym zwolennikiem był H. C z e c z o t t, mają jednak specyficzne zabarwienie, nie sprowadzają się one bowiem do zwykłych zagadnień geometrycznych. Bryle złoża C z e c z o t t przypisuje w jej poszczególnych punktach jakość, która w równym stopniu jak objętość całej bryły charakteryzuje zagadnienie złożowe. Tak na przykład zaимuje się on zagadnieniem rozmieszczenia mineralizacji w geometrycznej bryle złoża. Ta interpretacja bryły złoża nie może być sprowadzona do zwykłej bryły geometrycznej, przynajmniej w przestrzeni trójwymiarowej.

Ciekawą z podanych przez C z e c z o t t a metod obliczania zasobów jest metoda Potttereau i Levata, przy której oblicza się zasoby na podstawie linii jednakowej rentowności eksploatacji złoża. Metoda ta w bardzo dużym stopniu jednoczy rozważania złożowe z rozważaniami ekonomicznymi. Stała się ona punktem wyjściowym innych prac, szczególnie z zakresu eksploatacji selektywnej (A. Trembecki). Omawiana metoda nadaje się przede wszystkim do wyznaczania zasobów na pograniczu rentowności, czyli w przypadkach wątpliwych, czy mamy do czynienia jeszcze z zasobami bilansowymi czy już z pozabilansowymi w przypadku, jeżeli kryterium bilansowości zależy od ekonomiki kosztów eksploatacji.

W *Szacowaniu złóż* H. C z e c z o t t a znajdujemy już sprecyzowany pogląd podziału zasobów na zasoby rzeczywiste, prawdopodobne i przypuszczalne, w zależności od tego, czy zasoby te są udostępnione z czterech stron, z dwóch stron czy z jednej strony wyrobiskami górniczymi, co jest prototypem obecnie obowiązujących kategorii stopnia poznania zasobów złóż mineralnych.

Również znamieną jest dyskusja, którą przytacza C z e c z o t t na temat uwzględniania bogatych prób w charakterystyce średniej jakości złoża. Jest on zwolennikiem eliminacji prób bogatych (jako rzadkich i przypadkowych) przy obliczaniu średniej jakości złoża metodą średniej arytmetycznej. Sprawa ta będzie w dalszej części opracowania bardziej szczegółowo omówiona.

W Polsce po śmierci H. C z e c z o t t a do lat ostatnich prace z dziedziny szacowania złóż nie były kontynuowane na większą skalę. W Leningradzie, z którego to ośrodka wyszedł C z e c z o t t, zagadnienie metodyki szacowania złóż rozwijało się w dalszym ciągu. Jak można wywnioskować z dostępnej nam literatury, główny rozwój metod obliczeń zasobów przypada na lata 1914 — 1936. Okres ten zapoczątkowany został przez B o ł d y r i e w a zaproponowaniem metody obliczania zasobów według wieloboków. W następnej kolejności rozwijała się metoda izolunii i warstwic, w której rozpowszechnianiu brali udział S z k l a r s k i, S o b o l e w s k i i T r u s z k o w. Najpóźniej (z geometrycznych metod obliczania zasobów) została ogłoszona przez Z o ł o t a r i e w a metoda profili nierównoległych. W tym to okresie ukształtowały się klasyczne geometryczne metody obliczania zasobów. Zostały one w roku 1940 zebrane w syntetycznej pracy K r e i t e r a i są cytowane w ostatniej pracy S m i r n o w a (1950). Z dokładnego przestudiowania pracy K r e i t e r a można wnosić, że w tym czasie powstała pierwsza próba zastosowania rozważań statystyki matematycznej do zagadnień związanych z obliczaniem zasobów.

Jedną z pierwszych prac, stwarzającą podatny grunt pod rozwój metod statystycznych ustalania zasobów, była systematyka złóż rudnych przeprowadzona przez C z e c z o t t a pod kątem widzenia równomierności mineralizacji. Potrzeba stworzenia takiej systematyki wynikała z wzoru Czeczotta — Richarda i z wzoru Demondi — Holferdahla na wielkość miarodajnej próby, w których to wzorach występujące współczynniki określające były tabelą. W tabeli tej C z e c z o t t złoża rudne podzielił na sześć typów. Przy podziale tym posłużył się cechami jakościowymi. U K r e i t e r a spotykamy już wzmiankę, że na terenie ZSRR (1940) istnieje oficjalny podział złóż według pięciu typów, określanych w sposób ilościowy współczynnikiem zmienności. Podział ten przeprowadzono dla praktyki poszu-

kiwawczej, głównie dla określenia minimalnej odległości bruzd niezbędnych do pełnego scharakteryzowania jakości złoża.

Wprowadzenie tej klasyfikacji zasobów świadczy o wykorzystaniu współczynnika zmienności, podstawowej cechy zbiorczej stosowanej w rozważaniach z zakresu statystyki matematycznej w rozważaniach złożowych. Przeprowadzenie tego podziału było wynikiem obliczenia współczynnika zmienności dla dużej liczby złóż rudnych oraz stwierdzenia współzależności pomiędzy odległością bruzd poszukiwawczych a współczynnikiem zmienności złóż. Zagadnienie to nosi w sobie cechy normalizacji, opartej na zależności pomiędzy naturalną zmiennością a gęstością niezbędnych informacji o złożu, koniecznych dla jego pełnej i wiarogodnej charakterystyki.

Niezależnie od tych empirycznych usiłowań normalizacji czynności związanych z szacowaniem złóż, opartych o współczynnik zmienności, znajdujemy u Kreitera wzmiankę o pierwszych próbach obiektywnego (czyli od umowy niezależnego) określania gęstości sieci poszukiwawczych. Próba ta polegała na obliczaniu liczby punktów poszukiwawczych na badanym obszarze złoża przy zastosowaniu współczynnika zmienności złoża. Rozumowanie to prowadzone było prymitywną techniką rachunkową. Operowało ono wielce uproszczonymi pojęciami i wzorami, które obecnie można podciągnąć pod miano teorii statystyki matematycznej. Mimo że rozważania te były bardzo bliskie trafnego rozwiązania, nie doprowadziły one w praktyce do celu, gdyż w upraszczaniu podstawowych pojęć posunięto się zbyt daleko, nie rozgraniczając pojęć globalnej i jednostkowej dokładności charakterystyki jakości złoża. Ta nieudała pierwsza próba zastosowania zasad teorii statystyki do zagadnień ustalania gęstości sieci poszukiwawczej wstrzymała na wiele lat dalsze prace z dziedziny zastosowania teorii statystyki matematycznej do rozwiązania tego problemu, aczkolwiek teoria statystyki matematycznej zastosowana była z powodzeniem do innych zagadnień związanych z zakresem metodyki obliczania zasobów, o czym będzie jeszcze mowa.

Bezpośrednią przyczyną zawikłania się w trudnościach pojęciowych przy stosowaniu zasad teorii statystyki matematycznej w zagadnieniach złożowych była dwuznaczność w interpretacji oceny dokładności ustalania obliczeń zasobów. Dwuznaczność ta była wynikiem nierozgraniczania pomiędzy globalną a jednostkową charakterystyką jakości złoża. Globalna charakterystyka jakości i ilości złoża dotyczy całego obszaru poszukiwawczego, to jest takiego, którego zasoby zabezpieczają zamierzenia inwestycyjne w okresie amortyzacyjnym. Wycinkowa charakterystyka jakości i ilości złoża dotyczy jednostki powierzchni złoża, np. powierzchni hektara, która to powierzchnia jest niezależna od globalnej powierzchni opracowywanego złoża. Jednostką powierzchni, dla której określa się wycinkową charakterystykę złoża, może być również blok eksploatacyjny i wówczas określenie dokładności jakościowej i ilościowej charakterystyki złoża znajduje swą interpretację w operatywnym sporządzaniu górniczego planu wydobycia kopalni.

Jest rzeczą wiadomą i przez nikogo nie kwestionowaną, że dokładność obliczeń zasobów wzrasta ze wzrostem liczby wierceń. Wzrost liczby wierceń w obszarze poszukiwawczym możemy interpretować dwojako. Pierwsza interpretacja dotyczy niezmiennego globalnego obszaru poszukiwań

i wówczas w wyniku wykonywania dodatkowych wierceń zagęszczamy istniejącą sieć poszukiwawczą. W tym przypadku otrzymujemy wzrost zarówno globalnej, jak i wycinkowej charakterystyki jakości złoża.

W drugim przypadku wzrost liczby wierceń na badanym obszarze polega na przyłączeniu do pierwotnego obszaru poszukiwań obszarów sąsiednich, przy zachowaniu stałej gęstości punktów poszukiwawczych. Wówczas nie zmienia się jednostkowa gęstość punktów poszukiwawczych, a zatem nie zmienia się dokładność wycinkowej charakterystyki złoża; jednak ze wzrostem badanego obszaru wzrastają nasze globalne informacje o złożu przez badanie jego dalszych obszarów, wzrasta też dokładność naszej globalnej charakterystyki złoża, pojętego jako całość, mimo że nie zmienia się dokładność wycinkowej charakterystyki złoża.

W obu tych zagadnieniach do problemu ustalania dokładności obliczania zasobów musimy podejść odmiennie, by uniknąć zasadniczych nieporozumień. W wyniku braku tego subtelnego rozgraniczenia dokładności ustalania zasobów powstały nieporozumienia, które doprowadziły do pozornej sprzeczności, co interpretowano jako niedokładność metod statystyki matematycznej w zastosowaniu do zagadnień złożonych.

Na tę trudność pojęciową słusznie zwrócił uwagę Sołowiow. Przejdźmy w skrócie tok myśli Sołowiowa. Jeżeli wycinkowa zmienność złoża w odniesieniu do jednostki powierzchni złoża nie wykazuje większych wahań i nie obserwujemy jednocześnie wyraźniejszego zróżnicowania w rozmieszczeniu jakości złoża na całym badanym obszarze, to wówczas zmienność w odniesieniu do globalnej charakterystyki złoża zazwyczaj tylko w nieznacznym stopniu wzrasta ze wzrostem globalnego obszaru złoża. Obliczenie gęstości punktów poszukiwawczych opiera się na zmienności złoża. Przy tym założeniu okazuje się, że ze wzrostem tej zmienności wzrasta liczba punktów poszukiwawczych na badanym obszarze złoża. W naszym przypadku (jeśli wzrost zmienności złoża nie nadąża za wzrostem badanego obszaru) wyznaczone sieci poszukiwawcze z warunku tej samej globalnej dokładności charakterystyki złoża (ze wzrostem badanego obszaru) będą mogły ulegać w pewnych przypadkach rozrzedzeniu. Rzecz jasna, że wobec nierozróżniania pojęć globalnej i wycinkowej charakterystyki złoża tego rodzaju wniosek równał się sprowadzeniu metody obliczania gęstości sieci poszukiwawczych na podstawie zmienności złoża do absurdu. Z tego toku rozumowania Sołowiow wyciągnął wniosek, że liczba punktów poszukiwawczych, obliczonych przy zastosowaniu metod statystycznych, nie zależy zazwyczaj lub zależy tylko w nieznacznym stopniu od wielkości obszaru, co stało się główną przyczyną zniechęcenia w stosowaniu metod statystyki matematycznej przy wyznaczaniu gęstości sieci poszukiwawczej.

W świetle obecnie posiadanych wiadomości z metodyki ustalania zasobów rozwiązanie tego paradoksu nie napotyka na trudności, lecz w owym czasie zahamowało zastosowanie zasad statystyki matematycznej w metodzie ustalania zasobów na wiele lat.

Ze ścisłego rozgraniczenia pomiędzy globalną a wycinkową charakterystyką jakości złoża możemy wyciągnąć bardzo ciekawe wnioski. Przy projektowaniu gęstości sieci poszukiwawczej możemy stosować zarówno kryterium globalnej, jak i kryterium wycinkowej charakterystyki złoża. Kryterium globalnej charakterystyki złoża stosuje się z powodzeniem, gdy

eksploatacja prowadzona jest sposobem wydobywania masowego, to jest wydobywania minerału użytecznego w takiej kolejności, w jakiej on się pojawia w złożu, bez dostosowywania wydobywania do zmiennej jakości złoża.

