

Polskie Towarzystwo Przyrodników
im. KOPERNIKA

KOSMOS

Seria B
PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK VII

WARSZAWA 1961

ZESZYT 2 (26)

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

POLSKIE TOWARZYSTWO PRZYRODNIKÓW
im. KOPERNIKA

K O S M O S

Seria B: PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK VII

WARSZAWA 1961

ZESZYT 2 (26)

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

KOMITET REDAKCYJNY

Józef Hurwic (Red. Nacz.), Leopold Infeld,
Kazimierz Maślankiewicz (Zast. Red. Nacz.), Roman Żelazny

Adres redakcji: Warszawa, ul. Hoża 69

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — DZIAŁ CZASOPISM
WARSZAWA, MIODOWA 10

<i>Nakład 672+138</i>	<i>Oddano do składu 1.III.1961 r.</i>
<i>Ark. wyd. 6,75 — druk. 4,75+5 wkl. kred.</i>	<i>Podpisano do druku w maju 1961 r.</i>
<i>Papier druk. sat. kl. V, 70 g. B-1</i>	<i>Druk ukończono w maju 1961 r.</i>
<i>Cena zł 15.—</i>	<i>Zam. 103/61 S-17</i>

WARSZAWSKA Drukarnia Naukowa, W-wa, ŚNIADECKICH 8

Akademik P. L. Kapica

O ROZWOJU NAUKI W PRZYSZŁOŚCI *

Proszono mnie, aby mówić o rozwoju nauki w przyszłości oraz o przyszłych problemach nauki. Jest to trudne, lecz interesujące i pożyteczne zadanie, tylko bowiem, gdy pamiętamy o przyszłości, jesteśmy w stanie kierować i właściwie wydatkować naszą energię w chwili obecnej. Chciałbym podkreślić, że jestem jednym z najstarszych uczestników naszej konferencji. Podczas mego życia mogłem zaobserwować wiele zmian zarówno w rozwoju samej nauki, jak i w pojmowaniu jej zadań. Zadziwia mnie całkowita zmiana w stosunku do niej. W czasach mej młodości mówiło się o „czystej nauce”, o nauce dla samej nauki. Dziś nikt tak nie mówi. Naukę uważa się za konieczną część porządku społecznego, jako jego pożyteczny i konieczny element. Państwo poświęca coraz większą uwagę nauce, jako zasadniczej gałęzi życia państwowego, w tym samym stosunku co innym dziedzinom porządku społecznego: armii, policji, wymiarowi sprawiedliwości. Nie było tak przed 50 laty, gdy w nauce dominowała inicjatywa prywatnych osób.

Możemy oczywiście mówić o podziale nauk na podstawowe i stosowane, jednak musimy podkreślić, że jest to podział sztuczny, oraz że trudno jest wskazać punkt, w którym kończą się nauki podstawowe, a zaczynają stosowane. Jest to podział konieczny bardziej z przyczyn natury administracyjnej niż z punktu widzenia istoty rzeczy. Na przykład wielki Langmuir pracował w zakładach przemysłowych, lecz niewątpliwie dokonał odkryć o charakterze podstawowym przy rozwiązywaniu różnych problemów technicznych związanych z rozwojem lamp elektrycznych.

Wydatki państwowe na rozwój nauki rosną i zwiększają się tak, jak rozszerza się ciągle zakres badań naukowych. Przedsięwzięte zostały kompleksowe zadania wielkich rozmiarów, jak budowa i zastosowanie akceleratorów oraz wielkich reaktorów, czy też badanie przestrzeni kosmicznej. Rozwiązanie tych zadań przestało być sprawą indywidualnych uczonych, stając się problemem dla całych zespołów. Zdaniem moim zagadnienie twórczej pracy zespołów jest problemem ciągle aktualnym.

* Tłumaczenie artykułu, który ukazał się w numerze 3—4 (1960 r.) czasopisma Scientific World. Jest on opracowaniem referatu wygłoszonego przez autora na Sympozjum poświęconym planowaniu w nauce w Pradze w 1959 r.

ROLA DYREKTORA NAUKOWEGO

Scientific World opublikował ostatnio mój artykuł (nr 1, 1959), w którym położyłem nacisk na palącą konieczność organizacji nauki w sposób odpowiedni do problemów, które ma ona do rozwiązania. Nie będę tu powtarzał, o czym mówiłem w tym artykule, chciałbym jedynie zwrócić uwagę na jeden punkt. Profesor Bernal powiedział, że „administratorzy” zaczynają odgrywać coraz szerszą rolę w nauce, oraz że dobrzy administratorzy konieczni są dla „organizowania” problemów naukowych. Nie zgadzam się z profesorem Bernalem — oczywiście nie co do zagadnienia potrzeby organizatorów w nauce, ale w tym, że nie mogą być oni jedynie administratorami, lecz również naukowcami. Sądzę, że najlepiej wyrażę to przez porównanie nauki z innymi dziedzinami twórczości np. z teatrem i filmem.

W swoim czasie teatr składał się wyłącznie z aktorów, jego dyrektor-reżyser był nieznaczącą figurą. Jednak teraz, a szczególnie od chwili powstania filmu, gdzie zajmują scenę tysiące, dziesiątki tysięcy aktorów, główną rolę przejął dyrektor-reżyser. Tacy dyrektorzy — wytwórcy są potrzebni w nauce. Czego oczekujemy od takiego dyrektora? Roli twórczej, a nie administracyjnej. Reżyser musi rozumieć sztukę, musi obejmować to, co w niej powstaje, musi właściwie rozstawić wykonawców, dać dobre role dobrym artystom i właściwie rozdzielić siły. Musi stworzyć dobry film.

Dyrektor wielkiego zagadnienia może być wielkim człowiekiem, choćby nawet sam nie pracował twórczo naukowo. Nie wiem dlaczego by dyrektor takiego ogromnego osiągnięcia nauki, jak sztuczny satelita, nie był wart nagrody Nobla, nawet jeśli sam nie pracuje naukowo. Czyż nie zorganizował tego przedsięwzięcia? W taki właśnie sposób jak Eisenstein, René Clair, którzy będąc wielkimi dyrektorami-reżyserami są również wielkimi artystami, tak dyrektorzy-organizatorzy w jakiegokolwiek dziedzinie nauki mogą być wielkimi artystami na swym polu. Nadszedł obecnie okres rozwoju nauki, w którym organizatorom nauki trzeba powierzyć wielką rolę. Znamy zresztą przypadki, gdy dobry aktor jest również dobrym reżyserem, np. Charlie Chaplin. Rutherford jest podobnym przypadkiem w nauce — istnieje więc podobieństwo między nimi. Pozwólcie mi na tę nieco śmiałą analogię. Jeśli zrozumieliście ją, wiecie o co mi chodzi.

Wydaje mi się, że musimy obecnie kształcić ludzi tego typu i to nie tylko kształcić, ale i bardzo ich poważać; nie zaś nazywać ich nieco wzgardliwie „administratorami”, jak to uczynił profesor Bernal. Trudno sformułować i określić przyszłość tych ludzi. Zdarzają się oni rzadko — jest to unikalny rodzaj talentu ludzkiego i z tego powodu wymaga on wielkiej uwagi. Moją pierwszą prognozą zatem, dotyczącą przyszłego rozwoju nauki, jest pojawienie się uczonych takiego typu, jaki właśnie opisałem. Rodzaj ów krystalizuje się obecnie i — zdaniem moim — odegra w przyszłości decydującą rolę.

SKALA PRAC NAUKOWYCH

Drugim problemem, którym chcę się zająć, jest zakres, rozległość prac naukowych. Jak wiele sił ludzkich i środków materialnych winno

wydziać państwo na naukę? W chwili obecnej wydatki te stanowią w wielu krajach ułamek procentu ogólnego budżetu. Otóż nie ulega wątpliwości, że rola pracy fizycznej w zabezpieczeniu koniecznej produkcji zmniejsza się w sposób ciągły. Wszyscy powiadają, że ze zwiększeniem się źródeł energii elektrycznej i wprowadzeniem automatyzacji, proces produkcji nie będzie więcej związany z człowiekiem. Praca będzie wykonywana przez maszyny i wówczas twórcze zdolności i starania człowieka zostaną poświęcone sprawom nauki i sztuki. Nasuwa się pytanie, jaka część ludzkości będzie zajmować się nauką. Również tu możemy skorzystać z analogii, muszę jednak wyznać, że tym razem będzie ona znacznie słabsza — w stylu Herberta Spencera.

Jeśli porównamy wagę tej części ciała zwierzęcia, która zajmuje się twórczą pracą — głowy, z jego kończynami zajmującymi się pracą fizyczną, otrzymamy interesujący wynik. Weźmy np. ichtiozaurusa — zwierzę o małej głowie i gigantycznym cielsku. Zwierzę takie nie posiada przyszłości. Przyszłość należy do człowieka, którego głowa waży w przybliżeniu 5—10% całości ciała. Dostrzegamy tu więc, że sama natura poświęciła więcej dla „duchowych” części człowieka w stosunku do „fizycznych”, niż to czyni obecnie wiele państw na świecie.

Mój wielki przyjaciel N. N. S e m e n o w jest zdania, że w przyszłości połowa ludzkości zajmować się będzie twórczą pracą naukową. Odpowiednio więc połowa ludzkości będzie wykonywała powinności społeczne, zaś druga połowa będzie pracować w instytucjach, biurach projektowych, fabrykach doświadczalnych, gdzie konieczne jest indywidualne podejście w rozwiązywaniu każdego zagadnienia. Według profesora Bernala każdy człowiek będzie zajęty częściowo pracą twórczą, a częściowo pracą użytkową. Jednakże — moim zdaniem — nawet w przyszłości ludzie będą musieli specjalizować się w pracy i praca o charakterze twórczym będzie zawsze nieco oddzielona od pozostałej.

ROZWÓJ W PRZYSZŁOŚCI

Trzecim zagadnieniem, które chciałbym ekstrapolować, jest problem rozwoju nauki w przyszłości. Na czym aktualnie można oprzeć te ekstrapolacje. Obieram tu nieco niezwykłą wielkość. Chciałbym odkładać na wykresie ilość odkrytych w ciągu 1 roku nowych zjawisk w przyrodzie. To „nowe zjawisko” chciałbym zdefiniować jako zjawisko przyrodnicze, które nie mogło być ani przewidziane, ani wyjaśnione na podstawie istniejących pojęć teoretycznych. Wymienię owe nowe zjawiska, które — moim zdaniem — zostały odkryte w ciągu minionych 170 lat.

Pierwszym z nich jest odkrycie prądu elektrycznego, dokonane przez Galvaniego w 1789 r. Odkrycie to w żadnym razie nie wpływało z poglądów teoretycznych, panujących w owym okresie (Volta jedynie „dokończył” to odkrycie). Innym, które — moim zdaniem — warto jest wspomnieć, to odkrycie przez Oersteda w 1820 r. wpływu prądu elektrycznego na igłę magnetyczną. Nie uważam za nowe odkrycie przez Faradaya zjawiska indukcji elektromagnetycznej, gdyż nie jest ono niczym innym, jak tylko odwrotnym w stosunku do dokonanego przez Oersteda i to takim, które można było przewidzieć. Odkrycie Oersteda doprowadziło do równania Maxwella i wszystko inne było

jedynie opracowaniem tego odkrycia. Teoretyczne przewidzenie odkrycia dokonanego przez Oersteda było jednak niemożliwe.

Dalszym przykładem nowego zjawiska jest odkrycie zewnętrznego fotoefektu (nie zaś fal elektromagnetycznych, które znamy wszyscy), dokonane przez Hertz a, którego również nie można było przewidzieć teoretycznie, i które w 30—40 lat później doprowadziło do równań Einsteina. Zasada nieoznaczoności i teoria kwantów zawarte są już w odkryciu fotoefektu — wszystko pozostałe było jego dalszym opracowaniem. Dołączę tu następnie odkrycie promieniotwórczości dokonane przez Becquerela. Promieniotwórczość była również zjawiskiem, którego nie można było przewidzieć. Z drugiej strony odkrycie elektronu nie może już być traktowane jako niezależne. Następnie zanotujmy doświadczenia Michelsona i Moseleya, których wyników niepodobna było przewidzieć. Wreszcie odkrycie promieni kosmicznych przez Hessa — również nie do przewidzenia teoretycznego. Wydaje mi się, że należałoby również zanotować odkrycie rozszczepienia uranu przez Lise Meitner i Hahna.

Czy takie odkrycia dokonywane będą w przyszłości? Czy wszystkie tajemnice przyrody zostały już wyczerpane? Zastanówmy się nad tym, co jest cechą charakterystyczną wszystkich tych odkryć. Przede wszystkim to, że ich znaczenie uznane zostało dopiero po 20—30 latach, gdy zrozumiano ich teoretyczną wagę i gdy pokazany został ich konflikt ze współczesnymi poglądami. Pytamy, czy wyczerpaliśmy obecnie wszystkie odkrycia fizyczne w przyrodzie? Czy istnieją jeszcze takie podstawowe odkrycia w przyrodzie, które czekają na ich dokonanie?

Jeśli w rzetelny sposób ekstrapolować będziemy wspomnianą krzywą, zauważymy, że nie ma ona skłonności do nasycenia i że w bliskiej przyszłości dokonane zostanie wiele takich odkryć, które umożliwią zwiększenie naszej kontroli nad przyrodą i dadzą nam do rąk nowe moce. Subiektywnie wydaje się, że wiemy o przyrodzie wszystko to, co można o niej wiedzieć. Jednakże, gdy czytamy prace uczonych ery Newtonowskiej, przekonujemy się, że odczuwali oni dokładnie to samo. Możemy więc być pewni, że nowe odkrycia muszą być dokonane.

Pytano mnie, jakież to odkrycia? Jeśli mogą przewidzieć, nie byłyby one więcej odkryciami nieoczekiwanymi. Zilustruję tu jeszcze na przykładzie, jak to zdawało mi się, że mógłbym dokonać pewnego odkrycia, które „leżało” przede mną, lecz o dokonanie którego się nie pokusiłem. Opowiem wam o tym z uwagi na to, że jest to interesujące.

Kiedy uzyskałem bardzo silne pole magnetyczne — 10 razy silniejsze od uzyskiwanych dotąd, wielu uczonych przynaglało mnie, abym spróbował wykonać doświadczenie nad wpływem pola magnetycznego na prędkość światła. Jednym z tych, którzy najbardziej przynagłali, był Einstein. Mówił on: „Nie wierzę, aby Bóg stworzył wszechświat, w którym prędkość światła nie byłaby od czegoś zależna”. W takich wypadkach Einstein lubił odwoływać się do Boga.

Jeśli doświadczenie takie zostałoby przeprowadzone, mogłoby dać w wyniku efekt drugiego rzędu. Wynik jego jednak nie mógł być przewidziany. Byłby to nadzwyczaj trudny eksperyment, ponieważ doświadczenia przeprowadzone z polem do 30 000 gaussów wskazywały, że pole magnetyczne nie wpływa na światło i zgadzało się to ze współczesnymi poglądami. Chociaż Born obliczył i naszkicował wzory, według któ-

rych wpływ taki może istnieć, nie były one przekonywające, a i obecnie nikt ich nie uznaje. Inną osobistością, która nastawała na przeprowadzenie takiego eksperymentu, a nawet ofiarowywała kolosalne poparcie finansowe, był Oliver L o d g e, który nawet zwrócił się do mnie z prośbą o przeprowadzenie takiego doświadczenia. Jednakże odmówiłem. Dlaczego? Z uwagi na lekcję, którą dostałem od życia.

Przypominacie sobie, że prawo zachowania masy zostało wyznaczone przez L o m o n o s o w a, a następnie niezależnie przez L a v o i s i e r a. W końcu zostało ono sprawdzone przez K o h l r a u s c h a. Kohlrausch przeprowadził reakcję chemiczną, a ważąc dokładnie substancje reagujące przed i po reakcji wykazał, że waga ich nie uległa zmianie do 10 miejsca dziesiętnego. Jeśli wyliczyć energię, która wyzwoliła się i przypisać jej zmianę wagi, wówczas okaże się, że gdyby Kohlrausch przeprowadził swe doświadczenie z dokładnością o dwa rzędy wielkości większą, mógłby zaobserwować zmianę w masie — był bardzo bliski temu. Lecz przypuśćmy, że Kohlrausch, poświęcając wielkie środki na swój eksperyment, stwierdził różnicę na 12 miejscu dziesiętnym. Nikt nie uwierzyłby mu, ponieważ bezpośrednie udowodnienie takiej dokładności w doświadczeniu, które leży na granicy dokładności pomiaru, jest zawsze bardzo nieprzekonywające. Oczywiście problemy takie są rozwiązywane, gdyż sama przyroda dostarcza bezpośredniej metody. Dokonał tego na przykład A s t o n w oznaczeniu mas izotopów. Dlatego musimy czekać na przypadek, gdy sama natura zaofiaruje inne możliwości wpływania na zmiany w szybkości światła, a nie mierzyć bezpośrednio tych zmian. Z tych powodów odmówiłem przeprowadzenia doświadczenia.

Czuję w każdym razie, że w poszukiwaniu nowego oczekuje nas wiele, i że byłoby tu miejsce na wspomnienie słów Hamleta: „Jest więcej spraw na niebie i ziemi, niż się o nich śniło naszym filozofom”. Było tak w czasach Szekspira, tak samo jest dziś i tak samo będzie zawsze. W istocie nie jest to nic mniej lub więcej ponad to, co ogarnia prawo dialektycznego rozwoju przyrody.

NAJWAŻNIEJSZE PROBLEMY

Nowe odkrycia będą dokonywane zawsze. Można jednak zauważyć następujące prawidłowości, iż wynikać będą całe kompleksy nowych zagadnień.

Pytamy, które z problemów znanych nam w chwili obecnej, będą się rozwijać w najbardziej pomyślny sposób i które są najważniejsze dla naszych potrzeb życiowych, na których więc zagadnieniach musimy skoncentrować główne nasze siły i uwagę. Jest to z pewnością zagadnienie dyskusyjne, jednak wydaje mi się wciąż, że istnieją pewne problemy, co do których możemy się zgodzić.

Jednym z niezwykle ważnych zagadnień jest zagadnienie wytrzymałości materiałów, szczególnie metali oraz ich odporności na temperaturę. Wytworzenie stopów zachowujących swą wytrzymałość w temperaturze 100°C i wyższych, a jednocześnie lżejszych od innych metali rozwiąże kolosalne problemy techniczne. Gdyby wytrzymałość materiałów obecnie znanych była niższa o 10—15%, można z całkowitą pew-

nością powiedzieć, że lot na księżyc byłby niemożliwy. Jest to naprawdę problem 10—15% wzrostu wytrzymałości materiałów. A jednak teoria wytrzymałości materiałów bardzo mało rozwinęła się do chwili obecnej. Panuje tam wciąż empiryzm.

Nie można odmawiać empiryzmowi miana metody badań naukowych. Wprost przeciwnie jest to jedna z najważniejszych metod w badaniach naukowych, jednakże stosowanie jej jest niezwykle trudne głównie z uwagi na ogromną cierpliwość, której wymaga. Ja sam na przykład nie potrafię pracować empirycznie, gdyż wymaga to zbyt wielkiego wysiłku. Metody empiryczne są więc bardzo trudne.