W tym przypadku dostateczne dla praktyki zabezpieczenie okresu amortyzacji ruchu zakładu górniczego uzyskujemy przy nieznacznej dokładności wycinkowej charakterystyki złoża. W miarę bowiem eksploatacji przekonujemy się wprawdzie, że w poszczególnych wycinkach złoża występują dość duże niezgodności z naszą charakterystyką, jednak niezgodności te mają charakter w jednym przypadku niedoceniania wielkości złoża, w innym — przeceniania jego wielkości. Noszą one zatem charakter odchyłań przypadkowych i w całym obszarze eksploatacyjnym wyrównują się według zasady dużych liczb. Ponieważ charakterystyka wycinkowa złoża w przypadkach eksploatacji masowej nie ma istotnego wpływu na sposób i rozmiar eksploatacji, przeto w przypadkach eksploatacji masowej możemy się zadowolić małym stopniem dokładności wycinkowej charakterystyki złoża, byleby globalna charakterystyka złoża była wykonana z należytą dla praktyki dokładnością. Tego rodzaju rozwiązanie podyktowane jest względami ekonomicznymi, a mianowicie dążeniem, by koszt poszukiwań w żadnym wypadku nie przekraczał praktycznej wartości informacji o złożu, uzyskanych z tych poszukiwań.

Odmienne rzecz przedstawia się przy eksploatacji selektywnej surowców mineralnych, to jest takiej eksploatacji, która prowadzona jest pod kątem widzenia zagwarantowania stałej jakości urobku, a zatem w przypadku eksploatacji złoża o zróżnicowanej jakości konieczne jest określanie a priori stosunku, w jakim poszczególne części złoża będą eksploatowane. Określenie to następuje ze znajomości wycinkowej charakterystyki jakości złoża, która powinna być dostatecznie dokładna, by można było na jej podstawie układać operatywne plany wydobywania. W tym przypadku, jeśli surowiec mineralny będzie wydobywany sposobem eksploatacji selektywnej, to wówczas dokładność poszukiwań musi być większa niż przy eksploatacji masowej. Projektowanie gęstości sieci poszukiwawczej dla potrzeb eksploatacji selektywnej wykonujemy z warunku zachowania żądanej dokładności wycinkowej charakterystyki złoża.

Z punktu widzenia ekonomiki kosztów poszukiwań projektowanie gęstości sieci poszukiwawczej dla potrzeb eksploatacji masowej powinno się opierać na dostosowaniu się do żądanej globalnej dokładności charakterystyki złoża na całym badanym obszarze; projektowanie zaś gęstości sieci poszukiwawczej dla potrzeb eksploatacji selektywnej powinno opierać się na dostosowaniu do żądanej dokładności wycinkowej charakterystyki złoża odniesionej do poszczególnych elementów tego złoża. Tak więc dla potrzeb eksploatacji selektywnej uzasadnione jest dokładniejsze stwierdzenie złoża, co wydaje się być wnioskiem zupełnie oczywistym.

Wyżej wymienione rozwiązanie paradoksu S o ł a w i e w a jest wynikiem ostatnich prac autora i usuwa zaporę w stosowaniu metod statystyki matematycznej dla obliczania gęstości sieci poszukiwawczej prowadzonej dla celów ustalania zasobów surowców mineralnych. Mimo tych trudności w stosowaniu metod teorii statystyki matematycznej metody te zaczęły wnikać do metodyki zasobów dla rozwiązywania pewnych wybranych problemów i, jak to wynika z pracy S m i r n o w a (1950), stosowane były przy badaniu korelacji pomiędzy analizami bieżącymi wykonywanymi dla

potrzeb ustalania zasobów a analizami kontrolnymi. Celem badania współzależności pomiędzy tymi rodzajami analiz było badanie dokładności pracy laboratoriów dla ustalania rzetelności i wiarygodności materiałów wyjściowych oraz dla znalezienia współczynników przeliczeniowych pomiędzy uproszczonymi analizami wskaźnikowymi i analizami pełnymi, dla korygowania danych wyjściowych.

Drugim bardzo ciekawym zastosowaniem problematyki statystyki matematycznej do zagadnień złożowych było zagadnienie wyboru odpowiedniego estymatora dla jakościowej charakterystyki złoza. Zagadnienie to zostało sformułowane przez T r e s k o t t a jako zagadnienie prób nadmiernie bogatych. Istotą zagadnienia T r e s k o t t a jest szukanie estymatora, który by z większą dokładnością niż średnia arytmetyczna charakteryzował jakość złoza w przypadku występowania prób wyjątkowo bogatych. Próby wyjątkowo bogate można w języku statystyki matematycznej nazywać próbami sporadycznymi. W empiryce poszukiwawczej od dawna zauważono, że średnia arytmetyczna nie jest odpowiednia dla charakteryzowania jakości złóż, w których występują próby wyjątkowo bogate. T r e s k o t t proponuje wykonywać charakteryzowanie takich prób przy użyciu krzywej częstości, która jest podstawą dla rozważań z zakresu wielu problemów statystyki matematycznej. Ponieważ operowanie tego rodzaju krzywą jest w praktyce trudne, przeto dla uproszczenia postępowania proponuje on zamiast średniej arytmetycznej stosować średnią geometryczną, która, jak wynika z najnowszej pracy S i c h e l a, jest lepiej dostosowana do badania złóż kruszców o próbach wyjątkowo bogatych. W pracy S i c h e l a rozwinęta jest teoria średniej geometrycznej, która przez prostą transpozycję przechodzi z od dawna opracowanego rozkładu normalnego (Gaussa) do rozkładu lognormalnego.

Własności rozkładu normalnego zostały już tak dalece opracowane, że podano dla tego rozkładu tablice, za pomocą których można obliczyć własności średniej arytmetycznej dla dostatecznie dużej liczby spostrzeżeń. Przy małej liczbie spostrzeżeń średnią arytmetyczną można badać rozkładem Gosseta (Studneta).

W pracy S i c h e l a podane są własności rozkładu lognormalnego, które mogą być wykorzystane przy badaniu średniej geometrycznej. Zarejestrowany u S m i r n o w a problem T r e s k o t t a, dotyczący badania prób wyjątkowo bogatych, znalazł żywy oddźwięk w literaturze światowej i obecnie jest już w dużej mierze rozwiązany od strony teoretycznej i przygotowany do przeprowadzenia prób praktycznych nad tym zagadnieniem.

Problem wyjątkowo bogatych prób u S m i r n o w a rozwiązany został metodami empiryczno-umownymi przez zachowanie jako estymatora średniej arytmetycznej po odrzuceniu przy jej obliczaniu wartości nadmiernie bogatych jako wartości rzadkich i nietypowych. Uwzględnienie wpływu tych odrzuconych wartości dla obliczania średniej arytmetycznej następuje drogą dodatkowych umów. Wprowadzenie w praktyce poszukiwawczej tego empiryczno-umownego postępowania nie jest wcale proste, wymaga bowiem określenia w sposób ścisły, co rozumie się przez próbę wyjątkowo bogatą, czyli podanie kryterium odróżniającego próby wyjątkowo bogate od prób mniej bogatych, oraz wymaga wykonania wielu pracochłonnych czynności fizycznych dla oddzielenia prób wyjątkowo bogatych. Praktyka wykaże, co bardziej będzie się opłacało: zwiększenie pra-

cochłonności operacji fizycznych przy stosowaniu średniej arytmetycznej dla charakterystyki prób wyjątkowo bogatych, czy uproszczenie prac fizycznych przy zastosowaniu średniej geometrycznej.

Dla znalezienia obiektywnego kryterium rozdziału pomiędzy próbami wyjątkowo bogatymi a próbami zwykłymi, zastosował P r o k o i e w krzywą składu ziarnowego. Wyszedł on z założenia, że próby wyjątkowo bogate są to próby ponadgabarytowe, przy czym jako kryterium określenia gabarytu podał taką frakcję, by w próbach ponadgabarytowych było zawartych co najwyżej 10% ilości całej próby.

Ciekawym zastosowaniem zasad statystyki matematycznej jest wprowadzony przez W. B u d r y k a wzór na wielkość miarodajnej próby dla węgla w dostosowaniu do zawartości popiołu.

Do czasu pełnego wprowadzenia metod statystyki matematycznej do interpretacji zjawisk złożowych jedyną podstawą wszelkich obliczeń złożowych była geometryczna interpretacja zasobów. Podstawą geometrycznego sposobu charakterystyki zasobów surowców mineralnych jest przypisywanie poszczególnym punktom złoża własności na podstawie zbadania własności złoża w sąsiednich punktach poszukiwawczych.

W zależności od położenia poszczególnych punktów złoża mamy do czynienia albo z interpolacją, albo ekstrapolacją zasobów. Interpolacja zasobów dotyczy punktów położonych wewnątrz konturu poprowadzonego przez wyrobiska skrajne. Kontur ten nazywamy konturem wewnętrznym. Ekstrapolacja zasobów dotyczy punktów złoża leżących poza obrysem konturu wewnętrznego, ale na obszarze złoża, czyli w obrębie obszaru zawartego pomiędzy konturem wewnętrznym i zewnętrznym. Przez kontur zewnętrzny rozumiemy granicę występowania złoża wyznaczoną na podstawie zasad ekstrapolacji tego konturu. Rozważania z zakresu określania konturu zewnętrznego spotykamy zarówno u S m i r n o w a, jak i u K r e i t e r a. Dotychczasowe metody wyznaczania konturu zewnętrznego oparte są na przesłankach geologicznych, morfologicznych (czyli geometrycznych) oraz mogą wynikać z gęstości sieci poszukiwawczej lub też z szybkości wyklinowania się złoża.

Obecne prace z zakresu ekstrapolacji zasobów dotyczą zagadnienia, w jakiej części zasobów ekstrapolowanych uzyskujemy tę samą pewność i dokładność obliczeń złożonych, co w obrębie zasobów interpolowanych. Próbe rozwiązania tego problemu podał autor przy zastosowaniu kubatury Radona do obliczeń złożowych.

Omawianie postępu w dziedzinie obliczania zasobów byłoby niepełne, gdyby nie było w nim wzmianki o pracach związanych z normalizacją pojęć i czynności związanych z ustalaniem zasobów. Masowość tych prac oraz poważne konsekwencje inwestycyjne, jakie z nich wynikają, spowodowały konieczność takiej normalizacji. Normalizacja ta początkowo miała charakter problemu naukowego, w późniejszej fazie została usankcjonowana ustawami i przepisami. Początkową datą tej normalizacji był rok 1939, w którym to roku Instytut Górniczy Akademii Nauk ZSRR ogłosił tabelę klasyfikacji zasobów i ogólne instrukcje wyjaśniające tę tabelę. Już w roku 1940 przez utworzenie Wszechzwiązkowej Komisji Zasobów Kopalin Użytecznych stworzono podstawy przyszłej normalizacji prac związanych z ustalaniem zasobów surowców mineralnych. W następnym roku wydano tabelę klasyfikacji zasobów złóż kopalin użytecznych, po czym

pojawiły się szczegółowe instrukcje ustalania zasobów złóż wielu surowców mineralnych.

Mimo niewątpliwych zalet, jakie dały się zauważyć już w pierwszym okresie stosowania tej normalizacji, okazało się, że instrukcje te były ułożone zbyt rygorystycznie i często zbyt formalnie stosowane, w wyniku czego stały się mało tolerancyjne, nie dopuszczające odstępstw i krępujące inicjatywę badań. Tego rodzaju zjawisko wywołało konieczność rewizji wymagań, którą przeprowadzono w roku 1947, kiedy to sprecyzowano w sposób ścisły jedynie podstawowe minimalne wymagania, pozostałe zaś uznano jako zalecenia nie krępujące w niczym inicjatywy poszukiwawczej kierowników robót geologiczno-rozpoznawczych. Ta ewolucja w kierunku bardziej tolerancyjnego formowania i interpretowania przepisów prawnych w swej konsekwencji przyczyniła się do racjonalnego ujmowania zagadnień ustalania zasobów, opartego w poszczególnych przypadkach zarówno na doświadczeniu poszczególnych dokumentatorów, jak i na dowodach teoretycznych nowych metod pracy.

Jak daleko S m i r n o w, będący miernikiem oficjalnego nastawienia czynników miarodajnych, podkreślał konieczność racjonalnego podchodzenia do problemów złożowych, świadczy o tym zdanie w jego pracy, gdzie skarży się na brak metody teoretycznej, która by z dostateczną dla praktyki dokładnością uogólniała zagadnienie klasyfikacji zasobów, dając obiektywne kryteria zaszeregowania zasobów do poszczególnych kategorii poznania złóż. Obecnie zaszeregowanie to jest dokonywane głównie przez prowadzenie polemik podczas zatwierdzania zasobów. Jest rzeczą oczywistą — pisze S m i r n o w — że posiadanie takiej obiektywnej metody znacznie ułatwiłoby zadanie Komisji Zasobów, szczególnie w przypadkach spornych.