Mamy w przybliżeniu 100 metali — ograniczmy się do nich. Powiedzmy dalej, że opisanie własności metalu, jak wytrzymałości, odporności cieplnej, sprężystości jest jednym aspektem. Przypuśćmy więc, że mamy 100 aspektów. Stopy dwuskładnikowe to 10 000 aspektów, tj. 100^2 , stopy trójskładnikowe — milion aspektów. Niemożliwe jest opisanie i zbadanie tych materiałów. Empiryzm jest tu bezsilny. A przecież w praktyce stosujemy stopy czteroskładnikowe i te rozwiązują nam szereg problemów. W ten sposób pozostajemy w tyle w jednym z najważniejszych zagadnień. Możliwe, że problemy te winny być rozwiązane nie przy pomocy metody naukowej, lecz przez zastosowanie do nich maszyn liczących. Jednak, jeśli nagromadzimy informacje, istnieje trudność, jak je wykorzystać. Być może metoda maszyn liczących mogłaby pomóc w pracy doświadczalnej — nie jesteśmy w stanie rozwiązać teoretycznie tego zagadnienia. Teoretycy twierdzą, że rozwiązanie takich problemów leży poza granicami naszych możliwości. Nie wiem tego. Jest tu wiele możliwości. Zagadnienia takie mogą być rozstrzygnięte tylko w „kuchni”. Oczywiście można te kuchnie zautomatyzować i wyposażyć ją w maszyny automatyczne. Jednakże ludzie poświęcają temu bardzo mało uwagi. Oczywiście i tu widać postęp — teoria dyslokacji jest okazją stworzenia teorii wytrzymałości materiałów, jednak nie rozstrzygnie ona problemu stopów metalicznych.

W nagły sposób pojawiła się kwestia zorientowanych struktur — polimerów, ich trwałości, ich zastosowania jako materiałów w technice. Sądzę, że teoria wytrzymałości polimerów zostanie sformułowana wcześniej niż teoria wytrzymałości metali, ponieważ polimery mają bardziej regularną budowę, zaś ich skład chemiczny łatwo jest badać. Polimery — sztuczne materiały wkraczają obecnie w życie; badanie ich własności mechanicznych, ważne dla zastosowań praktycznych, jest jednym z najważniejszych zagadnień, na których musimy się skoncentrować i nad którymi — jak mi się wydaje — możemy całkiem dobrze skoncentrować się w skali międzynarodowej.

Przy okazji interesujące byłoby zanotować, iż badanie magnetycznych i elektrycznych własności metali jest na dobrym poziomie, zaś teoria tego zagadnienia rozwija się w sposób zadowalający. Wszystko posuwa się naprzód tak dobrze, że nie możemy tu oczekiwać w przyszłości rozwoju o charakterze rewolucyjnym. Wiedza, którą w tej dziedzinie posiadamy, w pełni zaspokaja potrzeby praktyki dnia dzisiejszego. Odkrycie materiałów wykazujących nadprzewodnictwo w temperaturze pokojowej lub bliskiej pokojowej doprowadziłoby do rewolucji w technice. Jednak teoria wykazuje coraz bardziej, że nadprzewodnictwo nie

może występować powyżej temperatury Debyea i że całkiem nieprawdopodobne jest, aby materiały takie zostały znalezione.

Wreszcie istnieją dwa wyróżniające się zagadnienia. Problem reakcji termojądrowej, tak dobrze znany i przedyskutowany, że wspomnę go tylko krótko. Jest to problem Nr 1 fizyki współczesnej, zależny — ogólnym zdaniem — od utworzenia plazmy w dostatecznie wysokich temperaturach.

Podbój przestrzeni kosmicznej jest głównym tematem dnia. Odgrywa on wielką rolę, zrobiono wiele w tej dziedzinie i wiele już osiągnięto. Pytamy, jakie praktyczne rezultaty może przynieść rozwiązanie tego zagadnienia. Czy rozszerzenie możliwości osiedlania się na innych planetach? Jest to oczywiście bardzo daleka historia. Jeszcze nie tłoczmy się, mamy dość miejsca tu. Jedynym praktycznym znaczeniem, jakie możemy zobaczyć w rakietach kosmicznych, jest problem pozbywania się odpadów z reaktorów atomowych. Odpady promieniotwórcze narażają w tak wielkich ilościach, a ich magazynowanie jest tak trudne i niebezpieczne, że stanowi główną przeszkodę w rozwoju techniki atomowej. Wysłanie odpadów w przestrzeń kosmiczną uczyni je bezpiecznymi dla ludzkości oraz będzie rozwiązaniem wcale niekosztownym, gdyż rakiety nie są zbyt drogie. Uwolnienie się na tej drodze od odpadów radioaktywnych jest bardzo praktycznym wyjściem z trudności. Istnieje więc związek między reaktorami jądrowymi i raketami.

Jest i inne zagadnienie, które — jak mi się wydaje — nie przyciąga dostatecznej uwagi i któremu z pewnych powodów poświęca się mało czasu, chociaż powinno być rozwiązane w skali ogólnoswiatowej. Jest to problem bezpośredniej przemiany energii chemicznej w elektryczną. Węgiel można przemieniać na energię elektryczną poprzez utlenianie z wydajnością ok. 1,06%. Jednakże już przy użyciu skonstruowanych w Anglii generatorów gazowych możliwe jest, jak obliczyłem, osiągnąć wydajność 20—30% w produkcji tlenku z węgla, co przynosi ogromne oszczędności i ułatwienia. Niezrozumiałe jest dla mnie, dlaczego ludzie poświęcają tak mało uwagi temu zagadnieniu, choć droga do jego rozwiązania wydaje się obiecująca.

Istnieje następnie zagadnienie bezpośredniej przemiany energii chemicznej w mechaniczną. Jest to problem mięśni. Wiele nad tym pracowano. Natura pokazuje tu znów możliwości przemiany energii chemicznej w mechaniczną z wydajnością lepszą niż w większości znanych maszyn. Byłoby oczywiście wspaniałe robić małe silniki, zbudowane na tej zasadzie. Jednakże nie zrozumieliśmy dotąd w sposób dostateczny, dlaczego pewne włókna organiczne skracają się pod wpływem zmian otoczenia i w jaki sposób proces ten zachodzi. Sądzę, że mały samochód zbudowany na tej zasadzie nie zatrzymałby powietrza w mieście i dałby wielkie korzyści dla ludzkości. Problemem jest więc tu przemiana energii chemicznej w mechaniczną bez wzrostu temperatury ponad cykl termodynamiczny. Takie byłyby perspektywy w tej dziedzinie. Wydaje mi się, że zasadniczą rzeczą jest, że nauczyliśmy się wytwarzać syntetycznie polimery i że wcześniej lub później znajdziemy taki polimer i zrozumiemy mechanizm tej przemiany, oczywiście z punktu widzenia fizyków, a nie biologów.

Oto są podstawowe zadania, a teraz przejdźmy do problemów nauk biologicznych.

PROBLEMY W BIOLOGII

Myślę, że my, fizycy, utrzymujemy się przy niewłaściwych poglądach na biologię. Patrzymy na nią z punktu widzenia możliwości interpretowania procesów biologicznych na podstawie procesów fizycznych. Odczuwam, że właściwe stanowisko jest dokładnie odwrotne. Przez badanie nad biologią musimy wzbogacać fizykę. Przyroda jest ciągle jeszcze lepszym inżynierem budowniczym niż człowiek i ciągle jeszcze nie rozumiemy wszystkiego, co ona zbudowała i wykonała. Zna ona lepiej niż człowiek prawa przyrody i w związku z obecnymi poglądami nasz stosunek do fizyki i biologii musi ulec zmianie. My, fizycy, musimy uczyć się praw przyrody. Faktycznie w pewnym sensie pokonaliśmy przyrodę, np. człowiek, a nie przyroda stworzył łańcuchową reakcję rozszczepienia uranu. A zatem możemy współzawodniczyć z przyrodą. Jednak w dziedzinie energii mięśni wiemy, że przyroda przekształca energię chemiczną w energię mięśni, ale jak dotąd nie zrozumieliśmy tego procesu.

Jest jeszcze jedno pole, na którym przyroda nas przewyższa i to pole, któremu poświęcamy bardzo mało uwagi. Popatrzmy na przyrządy fizyczne, stosowane w naszych laboratoriach. Są one bardziej czułe niż zmysły, które człowiek posiada. Mikrofon słyszy lepiej niż ucho, fotokomórka postrzega lepiej i szerszą część widma niż oko, nasze uczucie równowagi jest znacznie mniej doskonałe. Tylko jeden zmysł — zmysł powonienia, tj. określania obecności małych ilości obcych ciał jest lepszy. Nie mamy w laboratoriach nic, co można by porównać z nosem psa, z jego zmysłem powonienia. Pies czuje tak nieznaczne ilości atomów, że nie jest podobny do żadnego przyrządu stworzonego przez człowieka. Albo weźmy degustatorów. Swego czasu Langevin wywarł na mnie wielkie wrażenie; kiedy byliśmy razem na kongresie w Zurychu w 1925 r. Langevin wziął butelkę wina i tylko popróbowawszy go powiedział, jaki to gatunek oraz z którego roku! Wziął on puchar, ogrzał go w rękę, a następnie powiedział, co to za wino — on go czuł! Langevin był wielkim smakoszem win i był z tego bardzo dumny, być może nawet więcej niż ze swych sukcesów w fizyce. Jednakże nie ma takiego przyrządu fizycznego, który mógłby zrobić to, co zrobił Langevin z winem.

Analiza promieniotwórcza, którą rozporządzamy dla domieszek nieorganicznych, wykazuje 10^{-6} - 10^{-7} domieszek. Ten dział analizy zaczyna się dopiero rozwijać, znajduje się w stadium początkowym, ale oczywiście jest to wielki sukces. Lecz w dziedzinie związków organicznych, kiedy trzeba ustalić obecność związków organicznych, nie rozumiemy, w jaki sposób zbudowała przyroda tak potężny instrument jak ludzkie powonienie i na czym ten instrument się opiera. Oczywiście dla fizyków nie jest to sprawa badania żywej przyrody, lecz zrozumienia procesów, które — nie ulega wątpliwości — są procesami fizycznymi.

Pytamy teraz, jeżeli nie dokonaliśmy jeszcze zasadniczo nowych odkryć, a tylko pracujemy nad nimi, to czy wiemy dość, aby wytłumaczyć procesy zachodzące w przyrodzie. Możliwe, i ja osobiście jestem tego zdania, że istnieją w przyrodzie procesy, które wymagają zmian w naszych prawach fizycznych. Współczesna wiedza nie wystarcza, aby

wytłumaczyć takie zjawiska przyrodnicze. Aby uczynić moją myśl bardziej konkretną, weźmy następującą analogię. Cechą charakterystyczną przyrody jest odtwarzanie, jest to podstawowa cecha żywej przyrody. Czy potrafimy ją wyjaśnić?