W swych pracach specjalnych dla Polskiej Akademii Nauk autor zaproponował metodę obiektywnego decydowania o kategorii ustalonych zasobów z określania przy danym stopniu wiarogodności prawdopodobnego odchylenia wartości charakteryzowanej od wartości prawdziwej, co można obliczyć przy zastosowaniu do zagadnienia ustalania dokładności obliczeń zasobów surowców mineralnych teorii statystyki matematycznej.

Po tym, zresztą bardzo ogólnym, scharakteryzowaniu dróg rozwojowych metodyki ustalania zasobów, będących pierwszą próbą takiego podsumowania, pragnąłbym przejść do omówienia niektórych prac oryginalnych, wykonywanych w związku z metodyką ustalania zasobów w naszym kraju.

Prace nad ustalaniem zasobów w nowoczesnym ujęciu tego zagadnienia zostały rozpoczęte na naszym terenie, po konsultacji fachowców radzieckich w styczniu 1950 roku, przy ustaleniu zasobów cementowni Wierzbica. Pracami tymi kierował autor.

Pracę nad zagadnieniem ustalania zasobów złóż surowców mineralnych rozpoczął autor referatami: 1) *Metody statystyczne szacowania złóż*, i 2) *Metodyka szacowania złóż w świetle klasycznych metod analizy i w świetle analizy statystycznej*.

Z tego samego zagadnienia opracował autor w roku 1950 u prof. W. G o e t l a pracę doktorską pt. *Charakterystyka jakościowa i ilościowa złóż*

kamiennych jako surowca chemicznego oraz materiału budowlanego. Powyższe prace dały początek dalszemu opracowywaniu tego zagadnienia zarówno w krakowskim ośrodku geologicznym, jak i we wrocławskim ośrodku matematycznym. Opracowania te zostały ześrodkowane w Polskiej Akademii Nauk pod kierownictwem prof. R. K r a j e w s k i e g o.

W roku 1952 rozpoczęto na terenie naszego kraju normalizację robót związanych z ustalaniem zasobów. W listopadzie tegoż roku zarządzeniem Prezesa Centralnego Urzędu Geologii powołano przy Centralnym Urzędzie Geologii komisję dla opracowywania instrukcji w sprawie sposobu wykonywania dokumentacji geologicznej. Prace te przebiegały w nawiązaniu do Uchwały Rady Ministrów z października 1952 w sprawie ustalania zasobów złóż surowców mineralnych. Opracowane instrukcje wydano w roku 1954. Obecnie przeprowadzane są u nas prace związane z rewizją przepisów ustalania zasobów. Prace te są prowadzone pod kątem złagodzenia wymagań w celu obniżenia kosztów wykonywania ustalania zasobów oraz mniejszego krępowania inicjatywy dokumentatora. Wykonywane na terenie naszego kraju ustalania zasobów surowców mineralnych w nowoczesnym ujęciu, rozpoczęte w styczniu 1950 roku, trwają nieprzerwanie. Dla sprostania od strony organizacyjnej zadaniom wynikającym z ustalań zasobów surowców mineralnych resort Przemysłu Materiałów Budowlanych wyodrębnił Przedsiębiorstwo Geologiczne Surowców Skalnych. Z biegiem czasu inne resorty poczęły tworzyć lub reorganizować własne przedsiębiorstwa poszukiwawcze. Normalizacja prac związanych z ustalaniem zasobów wykonywana była głównie w ośrodku warszawskim.

Znaczne ożywienie w prowadzeniu poszukiwań i prowadzenie ich równolegle na tyłu odcinkach dało już wyniki. W obecnej chwili trudno jest dać pełny obraz zmian, jakie zaszły w kształtowaniu się pojęć z zakresu ustalania zasobów, gdyż zmiany te są świeże i nie wszędzie znalazły swój ostateczny wyraz. Dużą trudnością w podaniu obrazu osiągnięć na tym polu jest brak szerszej wymiany rezultatów pracy na odcinku naukowym, co wyraża się nieproporcjonalnie małym udziałem publikacji naukowych w stosunku do ogromu włożonego trudu i osiągniętych wyników.

W ogłoszonych pracach z zakresu metodyki ustalania zasobów autor wyszedł z klasycznego toku rozumowania C z e c z o t t a, określając dokładność średniej arytmetycznej przy charakteryzowaniu średniej jakości zasobów interpretowanych hipotezą geometryczną. W dość skomplikowanym toku obliczeń udało się mu dojść do bardzo prostego wyniku obliczenia dokładności średniej arytmetycznej, którą nazwał dla uczczenia pamięci H. C z e c z o t t a „resztą Czczotta“.

Następnym tematem, który rozwiązał autor, było zastosowanie teorii statystyki matematycznej w metodyce ustalania zasobów. Łączyło się to z przeprowadzeniem dyskusji, dla jakich przypadków przy interpretowaniu własności złożowych korzystnej jest przyjmować hipotezę statystyczną niż hipotezę geometryczną. Autor zajął się problemem, jaki jest wzajemny stosunek hipotezy statystycznej i geometrycznej przy interpretowaniu zasobów. W pracy tej doszedł do ostatecznego wniosku, że hipoteza statystyczna jest ogólniejsza od hipotezy geometrycznej, gdyż nie do wszyst-

kich złóż da się zastosować hipoteza geometryczna, do tych zaś, gdzie można zastosować hipotezę geometryczną, da się na pewno zastosować hipotezę statystyczną. W tym ujęciu wprowadzenie metod statystyki matematycznej do problemów ustalania zasobów znacznie poszerza horyzonty tej nauki. Wprowadzenie hipotezy statystycznej dla rozwiązania problemów złożowych wymagało zdefiniowania wielu nie znanych dotychczas określeń, jak pojęcie kierunkowej charakterystyki złoża.

Z hipotezy statystycznej w konsekwencji wypłynęła metoda wyznaczania gęstości sieci poszukiwawczej oraz dostosowania kształtu sieci poszukiwawczej do stwierdzonej kierunkowej charakterystyki złoża. Stało się to podstawą naukowego podejścia do projektowania sieci poszukiwawczych dla stwierdzenia złoża. Powyższe zasady dostosowane są dla zachowania warunku dostatecznej dokładności globalnej charakterystyki złoża. Z hipotezy statystycznej wynikał w dalszym ciągu sposób badania złóż nieciągłych, np. sferosyderytów, lub też przejawów nieciągłości złoża ciągłego, np. uwzględnienie wpływu zjawisk krasowych przy obliczaniu zasobów wapieni. Powyższe problemy rozwiązane zostały rachunkiem częstości przy użyciu rozdziału Fishera.

Z określenia stopnia prawdopodobieństwa poszukiwania złóż robotami poszukiwawczymi wynikającymi z zastosowania teorii statystyki matematycznej można było wyprowadzić prawo zagęszczenia robót poszukiwawczych z warunku zachowania stałego prawdopodobieństwa a posteriori poszczególnych linii poszukiwawczych. Powyższe prawo wprowadzono opierając się na wzorze Bayesa dla prawdopodobieństwa a posteriori. Z zakresu dalszego rozwijania hipotezy geometrycznej dla ustalania zasobów rozpoczęła się dyskusja na temat ekstrapolacji zasobów. Dyskusję tę rozpoczął prof. H. S t e i n h a u s uwagą o możliwości zastosowania zagadnienia kubatury Radona do problematyki ustalania zasobów. Autor kontynuując próbę zastosowania zagadnienia Radona do ustalania zasobów zaproponował wykorzystanie tego problemu dla ustalenia szerokości pasa odpowiedniej ekstrapolacji zasobów, w którym pewność obliczeń nie jest mniejszą od uzyskanej przy interpolowaniu zasobów. Niezależnie od tych ogłoszonych już prac autor opracował dla Polskiej Akademii Nauk zagadnienie wyznaczania podstawowych wielkości charakteryzujących rozkłady częstości poszczególnych parametrów typowych dla złoża surowca cementowego. Celem tej pracy było zbadanie charakteru krzywych rozkładów tych parametrów. Dla tej instytucji opracował on także zasady zagęszczania sieci poszukiwawczych z warunku eksploatacji selektywnej surowców skalnych oraz drugą pracę pt. *Ocena dokładności obliczeń zasobów stwierdzonych otworami poszukiwawczymi lub wyrobiskami podziemnymi* wraz z przykładami numerycznych obliczeń i kryteriami szeregowania zasobów surowca cementowego do poszczególnych kategorii poznania złóż.

Niezależnie od tych prac bezpośrednio związanych z metodyką ustalania zasobów surowców mineralnych autor ogłosił prace z zakresu aktualnych problemów związanych z operatywnym przeprowadzaniem poszukiwań, a to: szczegółowe omówienie roli modułu krzemianowego przy określaniu zasobów zakwasowanych złóż wapiennych oraz badanie charakteru jakości surowca cementowego na podstawie odsłoneń eksploatacyjnych.

Prace z zakresu metodyki ustalania zasobów mają doniosły wpływ nie tylko na zagadnienia surowcowe w geologii, lecz również na zagadnienia eksploatacyjne. Dokładne poznanie złoża otwiera przed naszym górnictwem nie znane dotychczas perspektywy. Między innymi jedną z górniczych konsekwencji ustalania zasobów jest eksploatacja selektywna surowców chemicznych.

Tak więc prace z dziedziny obliczania zasobów złóż surowców mineralnych bardzo silnie zacieśniają więź, jaka łączy geologię z górnictwem. Te ciekawe z teoretycznego punktu widzenia rozważania poczynają w praktyce eksploatacyjnej odgrywać coraz to większą rolę, przyczyniając się do przyśpieszenia postępu w rozwoju naszej myśli technicznej.

Arkadiusz Musierowicz

ZAGADNIENIE ODSALANIA GLEB ZIELEŃCÓW WARSZAWSKICH ZASOLONYCH W WYNIKU ZGARNIANIA NA NIE ŚNIEGU Z ULIC POSYPYWANYCH SOLĄ KAMIENNĄ

W roku 1954 zaobserwowano w Warszawie, w szczególności w Al. Stalina, a także w mieście Gdańsku, tylko w znacznie mniejszym stopniu, zjawisko choroby i usychania drzew.

Już przy wstępnych badaniach terenowych wysunięto przypuszczenie, które zostało następnie potwierdzone przez badania laboratoryjne, że przyczyną choroby drzew jest zasolenie gleb spowodowane solą kamienną (NaCl), zawartą w śniegu zgarnianym w zimie na gleby zieleńców z ulic posypywanych tą solą.

W wyniku oddziaływania na te gleby soli kamiennej wytworzyły się, zasadniczo rzecz biorąc, nie spotykane w naszym kraju sztuczne alkaliczne gleby słone, które w 1954 roku wykazywały właściwości sołoncowatych sołonczaków sodowo-chlorkowo-węglanowych, a więc gleb zawierających w roztworach glebowych chlorek sodowy i węglan sodowy, a w fazie stałej od 5,4 do 15,5% Na-wymennego w stosunku do sumarycznej zawartości kationów wymiennych.

STAN ZASOLENIA GLEB BRUNATNYCH PYŁOWYCH NAIŁOWYCH W 1954 R.

Dla zorientowania się w stopniu zasolenia gleb brunatnych pyłowych naiłowych (Al. Stalina w Warszawie) celem zastosowania następnie zabiegów zmierzających do odsolenia tych gleb, poddano badaniom laboratoryjnym próbki glebowe pobrane z dwóch profilów gleb brunatnych pyłowych naiłowych zasolonych i z jednego profilu gleby słabo zbielicowanej pyłowej naiłowej z terenu nie zasolonego. Wyniki z przeprowadzonych badań pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków: skład chemiczny wyciągów wodnych zbadanych zasolonych próbek glebowych wskazywał na sołonczakowatość tych gleb, a w szczególności na zbyt dużą, szkodliwą dla roślin, zawartość w nich chlorku sodowego i sody oraz na odczyn alkaliczny ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8 - 8,5$). Dość znaczna zawartość Na-wymennego (5,4 — 15,5% pojemności hydrolitycznej w stosunku do kationów) wskazywała na sołoncowatość tych gleb.

Celem odsolenia zasolonych gleb pyłowych zastosowano na nie w 1954 r. następujące zabiegi:

- 1) okresowe silne podlewanie wodą;
- 2) słabe gipsowanie, mające za zadanie utrudnianie tworzenia się sody.

STAN ZASOLENIA GLEB BRUNATNYCH PYŁOWYCH NAIŁOWYCH W 1955 R.