Weźmy na przykład duże skupienie atomów, objawia się w nim silne przyciąganie grawitacyjne, którego nie potrafimy zaobserwować u indywidualnych atomów. Zatem więc w dużych skupieniach atomów o rozmiarach kosmicznych, objawia się nowa cecha charakterystyczna, której nie posiada indywidualny atom. Czy nie pojawi się ona, jeżeli uporządkujemy atomy w określony sposób. Jeśli porządek ten będzie posiadał pewną regularność, wówczas ta cecha charakterystyczna może być odtwarzana, a więc może być tym, czego nie możemy dotąd pojąć, czego nie potrafimy zrozumieć. Jeżeli potrafimy opisać ten porządek w sposób ilościowy, może on mieć całkiem niezależny charakter. Nie jest to oczywiście witalizm, lecz dokładnie coś przeciwnego. Istotnie wiele pożytecznego dla fizyki można osiągnąć od przyrody żywej. Sporo korzystamy od niej obecnie w dziedzinie polimerów. Chemicy wytworzyli bowiem polimery z żywej przyrody — z kauczuku, który stanowi podstawę reakcji polimeryzacji. Ogólnie uczymy się struktury polimerów w przyrodzie i musimy kontynuować te badania. Okazuje się więc, że obecnie zasadniczym zadaniem i problemem dla fizyków jest zabrać się do badań nad naturalnymi zjawiskami, których nie rozumiemy.

Całkiem wyjątkowe sukcesy osiągnęli w biologii genetycy — szczególnie w tym, że zrozumieliśmy jeden z najtrudniejszych problemów, tj. jak przemieniać zwierzęta; w zrozumieniu co to jest mutacja i jak wpływać na mutacje. Jest to rzecz kolosalna. Trzeba powiedzieć otwarcie, że jeśli uda nam się regulować mutacje, tj. przemieniać gatunki według naszych życzeń, wówczas będziemy mogli wpływać na przyrodę tak, że wynik tego posiadałby o wiele większe znaczenie niż wszystkie nowoczesne osiągnięcia fizyki atomowej. Na tym polu stoimy wobec rewolucji we wpływaniu na żywą substancję — na organizm. Czynimy to obecnie w sposób niedojrzały, jak byśmy uderzali młotem w mechanizm, rozbrajali go, jednakże regulujemy, przemieniamy organizmy. Potrafimy tego dokonać oczywiście jedynie z tak elementarnymi strukturami, jak bakterie i wirusy. Z delikatnymi strukturami nie osiągniemy jednak nic przy pomocy tak przypadkowych ciosów młota. Jeśli uderzymy młotkiem w człowieka, nie stanie się on bardziej mądry. A przecież powinniśmy stworzyć możliwości regulowania mutacji przekształcania ich w bardziej doskonałe rodzaje. Wszelkie metody selekcyjne są powolne, nieefektywne i wymagające ogromnie wiele pracy. Biolodzy potrafią wam powiedzieć lepiej ode mnie, jakie są nadzieje na powodzenie. Jest to z pewnością jeden z największych problemów dnia dzisiejszego.

Czytałem kiedyś utopijną powieść *Nowy wspaniały świat* Aldousa Huxleya. Pokazuje ona, jak można zmienić strukturę całego społeczeństwa za pośrednictwem biologicznego wpływu na człowieka i jego otoczenie. Nie wiem, czy Huxley miał rację — odrzucił on te idee w ostatnich pracach, jednakże myśl o takiej Utopii jest interesująca.

NAUKI SPOŁECZNE

Oczywiście nie mogłem poruszyć wszystkich problemów w dziedzinie biologii. Chciałbym poświęcić kilka słów naukom stojącym po przeciwnej stronie w stosunku do fizyki i nauk przyrodniczych. Są to nauki związane z wyższą czynnością nerwową człowieka. Nazywamy je naukami społecznymi.

Zrozumienie wyższej czynności nerwowej człowieka jest sprawą absolutnie konieczną i to nie tylko po to, aby go wychowywać, kształcić, organizować jego pracę, kierować nim, lecz również, by pojąć właściwą organizację państwa. Oba te czynniki bez względu na ich wagę znajdują się obecnie, a i będą się długo jeszcze znajdować, poza polem działania nauk przyrodniczych. Nauki te muszą mieć swe prawa, swe metody pracy, jednakże winny być one ilościowe, winny posiadać właściwe parametry dla opisu zjawisk społecznych.

Cóż możemy powiedzieć o naukach społecznych, my, pracujący w dziedzinie nauk przyrodniczych? Usłyszeliśmy tu dwa referaty przedstawiające filozoficzny punkt widzenia na nasze problemy. Muszę powiedzieć bez ceremonii, że uważam je za nudne. Będę szczery, kiedy przystępuję do dyskusji filozoficznej nad takimi problemami, wspomnę słowa Einsteina. Mówił on: „kiedy studiuję prace filozoficzne, czuję, że polykam coś, czego nie mam w ustach”. Ja sam również nie dostrzegam realnej ilościowej wartości studiów filozoficznych. Jednakże wierzę, że nie zawsze tak być musi, że może być całkiem przeciwnie. Wystarczy przeczytać Pawłowa czy Freuda, aby się przekonać, iż nawet w królestwie wyższej czynności nerwowej mogą istnieć ilościowe pojęcia oparte na konkretnych danych, jakie może stworzyć nauka. Wystarczy też przeczytać dzieła Marksa, aby przekonać się, że i dziedzinę nauk społecznych można oprzeć na parametrach ilościowych i ogólnych prawach. Nie ma co do tego wątpliwości. Dlaczego więc praca ta rozwija się ciągle tak powoli? Istotnie nadszedł czas, aby prowadzić badania w tym kierunku. Czujemy, że nauka daje w ręce Państwa takie możliwości jak np. bomba atomowa, że konieczne jest, aby porządek społeczny był zbudowany we właściwy sposób. W przeciwnym razie może nastąpić nieszczęście.

Maszyna państwa musi być zbudowana tak samo precyzyjnie, jak każda maszyna elektryczna. Musi ona funkcjonować z korzystnym współczynnikiem wydajności, musi zostać zbudowana w zgodności z dokładnymi prawami, musi być obliczona. Postęp jest bardzo powolny, ponieważ tak jednak nie jest. Nie wiem — być może myślę się, ale wydaje mi się, że jedną z największych przeszkód w tym kierunku jest brak obiektywnego podejścia do nauk społecznych. Istnieje widocznie ciągle wiele uprzedzeń. Weźcie na przykład prace Marksa. Zostały napisane przed 100 laty i są niewątpliwie uważane za podstawowe w dziedzinie socjologii, z której wynikają inne nauki. Marks potrafił sformułować szereg praw dotyczących budowy społeczeństwa, potrafił wykazać wpływ czynników ekonomicznych na jego rozwój.

W waszych szkołach średnich uczył was praw Newtona, ale dlaczego nie uczył was w krajach kapitalistycznych praw marksowskich. Są to przecież prawa społeczne, obowiązujące dla całego globu. Obowiązują

one wszędzie tam, gdzie istnieje społeczeństwo, we wszystkich ludzkich zbiorowiskach tak, jak prawa ciążenia odkryte przez Newtona obowiązują dla każdego ciała. Dlaczego prawa te są ignorowane w zależności od społeczeństwa? Tylko na podstawie pewnych przesądów społeczno-religijnych. Te społeczno-religijne przesady wstrzymują rozwój nauk społecznych i jeśli nie zostaną pokonane, wówczas nauki te prawie nie będą się rozwijać.

Muszę przeprosić za to, że tak długo mówiłem i podziękować wam za uwagę. Nie czuję się zadowolony, że podjąłem się omówienia zbyt dużej dziedziny i przedyskutowania zbyt wielu spraw. Proszę was o wybaczenie błędów, które — być może — popełniłem. Jednakże, jeśli udało mi się pobudzić i skatalizować wasze myśli w jakimkolwiek kierunku, będę całkowicie zadowolony.

tłum. Jacek Kornacki

Maciej Suffczyński

REZONANS BEZ ODRZUTU

I

Fizyka uzyskała ostatnio niezwykle cenną metodę, o rewelacyjnych wartościach pomiarowych. Dało ją odkrycie rezonansu jądrowego bez odrzutu. Efekt ten stwarza zupełnie nieoczekiwane możliwości dokładnego mierzenia czasów i energii.

Jądro atomowe emitujące foton gamma przy przejściu z wzbudzonego stanu kwantowego na niższy doznaje na ogół odrzutu. Energia odrzutu R wyznaczona jest przez energię fotonu gamma $h\nu$ i masę jądra M , zgodnie z prawem zachowania pędu. Oznaczając prędkość światła przez c mamy

$$R = (h\nu)^2 / 2 M c^2. \quad (1)$$

Wobec tej straty energii na odrzut emitowany foton gamma nie ma energii równej różnicy poziomów energetycznych jądra. Dlatego nie będzie mógł być pochłonięty przez takie samo jądro znajdujące się w spoczynku w stanie podstawowym. Można powiedzieć, że na skutek odrzutu rozstraja się rezonans między emisją a absorpcją: linie emisji i absorpcji rozsuwają się względem siebie na skali częstości.

Poza tym jądra na skutek ruchu cieplnego, w jakim się zawsze znajdują, mają i linie emisji i linie absorpcji promieni gamma poszerzone tym bardziej im wyższa jest temperatura. Kształt linii ilustruje rys. 1.

W doświadczeniach absorpcji kwantów gamma przez jądra tego samego rodzaju jak te, które są źródłem promieniowania, tylko drobny ułamek kwantów zależny od pola zakreskowanego na rys. 1 dozna wychwycenia rezonansowego.