W 1955 r. pobrano ponownie próbki glebowe z profilów gleb zasolonych i poddano je badaniom. Porównując wyniki badań próbek glebowych pobranych z profilów w roku 1954 i 1955 stwierdzamy:

1) znaczną obniżkę zawartości sody i alkaliczności w zbadanych w 1955 r. zasolonych glebach w porównaniu do próbek glebowych z 1954 r.; należy jednak podkreślić, że zawartość sody w zbadanych w 1955 r. zasolonych glebach pyłowych jest jeszcze zbyt duża i może w pewnym stopniu oddziaływać ujemnie na system korzeniowy drzew;

2) znaczne obniżenie w roztworach glebowych pobranych z zasolonych próbek glebowych w roku 1955, w stosunku do próbek glebowych z 1954 r., zawartości kationów sodu i anionów chloru, a co za tym idzie i zawartości chlorku sodowego; zawartość jednak NaCl, szczególnie w głębszych warstwach zbadanych zasolonych gleb, jest jeszcze zbyt duża i musi być przez odpowiednie zabiegi zmniejszona;

3) znaczne, ale nie wystarczające, jeżeli chodzi o warstwy głębsze, obniżenie się w zasolonych próbkach glebowych, pobranych w 1955 r., w stosunku do zanalizowanych próbek glebowych w 1954 r. zawartości Na-wy-miennego, a więc źródła sody w tych glebach.

Powyżej zestawione dane stwierdzają, że proces odsalania zasolonych gleb brunatnych pyłowych naiłowych przebiega powoli, co spowodowane jest między innymi powolnym zastępowaniem sodu wymiennego przez wapń oraz występowaniem w podłożu tych gleb bardzo trudno przepuszczalnego łu, hamującego szybkość przesiąkania w głąb roztworów glebowych.

Wyniki przeprowadzonych badań stwierdzają, jak trudną jest rzeczą doprowadzenie z powrotem sztucznie zasolonych gleb pyłowych zalegających na łąkach do ich stanu pierwotnego. Są one zarazem ostrzeżeniem, że niedopuszczalną jest rzeczą zgarnianie zasolonego śniegu pod rosnące drzewa.

Celem dalszego odsolenia zbadanych zasolonych gleb pyłowych należy na nie stosować następujące zabiegi:

1) gipsowanie gleb, które ma przeciwdziałać wytwarzaniu się sody, licząc 5 kg gipsu na 100 m² gleby;

2) polewanie, które powinno być przeprowadzane w okresie od 15.IV do 15.IX co trzy tygodnie, licząc jednorazowo na ten zabieg 300 litrów wody na 10 m²;

3) wysiew roślin halofitowych, ich sprzęt i usunięcie.

W przypadku konieczności dosadzenia drzew na miejsce drzew uschniętych należy sadzić drzewa soloodporne.

Janusz Lech Jakubowski

WIELKIE PLANY BUDOWNICTWA WODNEGO W CHINACH LUDOWYCH

W artykule pt. *Opanowanie powodzi w Chinach Ludowych* („Kosmos“, ser. B, 1, 184, 1955) omówilem perspektywy rozwojowe tego zagadnienia. Nie przypuszczałem jednak, że życie pójdzie prędzej naprzód niż moje przewidywania. Dojrzał mianowicie nowy gigantyczny plan ujarzmienia Żółtej Rzeki — Huang-ho, który został przyjęty w dn. 30 lipca 1955 na II sesji Ogólnochińskiego Zgromadzenia Przedstawicieli Ludowych.

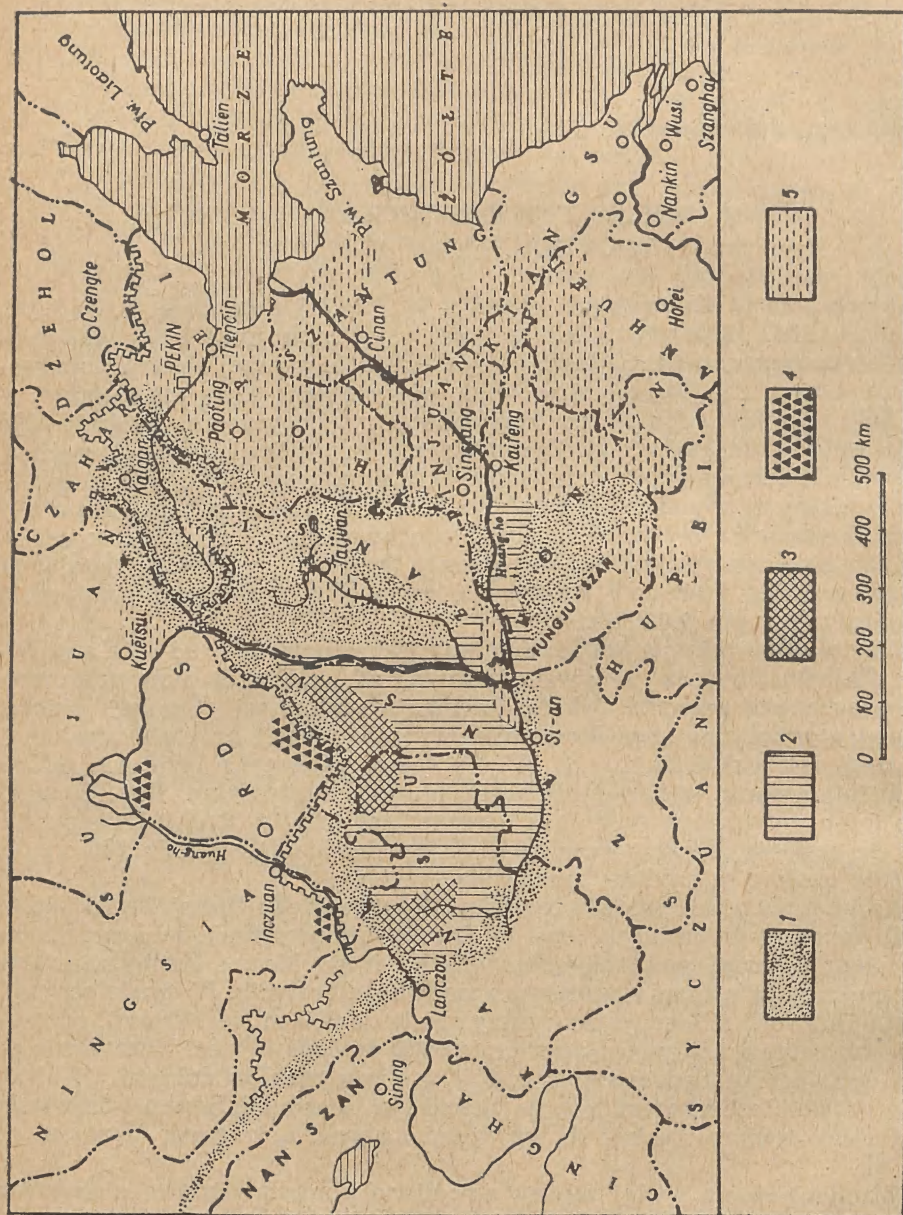
Nowy 15-letni plan nie przewiduje skrócenia biegu Żółtej Rzeki, o którym pisałem w poprzednim artykule (str. 188), natomiast postuluje budowę 46 zapór na tej rzece, a ponadto utworzenie 24 zbiorników retencyjnych na ważniejszych jej dopływach. System ten pozwoli regulować przepływ wody w rzece i zmniejszyć w sposób istotny zawartość mułu i piasku w dolnym jej biegu.

Warto sobie przypomnieć, że katastrofalne powodzie na Wielkiej Nizinie Chińskiej były wywoływane zarówno właśnie przez olbrzymie przepływy w czasie powodzi, jak też przez stałe nanoszenie mułu i piasku. Ta druga przyczyna spowodowała, że łożysko Huang-ho przebiega obecnie na wysokości 3 do 10 m nad otaczającą niziną. W tych warunkach każde przerwanie wałów może mieć skutki katastrofalne. Rys. 1 pokazuje tereny lessowe w średnim i górnym biegu Żółtej Rzeki. Z mapy widać, że grubość warstw lessu na tych terenach dochodzi do 250 m. Te właśnie okolice są źródłem zamulania rzeki.

Największe znaczenie dla regulacji dolnego biegu Żółtej Rzeki będzie miała zapora w Sanmingsia (rys. 2). Dzięki niej powstanie sztuczny zbiornik wodny, drugi pod względem wielkości po Morzu Kujbyszewskim. W tym miejscu wahania przepływu wody są olbrzymie. W czasie powodzi osiąga on $37\,000\text{ m}^3/\text{sec.}$, a przy suszy spada do $300\text{ m}^3/\text{sec.}$ Zapora pozwoli na stabilizację przepływu na poziomie 6000 do $8000\text{ m}^3/\text{sec.}$ Niezależnie od tego w zbiorniku będzie się osadzał il, a wody rzeki w dolnym jej biegu będą czyste. Jest interesujące, że obecnie w prowincji Honan 1 m^3 wody Huang-ho zawiera średnio 34 kg części stałych, a w czasie powodzi do 530 kg.

Wzmiankowane wyżej zapory umożliwią ponadto budowę elektrowni o łącznej mocy 23 milionów kilowatów, których roczna produkcja wyniesie 110 miliardów kilowatogodzin, a więc 10 razy więcej niż obecna produkcja wszystkich elektrowni chińskich.

Pierwsze elektrownie o mocy po 1 milionie kilowatów powstaną w wawozach Sanmingsia i Lutsasia (rys. 2, 3 i 4).



Rys. 1. Rozmieszczenie terenów lessowych w Chinach.
Oznaczenia: 1 — 50 m, 2 — 150 m, 3 — 250 m, 4 — piaski, 5 — osady aluwialne.



Rys. 2. Schemat ujęcia i kompleksowego wykorzystania rzeki Huang-ho (budowy w pierwszym planie i w planie perspektywicznym).

Objaśnienia: 1 — główne zarory i zbiorniki, 2 — obszary nawodnione w pierwszym etapie planu, 3 — obszary nawodnione w planie długofalowym, 4 — główne obszary ochrony gleby i regulacji wód, 5 — rzeki, 6 — koleje.

(Li Zui, „Narodny Kilaj”, 1955, zes. 16).



Ryc. 3. Ogólny widok wąwozu Sanmingsia w średnim biegu rzeki Huang-ho. W wąwozie tym będzie zbudowana elektrownia wodna o mocy milion kilowatów i produkcji rocznej 4,6 miliarda kilowatogodzin.
(„Narodnyj Kitaj“, 1955, zes. 16).



Regulacja rzeki zwiększy również jej wartość jako komunikacyjnej drogi wodnej. Źródła chińskie podają, że rzeka jest obecnie żeglowna tylko na długości 160 km; w roku 1967 — po wykonaniu pierwszej części planu — długość ta ma się zwiększyć do 1795 km, a w dalszym planie, perspektywnym — do 3610 km.

Następna korzyść z regulacji rzeki to zwiększenie obszaru nawodnienia gruntów rolnych z 1 miliona hektarów obecnie do 1,8 w 1967 i do 7 milionów hektarów w planie perspektywnym. Jest to niesłychanie ważne dla rozwoju rolnictwa, jeśli zważyć, że przyległe do Huang-ho

Rys. 4. Grupa hydrografów w wąwozie Lutsasia w górnym biegu rzeki Huang-ho gdzie powstanie elektrownia wodna o mocy milion kilowatów i produkcji 5,2 miliarda kilowatogodzin rocznie.
(„Narodnyj Kitaj“, 1955, zes. 16).

tereny lessowe należą do najżyźniejszych, pod warunkiem dobrego ich nawodnienia.

Wykonanie planu dźwignie wzwyż olbrzymie tereny pod względem ekonomicznym i kulturalnym. Żółta Rzeka przestanie być „nieszczęściem Chin“, jak ją nieraz dotychczas nazywano.

KONFERENCJA Z OKAZJI 50-LECIA TEORII WZGLĘDNOŚCI W BERNIE

10 lipca przyjechałem do Berna, stolicy Szwajcarii. Jest to piękne miasto, gdzie s t a r e łączy się harmonijnie z n o w y m; miasto, mające w herbie niedźwiedzia, miasto starych budynków, zieleni, gór i zegara, w którym co godzina niedźwiedzie zaczynają korowód, kur pieje, a staruszek czas obraca klepsydrę.

W poniedziałek o godz. 15 miało się rozpocząć pierwsze posiedzenie. Przedtem, o godz. 11, zgłosiłem się do małego instytutu fizyki. Jak na bogatą Szwajcarię, instytut zrobił na mnie wrażenie ubogiego. Poznałem tam kilku uczestników zjazdu; otrzymałem program i (bardzo ładny) medal z wizerunkiem Einsteina.

Wszystkie obrady odbywały się w sali muzeum historii naturalnej. Uczestników było około setki. Byli między nimi laureaci nagrody Nobla: Pauli, Born, Laue; ze Związku Radzieckiego F o c k i A l e x a n d r o w, z krajów demokracji ludowej byłem tylko ja. Dowiedziałem się, że zaproszenia dla prof. L o r i i i W e y s s e n h o f f a wysłano niestety za późno.

Konferencja była niezwykle interesująca. Normalnie w czasie wszelkich konferencji najciekawsze są rozmowy kularowe; referaty są nudne i mało zrozumiałe. W tym wypadku było wręcz przeciwnie. Mimo że referaty były wygłaszane od rana do wieczora, prawie wszyscy byli zawsze obecni. Ja np. opuściłem tylko jeden wykład i to tylko demonstracyjnie, gdyż wykładowcą był dawny obrońca reżimu hitlerowskiego.

Atmosfera konferencji była nadzwyczaj miła, a władze kantonalne zgótowały uczestnikom niezwykle serdeczne przyjęcie.

Słowa powitania wygłosił dr V. Moine, którego tytuł jest *Directeur de l'Instruction publique*.

Następnie referat powitalny miał prof. W. P a u l i, który życzył konferencji, aby jej udziałem była mądrość E i n s t e i n a. Nad podium wisiała fotografia E i n s t e i n a, nawiasem mówiąc — nienajlepszą.

Profesor P a u l i, jeden z największych żyjących fizyków-teoretyków, uważany jest — jak powiedział ktoś z jego przyjaciół — za sumienie fizyki. Istotnie, jest to umysł niesłychanie krytyczny, a przy tym ogromnie twórczy. Dziwna kombinacja! Wiedzie w ruchu, denerwował się, gdy mu się coś nie podobało, i kiwał potakująco głową, gdy był zadowolony. Jest to prawdopodobnie jedyny żyjący wielki fizyk, którego jakoś dotychczas nie miałem sposobności poznać osobiście. Jestem bardzo pod wrażeniem jego uroku, mądrości i dowcipu!

O 16-tej zaczęła się właściwa konferencja. Wymienię tutaj tylko najważniejsze referaty z kilkoma słowami objaśnienia.

Poniedziałek 11 lipca o 16 po południu referował B a a d e, Amerykanin z słynnego obserwatorium na Mt. Wilson. Temat: *Obserwacyjne dane dotyczące rozszerzającego się wszechświata*. Wiadomo było od dawna, że widma mgławic są przesunięte w kierunku czerwonej części widma. Innymi słowy, mgławice uciekają od nas z prędkością proporcjonalną do ich odległości. Dawna ocena tej prędkości okazała się jednak fałszywą. Opierała się ona na założeniu, że cefeidy wszystkie o tym samym okresie zmian posiadają tę samą wielkość, że są identyczne. To założenie

okazało się niesłuszne. Cefeidy o tym samym okresie zmian mogą należeć do dwóch różniących się grup co do wielkości. A więc ocena odległości mgławic na podstawie dawnego założenia była fałszywa. Nowe dane zmniejszają współczynnik prędkości mgławic przeszło dwukrotnie, zwiększają więc wiek wszechświata. Według tych nowych obliczeń wiek wszechświata wynosi 5.10^9 lat; zgadza się to z pomiarami ziemskimi z dziedziny radioaktywności. Istotnie, nie znamy żadnego faktu doświadczalnego, z którym ten wiek wszechświata byłby niezgodny.

Wtorek 12 lipca: *Ogólna teoria względności i jej możliwe uogólnienia rozważane z punktu widzenia kwantowej teorii pola*. Wykład O. K l e i n a (Sztokholm). Możemy ze stałych utworzyć wielkość o wymiarze długości np. $\sqrt{\hbar c^3}$ (k = stała grawitacji, $\hbar$ stała Plancka, c prędkość światła). Stała ta jest rzędu 10^{-34} i odgrywa dużą rolę w jednolitej kwantowej teorii pola rozwiniętej przez K l e i n a. W ten sposób zbudowany być może pomost pomiędzy teorią kwantów a teorią grawitacji. Niezwykle ciekawe były uwagi P a u l i e g o w dyskusji nad tym referatem. P a u l i powiedział, że dotychczas był przekonany, iż teoria grawitacji nie ma nic wspólnego z teorią kwantów, ale teraz nie jest tego tak pewien. Wspomniał o pracach L a n d a u a (Związek Radziecki), w których zanalizowana została trudność związana z renormalizacją ładunków. Renormalizacja ta jest możliwa tylko przy przyjęciu „cut off” promienia rzędu 10^{-34} cm. Czy nie występuje tutaj związek z teorią grawitacji? Przyczyną trudności w mechanice kwantowej jest prawdopodobnie istnienie ostrego stożka zerowego w teorii względności szczególnej.

Po południu tego samego dnia referat wygłosił Peter B e r g m a n n (Syrakusy, USA) na temat: *Kwantyzacja teorii ogólnie niezmienniczych*. Rezultat referowany był raczej negatywny. Pomimo wielu usiłowań autora, jego szkoły i innych, nie udało im się dotychczas skwantować teorii grawitacji — teorii nieliniowej.

Sroda 13 lipca: wykład T r u m p l e r a (Berkeley, USA): *Obserwacyjny rezultat ugięcia światła i przesunięcia w kierunku czerwonym w widmach gwiazd*. Referat ten zawierał analizę eksperymentalnych danych dotyczących tych dwóch doświadczalnych zjawisk. Według referenta, dane eksperymentalne przemawiają bezwarunkowo za teorią względności. Zgodność ta jest nie tylko jakościowa, ale i ilościowa. W dyskusji zabrał głos F r e u n d l i c h, który twierdził, że uginanie światła w polu grawitacyjnym jest większe, aniżeli przewiduje teoria względności, że interpretacja referenta jest niesłuszna. Oczywiście nie znam się na szczegółach doświadczalnych, na które dyskusja zeszła, jednak (jeżeli chodzi o moje wrażenie) wydaje mi się, że raczej T r u m p l e r aniżeli F r e u n d l i c h ma rację.

Po obiedzie tego samego dnia odbył się referat H. P. R o b e r t s o n a (Pasadena, USA) pt. *Teorie kosmologiczne*. Znowu okazuje się, że dawne trudności znalezienia odpowiedniego modelu wszechświata zgodnego z przesunięciem czerwonym znikają, bo przesunięcie to związane jest z wiekiem większym aniżeli poprzednio. Współczynnik prędkości mgławic s we wzorze $v = sr$, gdzie v jest prędkość, a r odległość, jest dwa razy mniejszy, aniżeli poprzednio sądzono. Dzisiaj model Friedmannowski wydaje się zgodny z przesunięciem widm mgławic ku czerwieni. Tym, którzy sądzą, iż teorie kosmologiczne oparte na teorii względności są niezgodne z ideami materializmu dialektycznego, pragnę powiedzieć, że w dyskusji zabierał głos (pozytywnie oczywiście) profesor F o c k, jeden z najlepszych znawców teorii względności w Związku Radzieckim.

Następnego dnia odbyła się dyskusja nad krótkim referatem R o s e n a (Izrael) o istnieniu fal grawitacyjnych. Na ogół panowało przekonanie, że jeżeli promień krzywizny $R_{\alpha\beta} = 0$ i nie ma singularności, to jedynym rozwiązaniem tych równań jest świat M i n k o w s k i e g o. Niestety twierdzenia tego nikt ściśle

nie udowodnił, chociaż na słuszność jego zdają się wskazywać zarówno prace moje z S c h e i d e g g e r e m, jak i T a u b a.

14 lipca wykład Lichnerowicza (Paryż) *O problemie Cauchiego dla pola grawitacyjnego*. W tym też dniu odbyły się krótkie referaty F o c k a i mój o problemie ruchu. Znowu mieliśmy dyskusję nad podstawami teorii względności i nad sprawą układu. Na ogół panowało przekonanie, że układ jest rzeczą dowolną

Po południu tego samego dnia odbyliśmy piękną wycieczkę do Thun i Interlaken. Sporo było sposobności do wzajemnego poznania się i dyskusji naukowych.

Piątek 15-go, ostatni dzień konferencji. Były dwa długie referaty: W i g n e r a i K a u f m a n n o w e j. Tytuł referatu W i g n e r a (Princeton, USA): *O relatywistycznej niezmienniczości równań mechaniki kwantowej*. W referacie tym, przy końcu, W i g n e r rzucił myśl, że równania różniczkowe trzeba będzie prawdopodobnie zastąpić w przyszłości równaniem, w którym przestrzeń i czas nie występuje explicite.

Dr K a u f m a n n (Princeton, USA), ostatnia współpracowniczka Einsteina, referowała o *wspólnych usiłowaniach Einsteina i jej — znalezienia niesymetrycznej teorii unitarnej*. Na ogół teorie te spotkały się ze sceptycyzmem. Profesor W e y l zacytował P a u l i e g o, mówiąc: co Bóg rozdzielił (tzn. pole grawitacyjne i elektromagnetyczne), tego nie należy łączyć.

Na końcu P a u l i pięknie zebrał wyniki konferencji, a B o r n wygłosił ostatni referat, zawierający jego wspomnienia z okresu narodzin teorii względności. Tutaj wspomniał prof. L o r i e, z którym łączyły go w owych czasach stosunki przyjacielskie.

Ostatniego dnia odbyło się uroczyste zamknięcie zjazdu w auli Uniwersytetu w Bernie.

Zjazd wykazał, że teoria względności jest żywą teorią, która — niemal bez zmiany — przetrwała lat 50. Zjazd ten był również hołdem dla wielkiego twórcy tej teorii.

Leopold Infeld

XXVIII ZJAZD NAUKOWY I WALNE ZEBRANIE DELEGATÓW POLSKIEGO TOWARZYSTWA GEOLOGICZNEGO

Doroczny, XXVIII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego odbył się w dniach 3—5 czerwca br. w Szczecinie na terenie Pomorza zachodniego, dla uczczenia 10-lecia przyłączenia tych ziem do Polski. Tematyka zjazdu obejmowała jurę górną i czwartorzęd północno-zachodniego Pomorza. Kierownictwo naukowe i organizacyjne zjazdu objął prof. dr Z. P a z d r o (Gdańsk), w skład komitetu weszli: doc. dr A. C z e k a l s k a (Poznań) i prof. dr B. K r y g o w s k i (Poznań).

Zjazd wywołał wśród geologów bardzo duże zainteresowanie, o czym może świadczyć fakt, że na 200 miejsc było blisko 300 zgłoszeń.

Otwarcia zjazdu dokonał przewodniczący Polskiego Towarzystwa Geologicznego prof. dr F. B i e d a. W przemówieniu podkreślił on motywy wyboru miejsca zjazdu i znaczenie, jakie ma poznanie budowy geologicznej Pomorza północno-zachodniego dla zrozumienia struktury podłoża Polski północnej i środkowej. Polskie Towarzystwo Geologiczne, doceniając znaczenie Ziem Odzyskanych dla Polski, już kilkakrotnie odbywało na nich zjazdy. I tak w roku 1946 odbył się zjazd w Sudetach, w r. 1948 zjazd w rejonie toruńsko-mazurskim, w r. 1951 ponownie w Sudetach. Zjazd szczeciński jest więc czwartym z kolei zjazdem na Ziemiach Zachodnich.

Następnie przewodniczący złożył podziękowanie w imieniu PTG prezesowi Akademii Nauk, prof. drowi J. Dembowskiemu i sekretarzowi III Wydziału PAN, prof. drowi M. Śmiałowskiemu za udzielenie subwencji na zjazd, przewodniczącemu Komitetu Geologicznego PAN, prof. drowi J. S a m s o n o w i c z o w i za poparcie, z jakim spotkała się inicjatywa zjazdu, wreszcie organizatorom zjazdu w osobach prof. dra Z. P a z d r y, doc. dr A. C z e k a l s k i e j i prof. dra B. K r y g o w s k i e g o oraz rektorowi i dyrektorowi administracyjnemu Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie za udzielenie auli na obrady zjazdowe. Z kolei prof. dr F. B i e d a powitał gości zjazdu w osobach dyr. mgra F. S z c z e p a ń s k i e g o (przedstawiciela Centralnego Urzędu Geologii), prof. dra Wł. P o z a ń s k i e g o (przedstawiciela Instytutu Geologicznego), gości zagranicznych: prof. dra E. S. B o n c e v a (Bułgaria) i prof. dra M. D. J e l i n a (ZSRR) oraz wszystkich obecnych.