Skoro przyczyną rozstrojenia rezonansu jest odrzut jądra, to zmniejszenie odrzutu poprawi warunki rezonansu. Na przykład wybór jąder o większej masie pozwala zmniejszyć trochę energię odrzutu, ale wymaga to przejścia do innego jądra i zupełnie innej energii promieniowania gamma. Zresztą masy jąder zawarte są wszystkie w zakresie dwóch rzędów wielkości.

II

Jądra mogą jednak być związane w kryształach. Odrzut przy promieniowaniu przejmują wówczas kwanty drgań siatki krystalicznej, czyli fonony. Istnieje pewne skończone prawdopodobieństwo przejść, przy których odrzut przejmowany jest przez kryształ jako całość. Ten fakt, że w makroskopowym kryształe mamy liczbę atomów rzędu 10^{23} sprawia, że energia odrzutu maleje w takich przejściach o nadzwyczaj duży rząd wielkości. Praktycznie takie przejścia odbywają się zatem bez odrzutu.

Fizykom rentgena znany jest dobrze czynnik Debye'a—Wallera określający ułamek przejść promienistych odbywających się w kryształach bez odrzutu. Jeśli uwzględnić związanie jądra w kryształach z fononami sieci krystalicznej jako zaburzenie, to rachunek perturbacyjny daje na ten czynnik wyrażenie

$$f = e^{-w(T)}, \quad (2)$$

gdzie $w(T)$ jest, jeśli przyjąć model Debye'a, widmo drgań sieci,

$$W(T) = \frac{6R}{k\Theta} \left[\frac{1}{4} + \left(\frac{T}{\Theta} \right)^2 \int_0^{\frac{\Theta}{T}} \frac{t dt}{e^t - 1} \right]; \quad (3)$$

T oznacza temperaturę bezwzględną kryształu, k stałą Boltzmanna, Θ średnią temperaturą Debye'a

$$\Theta = \frac{h}{k} \tilde{c} \left(\frac{3N}{4\pi V} \right)^{1/3}. \quad (4)$$

N jest tu liczbą atomów w objętości V kryształu, $\tilde{c}$ średnią prędkością głosu w kryształach.

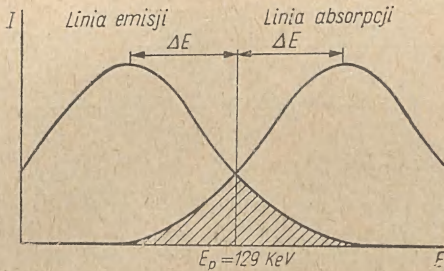
Zależność czynnika f od temperatury obrazuje przykładowo rys. 2.

W. E. Lamb junior rozwinął w 1939 r. teorię rezonansowego wychwytu powolnych neutronów i zauważył, iż ostry rezonans może być zapewniony, jeśli jądra emitujące i absorbujące związane będą w kryształach. Lamb wyliczył rachunkiem perturbacyjnym położenie i kształt linii absorpcyjnej wychwytu i znalazł, że przy silnym związaniu jądra z siecią i w niskich temperaturach występuje przy energii rezonansowej wysokie maksimum absorpcji. W roku 1953 P. B. Moon i A. Storruste w Birmingham pokazali doświadczalnie, że można skompensować odrzut jądra makroskopową prędkością. Obracali na wirówce ze stosowną szybkością rtęć promieniotwórczą i uzyskali rezonans w spoczywającym obok absorbencie rtęciowym.

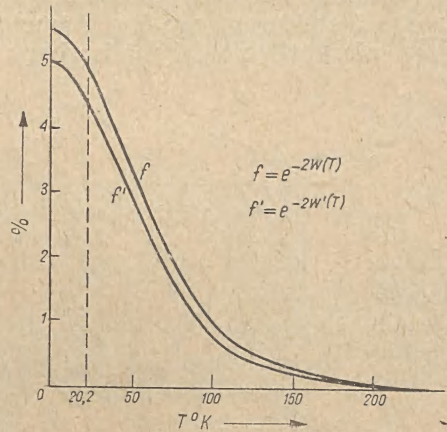
Ale dopiero w 1958 r. Rudolf L. Mössbauer z Instytutu Maxa Plancka w Heidelbergu zastosował rachunek Lamba do kwantów gamma, ustalił warunki temperatury, w jakich rezonans bez odrzutu ma spore prawdopodobieństwo i wykonał doświadczenie absorpcji rezonansowej na jądrach w kryształach metalu.

Linie emisji i absorpcji zmodyfikowane przez związanie jąder w kryształach wykazują kształt i położenie prawie takie samo jak w gazie

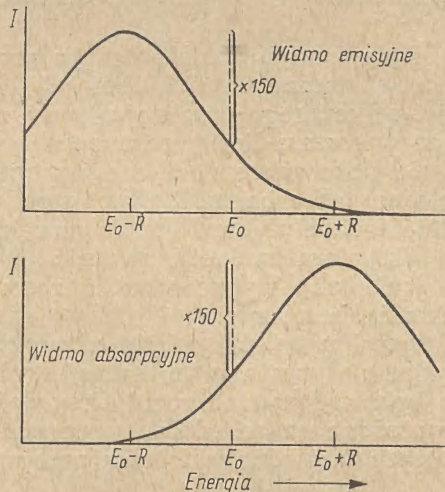
idealnym, z tym, że dla energii rezonansowej wznosi się, przy temperaturach $T < \Theta$, linia, której szerokość wyznaczona jest tylko przez czas życia poziomego wzbudzonego. Ta linia pochodzi od przejść bez od-



Rys. 1. Kształt i położenie wzajemne linii emisji i absorpcji promieniowania 129 keV jądra ^{191}Ir przy $T = 300^\circ\text{abs}$



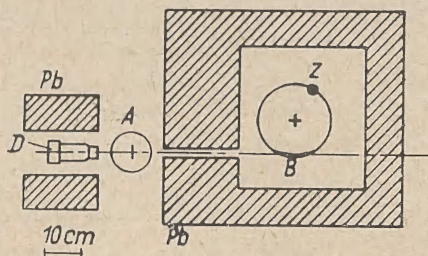
Rys. 2. Ułamek $f(T)$ kwantów gamma 134 keV ^{187}Re emitowanych bez odrzutu przy dwóch różnych temperaturach Debye'a źródła: f przy $\Theta = 310^\circ$ i f' przy $\Theta = 300^\circ$



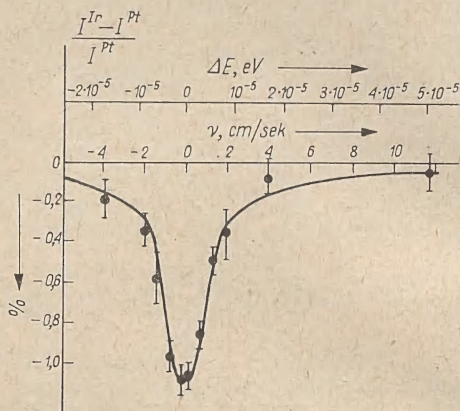
Rys. 3. Kształt i położenie widma emisji i absorpcji przejścia 129 keV ^{191}Ir przy $T = 88^\circ\text{abs}$. Czas życia poziomego $\tau' = 10^{-10}$ sek. Jednostki natężenia promieniowania na osi rzędnych są dowolne. Wysokość linii rezonansu bez odrzutu w $E_0 = h\nu$ przedstawiono skróconą w stosunku 1:150. Według pracy: R. L. Mössbauer, *Zeits. f. Physik* 151, 124 (1958)

rzutu. Jej wysokość narasta silnie z temperaturą zgodnie ze wzorem (2), (3). Kształt całej linii emisji i absorpcji w kryształach przedstawia rys. 3.

W pierwszym doświadczeniu Mössbauera źródłem promieniowania były jądra irydu ^{191}Ir . Umieszczony w kriostacie kryształ zawierał izotop ^{191}Os . Izotop ten przechodzi we wzbudzony ^{191}Ir , który emituje fotony gamma, będące mieszaniną promieniowania magnetycznego dipolowego i elektrycznego kwadrupolowego. Wiązka promieni przechodziła przez płaskorównoległy absorbent z tego samego irydu, umieszczony



Rys. 4. Schemat doświadczenia Mössbauera. A — kriostat z absorbentem, $T = 88^\circ\text{abs.}$, B — obracający się kriostat ze źródłem Z, $T = 88^\circ\text{abs.}$, D — detektor promieniowania



Rys. 5. Względna różnica natężenia promieniowania gamma przechodzącego przez absorbent irydowy i platynowy, jako funkcja względnej prędkości źródła i absorbentu

znowu w kriostacie. Dalej znajdował się licznik scyntylacyjny na promienie gamma. W niskich temperaturach około 88°abs. otrzymał Mössbauer znaczny wzrost całkowitego przekroju czynnego na absorpcję rezonansową zgodnie ze wzrostem liczby rezonansów bez odrzutu.

W następnym z kolei doświadczeniu Mössbauer wprowadził źródło w ruch makroskopowy względem absorbenta. Schemat podaje rys. 4. Obrotowy ruch bębna nadaje źródłu prędkość paru cm/sec. Ta mała prędkość przez zwykły efekt Dopplera zmienia częstość emitowanego promieniowania gamma na tyle, aby wypadło ono z rezonansu, albo wróciło do rezonansu z jądrami absorbenta.

Mössbauer porównywał natężenie wiązki przechodzącej przez płytkę irydową i przez płytkę platynową o tej samej grubości, przy różnych prędkościach obrotu bębna. Przykład rezultatów doświadczalnych dany jest na rys. 5, gdzie ułożono na osi odciętych prędkości liniowe obwodu bębna, a na osi rzędnych względne natężenia przepuszczonych promieni gamma.

III

Powiedzieliśmy, że przy emisji z atomu swobodnego odrzut sprawia, iż nie obserwuje się energii fotonu gamma odpowiadającej dokładnie różnicy energii poziomów jądrowych. Nie obserwuje się też szero-

kości linii odpowiadającej czasowi życia poziomu wzbudzonego. Przesunięcie linii wyznaczone przez energię odrzutu jest rzędu mniej więcej 10^{-2} eV i taka jest obserwowana cała szerokość linii.