Sesji naukowej przewodniczył prof. dr E. Passendorfer. Pierwszy referat wygłosiła doc. dr C z e k a l s k a pt. *Jura górna zachodniego Pomorza i jej rola w strukturze wału kujawsko-pomorskiego*. Odczyt ten wywołał ożywioną dyskusję zarówno nad stratygrafią, jak też tektoniką jury okolic Szczecina. Po przerwie prof. dr B. K r y g o w s k i wygłosił referat pt. *Niektóre zagadnienia geologii i morfologii czwartorzędu Polski północno-zachodniej*.

W godzinach popołudniowych odbyło się Walne Zebranie Delegatów Oddziałów Polskiego Towarzystwa Geologicznego poprzedzone posiedzeniem Zarządu Głównego. Uczestnicy zjazdu nie biorący udziału w Walnym Zebraniu zwiedzili w tym czasie miasto i port Szczecin.

Na propozycję prof. dra E. Biedy przewodniczącym Walnego Zebrania został wybrany prof. dr inż. J. Z w i e r z y c k i, sekretarzami zaś mgr H. D z i e d z i c o w a i mgr A. M a j e r o w i c z. Z kolei mgr inż. K. B i r k e n m a j e r (sekretarz generalny PTG) odczytał protokół z ostatniego Walnego Zebrania Delegatów PTG w r. 1954, który przyjęto bez poprawek. Do porządku dziennego przez aklamację został przyjęty wniosek nagły Zarządu Głównego w sprawie zmian w statucie PTG.

Sprawozdanie ogólne z działalności Zarządu Głównego za rok 1954/1955 odczytał prof. dr F. B i e d a, sprawozdanie rzeczowe z działalności Zarządu Głównego i Oddziału Krakowskiego przedstawił mgr inż. K. B i r k e n m a j e r. W Oddziale Krakowskim odbyły się 24 posiedzenia naukowe i wygłoszono 9 odczytów popularnonaukowych. Następnie sprawozdanie z działalności Oddziału Warszawskiego przedstawił prof. L. S a w i c k i, komunikując m.in., że w Oddziale odbyło się 12 posiedzeń naukowych i 11 odczytów popularnonaukowych. Sprawozdanie z działalności Oddziału Wrocławskiego przedstawił prof. dr K. M a ś l a n k i e w i c z; odbyło się tam 14 posiedzeń naukowych. W imieniu Komisji Rewizyjnej przewodnicząca doc. dr K. S k o c z y ł a s - C i s z e w s k a wystąpiła z wnioskiem o udzielenie absolutorium ustępującemu Zarządowi Głównemu. Wniosek został przyjęty przez aklamację.

Prof. F. B i e d a przedstawił konieczność pewnych uzupełnień w §§ 23, 28, 44 statutu PTG, w sprawie upoważnienia większej ilości osób Prezydium Zarządu Głównego do podpisywania papierów bankowych. Ponadto w związku z wzrastającą ilością członków PTG (około 600) ustalono, że na Walne Zebranie będzie odtąd wybierany 1 delegat na 20 członków, a nie jak dotychczas 1 na 10.

Przyjęty został również wniosek, aby w roku 1956 odbyć zjazd naukowy w Lublinie i na Rostoczu.

Z kolei bardzo ożywioną dyskusję wywołał punkt porządku dziennego omawiający kwestię podwyższenia składki członkowskiej. Dotychczas członkowie Polskiego Towarzystwa Geologicznego otrzymywali wydawnictwa Towarzystwa bez specjalnej dopłaty, na zasadzie uprawnień członkowskich i zapłacenia rocznej składki w wysokości 25 zł. Składka ta oczywiście nie pokrywała kosztów wydawnictw, które były finansowane przez Polską Akademię Nauk. Począwszy od roku 1956 na zarządzenie PAN egzemplarze przeznaczone dla członków mają być pokrywane ze składek członkowskich, stąd też zachodzi konieczność podwyższenia składki rocznej aż do 70 zł (o 280%!). W wypowiedziach delegaci podkreślali, że uzależnienie wysokości składek od kosztów wydawnictwa jest bardzo niebezpieczne, gdyż ogranicza to możliwości druku prac w wydawnictwach PTG, zwłaszcza większych i zawierających kosztowne ilustracje prac paleontologicznych. Ograniczenie takie jest sprzeczne z interesem nauk geologicznych w Polsce.

Na wniosek „Komisji Matki“, odczytany przez prof. L. S a w i c k i e g o, zebrani wybrali nowy skład Zarządu Głównego z kadencją na lata 1955/1956 — 1956/1957. Do Prezydium weszli: przewodniczący — prof. dr F. B i e d a, sekretarz — mgr inż. K. B i r k e n m a j e r, skarbnik — mgr St. G e r o c h.

W wolnych wnioskach wypowiediano się za rozbudowaniem akcji popularyzacji wiedzy geologicznej w oddziałach, zwłaszcza w kierunku dokształcania członków w znajomości problematyki regionalnej, przez organizowanie odpowiednich wycieczek pod kierownictwem specjalistów.

W drugim dniu zjazdu uczestnicy udali się autobusami przez Szczecin — Dąbie — Goleniów — Przybiernów — Golczewo do kamieniołomu w Czarnogłowach, gdzie pod kierunkiem doc. dra A. C z e k a ł s k i e j zapoznali się z nadzwyczaj inte-

resującą serią oksfordu górnego (*sensu lato*), kimerydu dolnego, środkowego i górnego typu północnego, pomorskiego, z bogatą fauną i płytkoszelfowym rozwojem osadów.

Po zwiedzeniu odsłonięcia w Czarnogłowach uczestnicy zjazdu podzielili się na dwie grupy. Grupa A pod kierunkiem doc. dra A. C z e k a l s k i e j udała się do sąsiedniego odsłonięcia w Świętoszewie, gdzie uczestnicy wycieczki obejrzeli kimeryd górny i portland, następnie zaś pojechali do Kłębów, gdzie w nieczynnym kamieniołomie oglądali oksford górny (*sensu lato*). Z Kłębów grupa A powróciła do Szczecina.

Grupa B pod kierunkiem prof. dra B. K r y g o w s k i e g o pojechała przez Nowogard do Stargardu, gdzie na północny zachód od miasta oglądano utwory morenowe opisane przez autorów niemieckich jako drumliny. Ze Stargardu grupa B powróciła do Szczecina.

W trzecim dniu zjazdu uczestnicy udali się autobusami na trasę: Szczecin — Niebuszewo — Szczecin — Podjuchy — Gorzów Wielkopolski — Skwierzyna — Międzychód — Międzyrzecz — Świebodzin, pod kierunkiem prof. dra B. K r y g o w s k i e g o. W cegielni Niebuszewo położonej na morenowej Wyniosłości Warszawskiej na północ od Szczecina oglądano krę oligoceńskich łów septariowych i piasków szczecińskich zaburzonych glacitektonicznie. Następnie skierowano się przez Szczecin ku południowemu wschodowi na prawy brzeg Odry i Regalicy. Tutaj w Podjuchach oglądano przekrój przez morenowy wał Puszczy Bukowej. Przekrój ten, bardzo interesujący, ukazuje pod utworami glacialnymi uważanymi przez przewodnika za odpowiedniki Varsovien II i Varsovien I i rozdzielonymi serią fluwioglacjalno-interglacjalną — residualne kwarcyty miocenske z odlewami łodyg roślinnych oraz margle dolnomastrichtskie, tworzące krę w utworach pleistocenu. Budowa łuskowa glacitektoniczna jest cechą charakterystyczną wału Puszczy Bukowej.

W dalszym ciągu wycieczki uczestnicy obejrzeli bliżej wał Puszczy Bukowej z autostrady między Żydowcem a Czarnowem, skąd rozciąga się bardzo pouczający widok na płaszczyznę dna Odry i Regalicy, Jezioro Dąbskie, Szczecin i port oraz rysującą się na horyzoncie Wyniosłość Warszawską.

Kóło Gorzowa trasa przecięła dolny odcinek pradoliny toruńsko-eberswaldzkiej, o szerokości ponad 20 km, a różnicy wzniesień między dnem i krawędziami ponad 40 m. W następnych odsłonięciach obserwowano utwory morenowo-fluwioglacjalne (Goraj), kemowe (Pszczew—Policko), ropy i piaski uważane za zastoiskowe (na zachód od Międzyrzecza) wieku zlodowacenia bałtyckiego oraz serię torfowo-gytlową prawdopodobnie ostatniego interglacjalu (Rusinów), przykrytą gliną morenową zlodowacenia bałtyckiego.

Krzysztof Birkenmajer

KONFERENCJA PAN POŚWIĘCONA DZIAŁALNOŚCI STASZICA W KIELECCZYŹNIE

Staraniem Sekcji Historii Techniki i Nauk Technicznych — Komitetu Historii Nauki PAN odbyła się w dniach 25—28 września ub. r. objazdowa konferencja poświęcona działalności Stanisława Staszica na terenie Kielecczyny. Celem tej konferencji było zapoznanie uczestników z działalnością Staszica na obszarze Gór Świętokrzyskich, a przede wszystkim obejrzenie zabytków techniki, zwłaszcza hutniczej, z których zachowały się tylko nieliczne, większość ich bowiem uległa już zniszczeniu. Ponieważ niektóre z zachowanych zabytków sprzed stulkudziesięciu lat należą do bardzo rzadkich nawet na terenie całej Europy, zadaniem objazdowej konferencji było również opracowanie wniosków dla ich ochrony.

W ramach konferencji zostały wygłoszone referaty: doc. J. P a z d u r a *Działalność Staszica na terenie Kielecczyny*, dra T. P r z y p k o w s k i e g o *Zabytki staszicowskie w Kielecczyźnie*, prof. K. O p a ł k a *Stanisław Staszic — życie i działalność*, dra J. A r t y m i a k a *Zasługi Staszica dla oświaty w Kielecczyźnie*.

Wśród przemówień dyskusyjnych wyróżniło się gorące przemówienie prof. M. R a d w a n a, apelujące do zebranych o energiczne dołożenie starań, aby ratować nieliczne zachowane zabytki techniki na obszarze Kielecczyny. Opierając się na wynikach własnych prac i badań przedwojennych i powojennych, które zostały ogłoszone w książce *Wielkopiecznictwo w Zagłębiu Staropolskim w połowie XIX wieku* (1954), prof. R a d w a n przedstawił wielkie trudności w odtworzeniu procesów technologicznych z czasów S t a s z i c a. Bardzo niewiele bowiem posiadamy opisów urządzeń przemysłowych, z których zachowały się tylko nieliczne resztki.

W czasie powstania w r. 1863 spalone zostało archiwum Wschodniego Okręgu Górniczego w Suchedniowie, a Archiwum Skarbowe spaliło się w r. 1939. Niewielkie zbiory archiwalne przy dawnych prywatnych przedsiębiorstwach przeważnie uległy zniszczeniu, często idąc na podpałkę lub makulaturę.

Zbieranie dokumentów dotyczących górnictwa i hutnictwa obszaru świętokrzyskiego rozpoczęło przed wojną Muzeum Techniki w Warszawie. Przechowywano je w Sielpi koło Końskich, gdzie w czasie wojny większość ich uległa zniszczeniu. W czasie okupacji niemieckiej wiele dawnych zabytków zostało wywiezionych i przeznaczonych na złom.

W pierwszym dniu konferencji objazdowej uczestnicy jej zwiedzili Suchedniów, Parszów, Mostki, Wąchock, Starachowice, Michałów, Nietulisko i Ostrowiec, w drugim dniu — Szydłowiec, Chlewiska, Rzuców, Końskie, Maleniec i Sielbę, w trzecim dniu — Samsonów, Białogon i Chęciny.

Objaśnień w terenie udzielali doc. P a z d u r i prof. R a d w a n; o zabytkach budownictwa i sztuki — dr P r z y p k o w s k i.

Na zakończenie konferencji odbyła się dyskusja z zasadniczym referatem prof. J. B u k o w s k i e g o, przewodniczącego Komisji Ochrony Zabytków Technicznych, który syntetycznie ujął wyniki oględzin dawnych zabytków w terenie i przeprowadzonych na miejscu dyskusji.

Przyczyną niszczenia resztek zabytków z ubiegłego stulecia, m. in. przez miejscową ludność, która wykorzystuje zabytkowy materiał budowlany, jest przede wszystkim brak uświadomienia, jakie znaczenie dla historii nauki mają zabytki Kielecczyny. Niejednokrotnie stwierdzono, że nawet wśród inteligencji nie ma należytego zrozumienia dla zagadnienia ochrony zabytków technicznych. Szczególnie wobec bardzo skąpych materiałów archiwalnych i dokumentacji technicznej zachowane zabytki stanowią często jedyne źródło informacji o twórczej polskiej myśli technicznej w pierwszej połowie XIX wieku. Apel w sprawie zabytków na terenie Kielecczyny i ich ochrony należy skierować zarówno do ludności miejscowej i użytkowników (niektóre bowiem urządzenia techniczne, jak np. w Małeńcu, są jeszcze obecnie wykorzystywane w celach produkcyjnych), — jak i do władz terenowych. Same jednak wezwania nie wystarczą, a najpilniejszą sprawę stanowi określenie, co należy uważać za zabytek techniki wymagający ochrony, oraz sporządzenie możliwie pełnego ich wykazu. Często niszczenie zabytków następuje z powodu nieświadomości ludności, która nieraz dokonuje rozbiórek dawnych budynków lub urządzeń technicznych o wartości zabytkowej, nie wiedząc, że wartość materiału budowlanego jest bardzo mała w porównaniu z wartością historyczną niszczonych bezpowrotnie zabytków.

Objazdowa konferencja PAN po Kielecczynie oraz starania Komisji Ochrony Zabytków Technicznych dały już pewne pozytywne rezultaty. Uczestników posiedzenia Sekcji Historii Techniki i Nauk Technicznych w dniu 18 listopada ub. r. poinformowało Prezydium, że w Sielpi uzyskano duże prowizoryczne pomieszczenie dla zabezpieczenia zabytków techniki do czasu utworzenia mającego powstać Muzeum Techniki. Do licznie przybyłych z całego kraju zebranych zwrócono się z apelem o zawiadamianie Komisji Ochrony Zabytków Technicznych PAN o wszelkich urządzeniach technicznych o wartości zabytkowej, które należałoby zabezpieczyć i uchronić od zniszczenia.

Kazimierz Maślankiewicz

STACJA SEJSMOLOGICZNA OBSERWATORIUM GEOFIZYCZNEGO PAN W KRAKOWIE

Badanie sposobu rozchodzenia się fal sejsmicznych wywoływanych przez trzęsienia ziemi daje geofizykowi możliwość zbadania wewnętrznej struktury kuli ziemskiej. Oprócz poznania budowy Ziemi ważne jest dokładne zbadanie geograficznego rozmieszczenia ognisk (epicentrów), trzęsień i stworzenie odpowiednich map, wykazujących sejsmiczność tak całej kuli ziemskiej, jak i poszczególnych krajów i państw. Zadania te wymagają pokrycia powierzchni Ziemi siecią obserwatoriów i stacji sejsmologicznych. Niektóre kraje (USA, Japonia, ZSRR) posiadają gęstą sieć punktów obserwacyjnych, co jest bardzo ważne ze względu na silną sejsmiczność pewnych obszarów tych krajów.

W Polsce istniały dotychczas dwa obserwatoria sejsmologiczne (i kilka stacji lokalnych), rejestrujące zarówno wstrząsy dalekiego pochodzenia, jak i z ognisk krajowych, a mianowicie: w Warszawie i Raciborzu. Obserwatorium warszawskie, mieszczące się w podziemiach gmachu Uniwersytetu Warszawskiego, czynne jest z przerwami spowodowanymi wojną od 1939 r., a już stale od 1946 r. Obserwatorium w Raciborzu nosi nazwę Śląskiej Stacji Geofizycznej PAN i było założone przez prof. K. M a i n k e, sejsmologa niemieckiego śląskiego pochodzenia, w r. 1929. Po zniszczeniach wojennych stację uruchomiono na nowo w r. 1947.

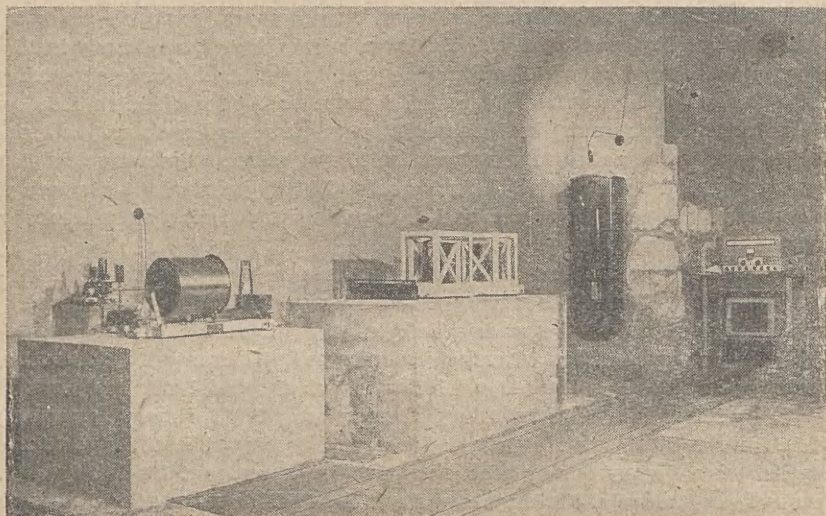
Sejsmologiczne tradycje Krakowa sięgają końca XIX wieku, gdy w tej dziedzinie zaczął pracować naukowo znakomity uczony Maurycy Pius R u d z k i, profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego, dyrektor Obserwatorium Astronomicznego w Krakowie w latach 1903—1915.

W r. 1903 R u d z k i zakłada w Obserwatorium Astronomicznym stację sejsmologiczną wyposażoną w dwa poziome sejsmografy systemu Bosch-Omoriego. Stacja ta funkcjonuje do dziś dnia, jednak ze względu na znikomą czułość aparatów ma już raczej tylko historyczne znaczenie. Zamiaru zastąpienia wahadeł boschowskich znacznie czulszymi wahadłami G o l i c y n a nie zdołał już R u d z k i urzeczywistnić przed swoją śmiercią w r. 1916. Zmarły w r. 1954 prof. dr Tadeusz B a n a c h i e w i c z, długoletni dyrektor Obserwatorium Krakowskiego, dbał o nieprzerwane funkcjonowanie stacji.

Ideę R u d z k i e g o zrealizował dopiero w 1955 r. Zakład Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, który z inicjatywy dyrektora prof. dra Tadeusza O l c z a k a założył w Krakowie Obserwatorium Geofizyczne, a w szczególności stację sejsmologiczną wyposażoną w sejsmografy Golicyna-Willpa.

Konieczność powstania w Krakowie nowoczesnego obserwatorium sejsmologicznego podkreślał również prof. dr Edward W. J a n c z e w s k i, a jako najlepsze miejsce jego powstania wskazywał na wzgórza jurajskie, leżące na zachód od miasta i stanowiące bardzo korzystne podłoże geologiczne. Takim miejscem, znakomicie nadającym się do powyższego celu, jest bezsprzecznie stary fort austriacki na wzgórzu zwanym „Skała“, położony między wsiami Bielany i Zakamycze i wybrany przez Krakowskie Obserwatorium Astronomiczne pod budowę nowego obserwatorium. Wydaje się, że połączenie dwóch pokrewnych sobie tematycznie zakładów naukowych należałoby uważać za okoliczność nader pomyślną.

Jednakże, wobec pilności rozpoczęcia w Krakowie obserwacji sejsmologicznych, postanowiono założyć stację prowizoryczną w pobliżu centrum miasta w oczekiwaniu na zamierzone zremontowanie fortu na Skale, w którego podziemiach sejsmografy Zakładu Geofizyki PAN mogłyby znaleźć w przyszłości znakomite pomieszczenie. Wybór padł na Zamek Królewski na Wawelu, jako stojący na skale z wapienia jurajskiego, która — według zgodnej opinii geofizyków i geologów — stanowi najlepsze podłoże dla tego rodzaju stacji.



Rys. 1. Wnętrze krakowskiej stacji sejsmologicznej.

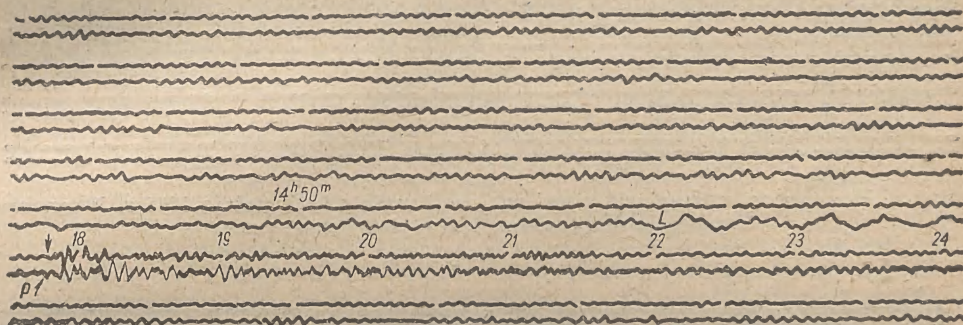
Na ten cel Zakład Geofizyki PAN otrzymał od Dyrekcji Zamku dwie piwnice w północnym skrzydle: jedną wielką, sklepioną, o powierzchni około 60 m², dla umieszczenia aparatury sejsmicznej i drugą małą (około 16 m²) na urządzenie ciemni fotograficznej dla wywoływania zapisów (aparaty mają bowiem rejestrację świetlną na papierze fotograficznym).

Sejsmografy ustawiono jesienią 1954 r. na żelazobetonowym monolicie, umieszczonym wprost na skale, na którą natrafiono w głębokości 1,25—1,70 m pod ceglana podłogą piwnicy. Otwór pod słup musiano kopać z największą ostrożnością ze względu na możliwość dokonania odkryć archeologicznych; w rzeczywistości znaleziono w nim nieco skorup naczyń wczesnośredniowiecznych (XI w. i późn.); jeden przęślik (kółeczko z gliny lub kamienia używane do obciążenia wrzeciona przy przędzeniu) oraz fragmenty spalonych belek.

Warunki termiczne i wilgotności w piwnicy okazały się korzystne: wahania temperatury w ciągu pierwszego półrocza 1955 r. zawierały się w granicach dwóch stopni Celsjusza; wilgotność natomiast wahała się od 50 do 75%.

Zainstalowane aparaty są to dwa sejsmografy poziome systemu Golitsyna-Wilipa o rejestracji galwanometrycznej i tłumieniu magnetycznym. Jeden sejsmograf zapisuje składową wschód-zachód, drugi składową północ-południe. Na ramieniu każdego z wahadeł umieszczona jest płaska cewka; cewka ta w czasie drgań wahadła porusza się między biegunami silnych stałych magnesów. Na skutek tych ruchów powstają w cewce słabe prądy elektryczne, które powodują wychylenia lusterka

galwanometru. Odbity od lusterka promień lampki pada na papier światłoczuły, nawinięty na powierzchni obracającego się ruchem jednostajnym bębna, i kreśli linię. Linia ta jest prosta, o ile wstrząsów nie ma; w wypadku nadejścia fali sejsmicznej powstają na skutek drgań wahadeł prądy i lusterka galwanometrów wychylają się a z nimi promyki światła, znacząc na taśmie następujące po sobie fazy trzęsienia obu składowych. Szybkość rejestracji wynosi 30 mm/min. Zmiana papieru następuje co 12 godzin.



Rys. 2. Wycinek sejsmogramu z dnia 22 marca 1955 r. zawierający początek (P) podziemnego trzęsienia ziemi na Oceanie Indyjskim; widać także fale długie (L). L nia z przerwami oznaczającymi początki minut pochodzi od składowej E — W, linia ciągle rejestruje drgania składowej N — S.

Instrumentarium uzupełnia wahadłowy zegar astronomiczny firmy Strasser-Rohde, Glashütte i/Sa z inwarowym wahadłem kompensacyjnym. Zegar ten ma urządzenie kontaktowe, które o każdej pełnej minucie włącza na dwie sekundy prąd z dwu suchych ogni, przerywając promień światła padającego na papier fotograficzny. Powoduje to krótką przerwę w linii zapisu jednego z sejsmografów; drugi sejsmograf natomiast zapisuje bez żadnej przerwy. Dzięki temu nie traci się w całości pierwszych impulsów, mogących nadejść w przerwie minutowej. O każdej pełnej godzinie przerwa minutowa nie występuje, co stanowi praktyczny sposób kontroli. Zegar kontrolowany jest codziennie przez odbieranie naukowego sygnału czasu przy pomocy radioodbiornika czeskosłowackiej firmy „Tesla-Lambda”.