Natomiast przy emisji bez odrzutu energia gamma dokładnie równa się różnicy poziomów energetycznych jądra, zaś szerokość wyznaczona jest wprost przez czas życia τ poziomu wzbudzonego

$$\Gamma = \hbar/\tau = \hbar \ln 2/T_{1/2}. \quad (5)$$

W doświadczeniu Mössbauera energia promieniowania gamma ^{191}Ir jest $\hbar\nu = 129$ keV, czas zaś połowicznego zaniku $\tau = 10^{-10}$ sek, zatem $\Gamma/\hbar\nu = 4 \cdot 10^{-11}$. Można przejść tę szerokość linii zmieniając częstość ν fotonów gamma w absorbcencie efektem Dopplera, nadając źródłu makroskopową prędkość rzędu centymetra na sekundę.

Można kontrolować dobrze prędkości jeszcze o rząd wielkości mniejsze. Przesunięcie linii rezonansu bezodrzutowego o wielkość odpowiadającą 1% jej szerokości daje już wyraźne zmniejszenie absorpcji. Takie przesunięcie jest więc jeszcze mierzalne. Można wobec tego rozróżniać częstości z dokładnością lepszą aniżeli 10^{-12} . Stanowi to zupełnie niezwykły postęp ilościowy w stosunku do jakichkolwiek znanych nam dotychczas dokładności wyznaczania częstości. Na przykład mierzenie czasów życia poniżej 10^{-11} sek nie było praktycznie możliwe dotychczasowymi metodami, posługującymi się głównie koincydencjami opóźnionymi.

Efektywny przekrój czynny w maksimum linii absorpcji bez odrzutu, z uwzględnieniem współczynnika konwersji wewnętrznej α wyraża się

$$\sigma_{\max} = \frac{2I_a + 1}{2I_g + 1} \frac{2\pi c^2 \hbar^2}{(\hbar\nu)^2} \frac{f(T)}{1 + \alpha}. \quad (6)$$

I_a , I_g oznaczają spiny stanu wzbudzonego i podstawowego jądra. Wiadąc z rys. 2, że prawdopodobieństwo absorpcji bezodrzutowej promieniowania gamma będzie na ogół bardzo małe ze względu na czynnik Debye'a—Wallera. Czynnik ten nie będzie znikomy tylko wtedy, gdy $R \lesssim 2\theta k$. Warunek ten ogranicza energię gamma dla jąder o średnich i dużych liczbach masowych do energii nie większych niż 100 keV. W przypadkach $R \ll \theta k$ czynnik f jest spory nawet w temperaturach pokojowych. Natomiast, gdy $R \approx \theta k$ trzeba dla obserwacji absorpcji bezodrzutowych zejść z temperaturą T do zakresu helowego. Przy $T = 4^\circ \text{ abs.}$, czyli w ciekłym helu, przeważająca liczba drgań sieci znajduje się w stanie podstawowym, dalsze obniżanie temperatury nie powiększy już ułamka procesów bezodrzutowych.

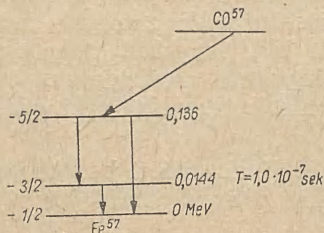
Poszukiwanie optymalnych warunków absorpcji bez odrzutu zmierzając więc w kierunku substancji, które posiadają izotopy emitujące promienie gamma paru dziesiątek keV, krystalizujące przy tym tak, by temperatura Debye'a była jak najwyższa. Temperatura Debye'a jest, najprościej mówiąc, miarą twardości kryształu. Jak dobrze jej liczbowe wartości zgadzają się ze znanymi z codziennej praktyki wyobrażeniami o sztywności czy twardości różnych kryształów, świadczy poniższe zestawienie.

Średnia temperatura Debye'a

Bismut	80°
Ołów	88°
Tal	100°
Piryt FeS ₂	645°
Beryl	1000°
Diament	1800°

IV

Najpowszechniej stosuje się obecnie do doświadczeń typu Mössbauera linię gamma 14,4 keV emitowaną przez stan wzbudzony ^{57}Fe o czasie życia $1,4 \cdot 10^{-7}$ sek. Własna szerokość połówkowa linii gamma jest więc $\Gamma = 4 \cdot 10^{-9}$ eV, stąd $\Gamma/h\nu = 3 \cdot 10^{-13}$. Schemat rozpadu kaskadowego podany jest na rys. 6. Próbkę żelaza pokrywa się metodą galwaniczną izotopem ^{57}Co i wygrzewa przez parę godzin w temperaturze 700°C. Korzystne jest w doświadczeniach z ^{57}Fe liczyć kwanty gamma licznikami proporcjonalnymi napełnionymi kryptonem pod ciśnieniem 1/4 atmosfery. Krypton ma bowiem krawędź absorpcji tuż poniżej energii promieni gamma 14,4 keV.

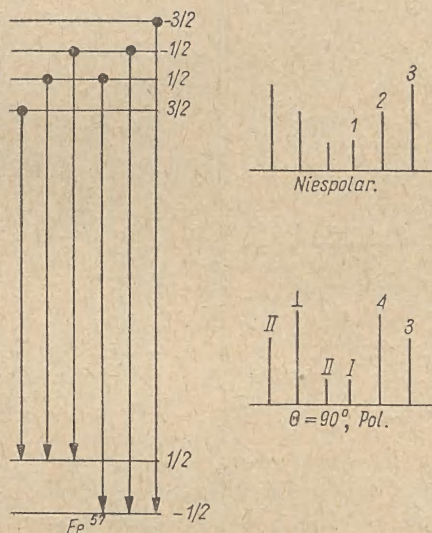


Rys. 6. Schemat rozpadu ^{57}Co . Energie poziomów jądrowych w MeV zaznaczone są po prawej stronie wykresu

Spośród niezwykłych możliwości, jakie otwiera przed fizyką doświadczalną odkrycie rezonansu bezdrzutowego, wymienimy kilka dotychczas wykorzystanych. Można przy pomocy tego efektu mierzyć momenty magnetyczne dipolowe i elektryczne kwadrupolowe stanów wzbudzonych jąder, a nie tylko stanów podstawowych. W fizyce ciała stałego można mierzyć pole wewnętrzne w kryształach, magnetyczne i elektryczne. Mierzenie ich było dotychczas ogromnie trudne, metod istniało zaledwie kilka i to bardzo niedoskonałych.

Pomiary absorpcji rezonansowej w żelazie w polu magnetycznym wykonali S. S. Hanna, J. Heberle, C. Littlejohn, G. I. Perlow, R. S. Preston i D. H. Vincent w Argonne National Laboratory. Spiny stanów wzbudzonych i stanu podstawowego jądra żelaza warunkują jego momenty magnetyczne. Momenty te współdziałają z wewnętrznym polem magnetycznym w kryształach, co daje subtelną strukturę linii rezonansowej. Schemat poziomów ^{57}Fe przedstawiony jest na rys. 7. Jeśli przejście gamma jest magnetyczne dipolowe, to reguły wyboru, wynikające wprost z prawa zachowania momentu pędu, dają schemat linii przedstawiony również na rys. 7. Rys. 8 przedstawia teoretyczne natężenia linii. Następny rys. 9 pokazuje otrzymane widmo nadsubtelne ^{57}Fe dla nienamagnesowanego źródła i absorbentu oraz dla źródła i absorbentu namagnesowanego polami prostopadłymi do wiązki promieni gamma. Źródło i absorbent polaryzowano równolegle (||) i prostopadle (⊥) wzajemnie do siebie. Spolaryzowany absorbent jest tu

wprost analizatorem polaryzacji promieniowania. Analiza widma nadsubtelnego pozwala wyznaczyć moment magnetyczny stanu wzbudzonego, ponieważ moment stanu podstawowego jądra znany jest już z klasycznych doświadczeń spektroskopii jądrowej. Tak więc w żelazie dipolowy moment magnetyczny poziomu 14,4 keV okazał się równy $-0,153 \pm$



Rys. 7. Schemat poziomów ^{57}Fe . U góry po prawej stronie zaznaczono widmo nadsubtelne niespolaryzowane, liczby oznaczają natężenia względne. Poniżej zaznaczono widmo spolaryzowane. Polaryzacja każdej składowej w stosunku do wewnętrznego pola magnetycznego jest równoległa ($\parallel$) albo prostopadła ($\perp$). Według pracy: S. S. Hanna et al., *Phys. Rev. Letters* 4, 177 (1960)

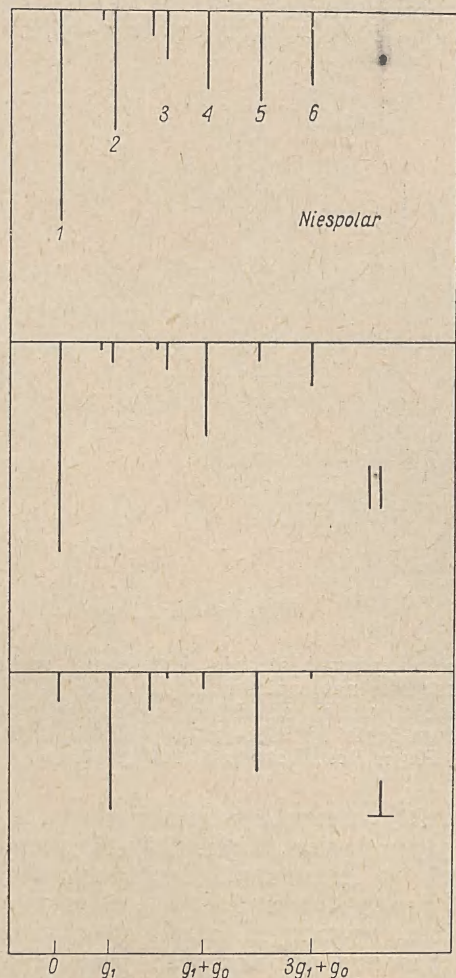
$\pm 0,004$ magnetonów jądrowych, a efektywne pole wewnętrzne w kryształach w miejscu, gdzie znajduje się jądro równe $(3,33 \pm 0,10) \cdot 10^5$ oerstedów. Wyznaczanie pól wewnętrznych w kryształach ferromagnetycznych z tak wielką dokładnością jest nowym cennym zyskiem odkrycia Mössbauera. W związku ze szczególnie wygodnym narzędziem, jakim jest izotop ^{57}Fe , wiele pomiarów wykonano dla ważnych praktycznie tlenków i siarczków żelaza, a więc dla Fe_2O_3 i FeS_2 .