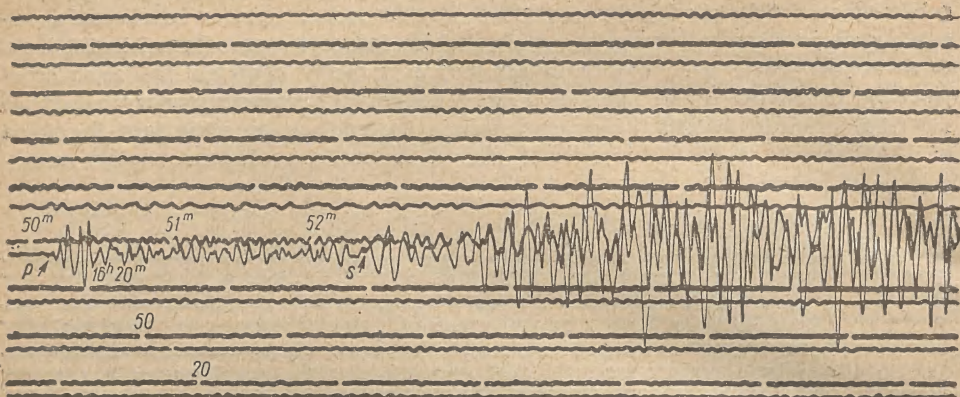
Stacja sejsmologiczna na Wawelu posiada następujące współrzędne geograficzne:

$$\lambda = -1^{\text{h}} 19^{\text{m}} 45^{\text{s}},5, \quad \varphi = +50^{\circ} 03' 22''$$

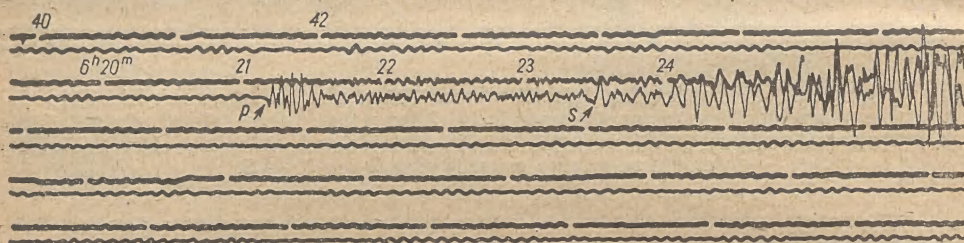
oraz wysokość nad poziomem morza $h = 223 \text{ m}$.

Już w pierwszym, dniu regularnego funkcjonowania Stacji, t.j. 22 marca 1955 r., sejsmografy zapisały dalekie trzęsienie ziemi. Według późniejszych danych był to bardzo silny podziemski wstrząs na Oceanie Indyjskim (na pd-zach. od Sumatry). Część jego wykresu, zawierająca początek (P) oraz fale długie (L), przedstawia rys. 2.

Rys. 3 i 4 przedstawia początek trzęsienia ziemi w Grecji w dniach 19 i 21 kwietnia 1955 r. Pierwsze zdarzyło się na półwyspie Pelion i wywołało znaczne zniszczenia i straty wśród ludności w mieście Volos. Trzęsienie to powtórzyło się w dniu 21.IV i spowodowało dalsze znaczne szkody; znów kilka osób w mieście Volos padło ofiarą tego powtórnego wstrząsu.



Rys. 3. Pierwsze fazy trzęsienia ziemi w Grecji w dniu 19 kwietnia 1955 r. P oznacza nadejście fali podłużnej, S — fali poprzecznej.



Rys. 4. Pierwsze fazy powtórnego wstrząsu ziemi w Grecji w dniu 21 kwietnia 1955 r.

Na rysunkach, będących wiernymi kopiami oryginalnych sejsmografów, zaznaczono momenty nadejścia do Krakowa tzw. „fal pierwszych“, czyli podłużnych (P) oraz „fal drugich“, czyli poprzecznych (S). Z różnicy czasów nadejścia tych dwóch rodzajów fal można obliczyć odległość ogniska wstrząsu.

Stacja opracowuje miesięczne wykazy zanotowanych wstrząsów sejsmicznych i przesyła je do Zakładu Geofizyki PAN w Warszawie, gdzie z kolei wykorzystywane są do układania Biuletynu Sejsmologicznego, przesyłanego pokrewnym instytucjom zagranicznym.

Janusz Pagaczewski

„Roczniki Gleboznawcze“ tom IV, Warszawa 1955, PWN.

IV tom „Roczników Gleboznawczych“, wydawanych przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, obejmuje prace: F. Kuźnicki: *Właściwości darniowo-bielicowych gleb piaskowych, wytworzonych z piasków różnego pochodzenia geologicznego*, A. Musierowicz, Cz. Święcicki i J. Hamny: *Niektóre właściwości fizyczne ważniejszych gleb terenów nizinnych i wyżynnych Polski*, M. Górski i O. Nowosielski: *Przydatność grzyba *Cunninghamella elegans* do badania potrzeb nawozowych gleb względem fosforu*, St. Moskał: *Glin ruchomy w glebach Polski*, M. Strzemski: *Typologia mad polskich*, B. Dobrzański: *Rędziny Lubelszczyzny*, J. Kobus: *Orientacyjne badania nad mikroflorą gleb górskich*, A. Kabata: *Wstępne prace dotyczące występowania kobaltu w glebach Zakładu Naukowo-badawczego w Siejniku*, St. Bachman: *Wykorzystanie wymieniaczy jonowych przy oznaczaniu fosforu w wyciągach glebowych w silnych kwasach*, K. Starczyński: *Wpływ wapnowania i właściwości gleb na działanie wody amoniakalnej*, M. Strzemski: *Zapomniany gleboznawca polski — Franciszek Czarnomski*. Uzupełnienie tego obszaru (263 stron) „Rocznika“ stanowi Bibliografia publikacji polskich z zakresu gleboznawstwa, chemii rolnej, uprawy roli i gospodarki wodnej, zestawiona przez M. Strzemskiego, oraz Kronika Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego.

Kazimierz Maślankiewicz

„Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego“ — Seria nauk matematyczno-przyrodniczych Nr 1, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Kraków 1955, cena 29 zł.

W maju br. ukazała się pierwsza część serii matematyczno-przyrodniczej „Zeszytów Naukowych Uniwersytetu Jagiellońskiego“. Obejmuje ona 212 stron druku i zawiera 10 prac z matematyki, fizyki i chemii wykonanych na Uniwersytecie Jagiellońskim.

Ukazanie się tego zbioru prac jest niewątpliwie dowodem dużej żywotności krawowskiego ośrodka, a należy się spodziewać, że w dalszym ciągu „możność wyrażania poglądów we własnym organie uniwersyteckim, możność przeprowadzania na jego kartach szerokiej nie krępowanej dyskusji, mieć będzie — jak pisze w przedmowie T. Marchlewski, Rektor UJ — dla rozwoju uniwersyteckiej działalności naukowej, dla rozwoju postępowej i demokratycznej myśli naukowej niezawodnie znaczenie pierwszorzędne“.

Redaktorem „Zeszytów Naukowych Uniwersytetu Jagiellońskiego“ jest K. Grzybowski, redaktorami działu B. Kamiński, A. Halpern i J. Janik, sekretarzem redakcji K. Nowak.

„Zeszyt“ pierwszy przynosi następujące prace: J. Szarski i T. Ważewski *Uwagi o równaniu struny drgającej*, S. Łojasiewicz *Funkcje wypukłe a twier-*

dzenie o przyrostach skończonych, S. Łojasiewicz O zagadnieniu iteracji, A. Lasota Gwiazdzistość zbioru określoności funkcji uwikłanych, A. Hryniewicz Tworzenie par elektronowych przez promienie γ ThD badane metodą liczników Geigera-Müllera, I. Ziłowski, A. Halpern i A. Polaczek Otrzymywanie preparatów promieniotwórczych wzbogaconych metodą Szilarda i Chalmersa, I. Otrzymywanie preparatów promieniotwórczych jodu i bromu. B. W alig ó r a Potencjometryczna chromatografia kolumnowa niektórych związków organicznych na adsorbentach hydrofilnych, Z. Było Elektrometryczna analiza chromatograficzna układów wieloskładnikowych na niektórych adsorbentach, A. Pasternak i Z. Wojtaszek Stacja Niskich Temperatur Zakładu Chemii Nieorganicznej UJ w latach 1915—1953, J. Moszew, A. Inasiński i A. Malik Syntezy nowych eterów kolaminy o działaniu antyhistaminowym. „Zeszyt“ uzupełniają Listy do Redakcji (J. Szymakowski Dyfuzyjna komora mgłowa do badania promieniowania jonizującego) oraz Kronika z artykułem omawiającym kolokwium poświęcone chromatografii, które odbyło się w Krakowie w maju 1954 r.

Część prac została przygotowana do publikacji w obszerniejszej formie, niż stosuje się to w innych pismach naukowych, lecz dzięki temu umożliwiają one młodym pracownikom nauki od razu szersze zaznajomienie się z problemem.

Prace drukowane są w języku polskim, jednak prócz polskiego streszczenia zamieszczone są także streszczenia w języku rosyjskim i angielskim.

Pierwszy „Zeszyt“ został wydany bardzo starannie (PWN) i w ładnej szacie graficznej, obarczony jest on jednak pewną usterką, popularną niestety w wielu naszych pismach naukowych, mianowicie długim czasem publikacji. Okres jednego roku od otrzymania maszynopisu przez Redakcję do ukazania się go drukiem jest dla prac naukowych stanowczo za długi i dlatego należy żywić nadzieję, że w tym przypadku był on spowodowany jedynie trudnościami nieuniknionymi przy wydawaniu pierwszego numeru, natomiast przy następnych ulegnie znacznemu skróceniu.

Włodzimierz Kołos

KOMUNIKAT

Zarząd Oddziału Warszawskiego Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika zawiadamia, że ukazał się już I Zeszyt Problemowy czasopisma „Kosmos”. Są to materiały z konferencji pt. *Osiągnięcia polskiej hodowli roślin*. Do nabycia w księgarniach Domu Książki.

W druku znajdują się materiały z następujących konferencji:

1. *Statystyka jako metoda poznawcza,*
 2. *Zagadnienie determinowania płci w świetle nowej biologii,*
 3. *Zagadnienia współczesnej immunologii,*
 4. *Zagadnienia procesu starzenia się i przedłużania życia,*
 5. *Zastosowanie izotopów promieniotwórczych w różnych dziedzinach nauki i praktyki,*
 6. *Zagadnienia stosunku między strukturą i funkcją mózgu.*
- Materiały te ukażą się w pierwszej połowie 1956 roku.

T R E Ś C

<i>Leopold Infeld</i> — Moje wspomnienia o Einsteinie	3
<i>Józef Hurwic</i> — Perspektywy pokojowego wyzyskania energii jądrowej w świetle genewskiej konferencji atomowej	19
<i>Włodzimierz Trzebiatowski</i> — Drogi rozwoju chemii nieorganicznej	31
<i>Włodzimierz Mościcki</i> — Izotopowe skale czasu	43
<i>Adam Trembecki</i> — Drogi postępu w dziedzinie obliczania zasobów złóż surowców mineralnych	73
<i>Arkadiusz Musierowicz</i> — Zagadnienie odsalania gleb zielenców warszawskich zasolonych w wyniku zgarniania na nie śniegu z ulic posypywanych solą kamienną	87
<i>Janusz Lech Jakubowski</i> — Wielkie plany budownictwa wodnego w Chinach Ludowych	89

KRONIKA NAUKOWA

<i>Leopold Infeld</i> — Konferencja z okazji 50-lecia teorii względności	93
<i>Krzysztof Birkenmajer</i> — XXVIII Zjazd Naukowy i Walne Zebranie Delegatów Polskiego Tow. Geologicznego	96
<i>Kazimierz Maślankiewicz</i> — Konferencja PAN poświęcona działalności Staszica w Kielecczyźnie	99
<i>Janusz Pagaczewski</i> — Stacja Sejsmologiczna Obserwatorium Geofizycznego PAN w Krakowie	101

RECENZJE

<i>Kazimierz Maślankiewicz</i> — „Roczniki Gleboznawcze“	105
<i>Włodzimierz Kołos</i> — „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego“	105

Cena zł 12.—