Ponieważ przekrój czynny na rezonans bez odrzutu silnie zależy od wiązania jąder w siatce krystalicznej, należy się spodziewać, że efekt Mössbauera będzie mógł dostarczyć informacji o widmie drgań siatki. Dalej interesujące będą badania przy pomocy tego efektu wiązań domieszek w metalach i półprzewodnikach.

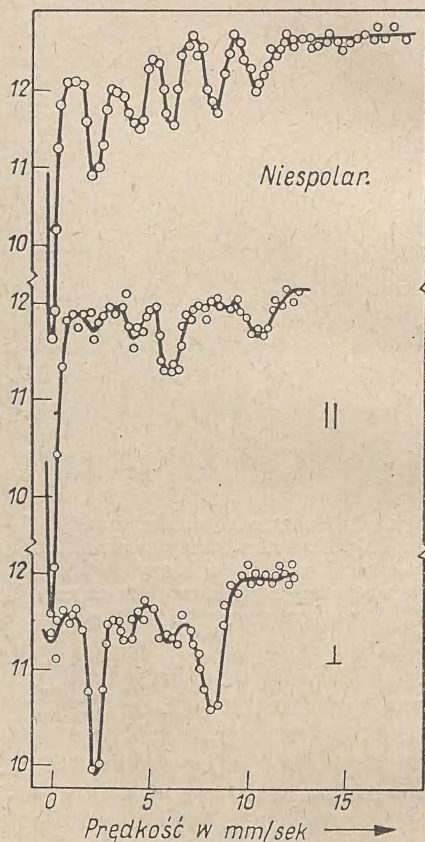
Rezonans bez odrzutu zaobserwowano dotychczas w szeregu izotopów. Dane o nich podaje tabelka 1. Zwróćmy tu uwagę na jeden, szczególnie interesujący przykład, na ^{67}Zn .

Jak widać z tabelki 1 wyróżnia się on niezwykle wąską linią gamma $\Gamma/h\nu = 5 \cdot 10^{-16}$. Wobec takiej wąskości linii wzajemne prędkości źródła i absorbentu rzędu 10^{-5} cm/sek $= 0,1 \mu$ /sek dają przesunięcie dopplerowskie rzędu szerokości linii. Wytwarzanie w kontrolowany sposób tak

małych prędkości jest dzisiaj niemożliwością. Wobec tego fizycy w Los Alamos (P. P. Craig, D. E. Nagle, D. R. F. Cochran, W. E. Keller i in.) związali źródło i absorbent na sztywno ze sobą i podwiesili



Rys. 8



Rys. 9

Rys. 8. Widmo linii wynikające ze schematu poziomów ^{57}Fe przedstawionego na rys. 7. U góry: źródło i absorbent są nienamagnesowane. W środku: źródło i absorbent są namagnesowane równolegle do siebie. U dołu: źródło i absorbent są namagnesowane prostopadłe do siebie. Główne linie są ponumerowane od 1 do 6. Stosunki gyromagnetyczne stanu podstawowego i wzbudzonego są oznaczone odpowiednio przez g_0 i g_1 .

Rys. 9. Nadształtne widmo ^{57}Fe . U góry: źródło i absorbent są nienamagnesowane. W środku: źródło i absorbent są namagnesowane równolegle do siebie. U dołu: źródło i absorbent są namagnesowane prostopadłe do siebie.

na sznurach w kriostacie w temperaturze 2°abs . Absorbent poddano polu magnetycznemu ekranując od tego pola źródło. Zmiana natężenia pola magnetycznego przesuwiała położenie linii nadształtnej struktury

Tabela 1

$h\nu$ kev	Izotop rezonansowy (absorbent)	Temperatura Debye'a (absorbentu)	Izotop macierzysty (źródło)	$T_{1/2}$, sek	$\Gamma/h\nu$
8,4	^{169}Tm	166°	^{169}Er	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-11}$
8,4	^{169}Tm	166°	^{169}Yb	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-11}$
14,4	^{57}Fe	420°	^{59}Co	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-13}$
23,8	^{119}Sn	180°	^{119}Sn	$9,9 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-12}$
26	^{161}Dy	158°	^{161}Tb	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-13}$
73	^{193}Ir	285°	^{193}Os	$5,7 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-12}$
77	^{197}Au	170°	^{197}Pt	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-12}$
77	^{197}Au	170°	^{197}Hg	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-12}$
80,6	^{166}Er	163°	^{166}Ho	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-12}$
93	^{67}Zn	260°	^{67}Ga	$9,4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-16}$
100	^{182}W	310°	^{182}Ta	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-12}$
113	^{177}Hf	213°	^{177}Lu	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-11}$
129	^{191}Ir	285°	^{191}Os	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-11}$
134	^{187}Re	300°	^{187}W	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-10}$

widma gamma. Przy wartościach pola około 10 i 60 gaussów zaobserwowano dwie linie rezonansu bezodrzutowego. Aby mieć do czynienia z wyższą temperaturą Debeya, cynk stosowano w postaci tlenku ZnO , który ma $\theta \approx 280^\circ \text{abs}$.

Trudno nie wyrazić podziwu dla tych pomiarów realizujących dokładności mierzenia częstości o wiele rzędów wielkości lepsze od wszystkich dostępnych nam dotychczas.

V

Nadzwyczajny skok w technice mierzenia częstości, jaki dokonał się przez odkrycie Mössbauera, umożliwił ilościowe pomiary efektów relatywistycznych w skali laboratoryjnej. Jądro promieniujące czy pochłaniające promienie gamma dobrze określonej częstości stanowi zegar, tym dokładniejszy im dokładniej określona jest częstość tego promieniowania. Wychwyt rezonansowy stanowi bezpośrednie porównywanie dwóch takich zegarów. Dokładność porównania jest taka, że różnica częstości o jeden cykl na milion milionów cykli między źródłem i absorbentem spowoduje wypadanie praktycznie zupełne z rezonansu bezodrzutowego.

Już w 1905 r. Einstein, analizując pojęcie równoczesności na gruncie doświadczalnego faktu niezmienniej prędkości światła, doszedł do wniosku, że wskazania dwóch zegarów zależą od ich wzajemnej prędkości. Zegar S poruszający się z prędkością jednostajną v wskazuje mniejszy czas s niż zegar O , który spoczywa w układzie inercyjnym

$$ds = [1 - (v/c)^2]^{1/2} dt. \quad (7)$$

Jeżeli zegar O stale pozostaje w tym układzie, a zegar S początkowo w nim także spoczywa, następnie doznaje przyspieszenia, uzyskuje pewną prędkość, następnie doznaje znowu przyspieszenia zmieniającego kierunek jego prędkości tak, że wraca do punktu wyjścia, to w tym punkcie można wprost porównać jego wskazania s ze wskazaniem t zegara O . Okaze się zawsze, że S spóźnił się w stosunku do O . Jeżeli prędkość zegara S była $v(t)$ względem O , to

$$s = \int_0^t [1 - (v(t)/c)^2]^{1/2} dt. \quad (8)$$

Zegar spoczywający w układzie inercyjnym idzie najszybciej. Zegar, który doznaje przyspieszenia, idzie wolniej. W związku z tym powstał tzw. paradoks dwóch bliźniaków. Jeżeli z dwóch bliźniaków jeden pozostaje stale w spoczynku w układzie inercyjnym, a drugi podróżuje doznając przyspieszeń, to ten podróżujący, gdy się spotkają, będzie młodszy od tego, który nie doznawał przyspieszeń względem układu inercyjnego. Ten paradoks dwóch bliźniaków wiąże się ze znanym zjawiskiem wydłużenia czasu życia cząstek nietrwałych poruszających się z prędkościami bliskimi prędkości światła. Tak na przykład mezon μ ma czas życia w spoczynku 10^{-6} sek. Jednakowoż mezony poruszające się z prędkościami bliskimi prędkości światła przebywają w próżni nie drogi $3 \cdot 10^4$ cm, lecz znacznie, czasami i 100 razy dłuższe, zanim ulegną rozpadowi. Ich czas życia bywa bowiem 100 razy dłuższy na skutek zwolnienia tempa ich czasu wg formuły (7).

Z punktu widzenia szczególnej teorii względności rezonans bezodrzutowy jąder umieszczonych w kryształach o różnych temperaturach jest znakomitą realizacją doświadczenia dwóch zegarów, wyróżniającą się małymi rozmiarami przestrzennymi, w jakich rozgrywa się doświadczenie. Zegary, czyli jądra, doznają w ruchu cieplnym sporych przyspieszeń i powracają periodycznie do położenia równowagi. Porównują one swoje czasy przez wysyłanie i pochłanianie sygnału elektromagnetycznego w formie skończonego ciągu promieniowania gamma. Ponieważ średni czas życia stanu wzbudzonego ^{57}Fe jest $1,4 \cdot 10^{-7}$ sek, a częstość średnia emitowanego promieniowania gamma jest $3,46 \cdot 10^{18}/\text{sek}$, więc ciąg nasz zawiera $5 \cdot 10^{11}$ pełnych okresów drgań. W rezonansie bez odrzutu już różnica jednego cyklu na 10^{12} cykli sprawia wypadanie z rezonansu, czyli wyraźne zmniejszenie prawdopodobieństwa wychwytu kwantu. Spełnienie warunku rezonansu można osiągnąć, jak widzieliśmy, makroskopowym efektem Dopplera albo przesunięciem linii struktury nadsubtelnej odpowiednim polem magnetycznym.

Ruch cieplny jąder nie rozstraja na ogół rezonansu bez odrzutu, ponieważ prowadzi średnio tylko do efektu Dopplera drugiego rzędu.

Efekt Dopplera polega na zmianie częstości promieniowania na skutek prędkości obserwatora względem źródła. Jeśli jądro emitujące częstość ν_1 ma prędkość v względem absorbentu, częstość w absorbencie będzie ν_2 . Jeżeli składowa prędkości wzdłuż promienia gamma jest u , to można napisać, zgodnie z (7)

$$\nu_2 = \nu_1 \frac{(1 - v^2/c^2)^{1/2}}{1 - u/c} = \nu_1 (1 + u/c - v^2/2c^2 + \dots). \quad (9)$$

Effekt Dopplera składa się więc z dwóch członów różnego rzędu wielkości. Efekt pierwszego rzędu, proporcjonalny do u/c , nie psuje rezonansu, bo zależy od znaku prędkości. Częstość drgań cieplnych siatki żelaza jest rzędu $10^{13}/\text{sek}$. W ciągu 10^{-13} sek przekazanych jest około $3 \cdot 10^5$ pełnych drgań gamma. Tak więc monochromatyczność pozostaje dobra.

Średnia prędkość jądra wynosi $3 \cdot 10^4$ cm/sek, średnia względna zmiana częstości na skutek efektu Dopplera pierwszego rzędu jest więc 10^{-6} , ale prędkość nigdy nie utrzymuje się dostatecznie długo w jednym kierunku, aby zmienić fazę fali elektromagnetycznej o więcej niż o $1/10$ cyklu.

Effekt Dopplera drugiego rzędu, czyli kwadratowy, prowadzi do zależności częstości rezonansowej od temperatury kryształu.

Jądra w sieci krystalicznej wykonują drgania, w przybliżeniu harmoniczne, których średnia energia jest proporcjonalna do temperatury bezwzględnej kryształu. Prostą proporcjonalność mamy tu dla temperatur dostatecznie wysokich, dla niższych zależność średniej energii od temperatury jest bardziej skomplikowana. Opisana ona być może przez kwantową teorię drgań sieci, uwzględniającą statystykę Bose—Einsteina. Najprostsze modele teorii drgań sieci podali E i n s t e i n oraz D e b y e'a. Częstości Ω drgań cieplnych odpowiadające temperaturze Debeya

$$h\Omega = k\Theta \quad (10)$$

są największymi częstościami możliwymi w danej sieci. Przyspieszenia, jakich węzły sieci doznają periodycznie w tym ruchu cieplnym, są rzędu $10^{16}g$, gdzie g oznacza przyspieszenie ziemskie. Są to przyspieszenia niewyobrażalnie wielkie w skali ludzkiej, typowe w skali fizyki ciała stałego, a bardzo małe w skali fizyki jądrowej.

Rozpatrując jądra w rezonansie bezodrzutowym jako dwa zegary, które porównują swoje częstości, trzeba uwzględnić, że jądra doznają różnych średnich przyspieszeń, jeśli kryształy, w których się znajdują, mają różne temperatury bezwzględne. W kryształach o niższej temperaturze atomy doznają średnio mniejszych przyspieszeń, ich skala czasu mniej się różni od skali w układzie inercjalnym, jest więc szybsza i częstość ich promieniowania jądrowego będzie większa. Oznaczając wskaźnikami 1,2 wielkości odnoszące się do źródła i absorbentu odpowiednio, mamy dla promieniowania gamma o częstości w spoczynku ν_0 , średnią różnicę częstości

$$\nu_1 - \nu_2 = \nu_0 (1 - v_1^2/c^2)^{1/2} - \nu_0 (1 - v_2^2/c^2)^{1/2}. \quad (11)$$

Dla prędkości termicznych

$$(\nu_1 - \nu_2)/\nu_0 \cong -v_1^2/2c^2 + v_2^2/2c^2 = -3k(T_1 - T_2)/2Mc^2. \quad (12)$$

Trochę ogólniej zależność częstości rezonansowej od temperatury wyraża związek różniczkowy

$$\partial\nu/\partial T = -\nu C_L/2Mc^2. \quad (13)$$

C_L oznacza tu ciepło właściwe molowe kryształu. Dla żelaza mamy w szczególności

$$\Delta\nu/\nu = -2,21 \cdot 10^{-15} \Delta T. \quad (14)$$

VI

Największe pod względem poznawczym znaczenie odkrycia Mössbauera polega na przesunięciu o parę rzędów w górę precyzji pomiarów częstości. Dokładność jest tak wielka, że otwiera perspektywy mierzenia efektów, które dotąd pozostawały w sferze doświadczeń myślowych. Obecnie można przy pomocy rezonansu bez odrzutu mierzyć na Ziemi efekty ogólnej teorii względności. Są to efekty, które dotychczas były wykrywalne tylko w doświadczeniach astronomicznych.

Już Galileusz znał ten fakt doświadczalny, że wszystkie ciała spadające na Ziemię doznają jednakowego przyspieszenia. Dla każdego ciała masa bezwładna równa jest masie ciężkiej. Fakt ten prowadzi do słynnej zasady równoważności: pole grawitacyjne jest lokalnie równoważne przyspieszonemu układowi odniesienia. Wychodząc z tej zasady rozwinął Einstein ogólną teorię względności.

Einstein już w roku 1907 przewidział przesunięcie częstości fotonów przy przejściu przez różnicę potencjału grawitacyjnego. Przy takim przejściu zmienia się bowiem energia fotonu. Można też rozumieć tę zmianę uwzględniając, że fala elektromagnetyczna poruszająca się w polu grawitacyjnym niezależnym od czasu ma tę samą liczbę drgań na jednostkę czasu układu na całej swej drodze między źródłem a detektorem. Ale jeden i ten sam odcinek czasu układu, w którym opisujemy stałe pole grawitacyjne, odpowiada tym większemu odcinkowi czasu własnego, im dalej jesteśmy od mas dających to pole. Wobec tego częstość fali, czyli liczba drgań na jednostkę czasu własnego, jest mniejsza dla większych odległości od tych mas.

Jeżeli promień gamma emitowany w punkcie, gdzie potencjał grawitacyjny jest φ_1 , ma w tym punkcie częstość ν_1 , to przychodząc do punktu o potencjale φ_2 będzie miał częstość mierzoną w czasie własnym w tym punkcie, równą

$$\nu_2 = \nu_1 \left(\frac{1 + 2\varphi_1/c^2}{1 + 2\varphi_2/c^2} \right)^{1/2}. \quad (15)$$

Wobec tego względna zmiana częstości wynosi

$$(\nu_2 - \nu_1)/\nu_1 = (\varphi_1 - \varphi_2)/c^2. \quad (16)$$

Potencjał grawitacyjny pola wychodzącego od masy m w odległości r od środka tej masy jest

$$\varphi = -\kappa m/r, \quad (17)$$

gdzie κ jest stałą grawitacji. Jeśli na pewnej odległości od powierzchni Ziemi obserwujemy widmo gamma wytwarzane na samej powierzchni Ziemi, to mamy $\varphi_1 < \varphi_2$, więc $\nu_2 < \nu_1$, czyli widmo przesunięte jest

w stronę mniejszych częstości. Mówimy więc o „przesunięciu czerwonym”.

Różnica potencjału grawitacyjnego odpowiadająca różnicy wysokości l nad powierzchnią Ziemi jest $\Delta\varphi = gl$. Na jeden metr różnicy wysokości przy powierzchni Ziemi efekt względnej zmiany częstości wynosi 10^{-16} . Nie było żadnej nadziei na zmierzenie go laboratoryjnie. Rezonans bez odrzutu uczynił ten pomiar możliwym.

W rok po odkryciu Mössbauera dwaj fizycy R. V. Pound i G. A. Rebka junior wykonali w Uniwersytecie Harvarda pomiary przesunięcia częstości fotonu w polu grawitacyjnym Ziemi. W wieży wysokości 21 m umieszczali oni źródło zawierające 0,4 curie ^{57}Co poruszane sinusoidalnie z częstością 50 okresów na sek w kierunku pionowym. Absorbent z ^{57}Fe oraz detektor — liczniki scyntylacyjne z kryształami NaJ — umieszczone były na dole. Następnie zamieniano miejscami źródło i absorbent. Wartościując wyniki pomiarów efektu grawitacyjnego opierano się wyłącznie na różnicach między pomiarami przy kierunku promieniowania w dół i w górę. Efekt wysokościowy grawitacji ziemskiej powinien dawać przy wspomnianej różnicy wysokości względną zmianę częstości około $2,5 \cdot 10^{-15}$. Średnia różnica zmian częstości przy kierunku promieniowania w dół i w górę, jaką otrzymano w doświadczeniach, wynosiła $4,67 \cdot 10^{-15}$. Tak więc potwierdzono ilościowo efekt grawitacyjny. Autorowie eksperymentu wyrażają swój średni wynik w jednostkach gl/c^2 jako równy $0,97 \pm 0,05$. Spodziewają się oni w przyszłości zejść ze średnim błędem poniżej 1%.

Pomiary natrafiały początkowo na trudności, z których nie umiano sobie zdać sprawy. Okazało się niezmiernie istotne przy interpretacji zliczeń liczników uwzględnienie szeregu poprawek pochodzących od różnych efektów. Najpoważniejszy okazał się zakłócający wpływ różnicy temperatur między źródłem i absorbentem. Ciekawe, że dopiero w czasie doświadczeń, mających na celu zmierzenie efektu grawitacyjnego, zdano sobie sprawę z efektu temperaturowego, który omówiliśmy szczegółowo powyżej. Ilościowo efekt ten na jeden stopień różnicy temperatur był prawie tej samej wielkości, co szukany efekt grawitacyjny, zobacz (14). Pound i Rebka sprawdzili wzór (14) pomiarami kontrolnymi z dokładnością do 10%.

Odkąd wprowadzili termopary do mierzenia i rejestrowania w ciągły sposób różnicy temperatur źródła i absorbentu i w interpretacji zliczeń liczników uwzględnili poprawkami temperaturowe wg wzoru (14), odtąd zaczęli uzyskiwać systematyczne wyniki wskazujące jednoznacznie poszukiwany efekt grawitacyjny ilościowo zgodny z przewidywanym.

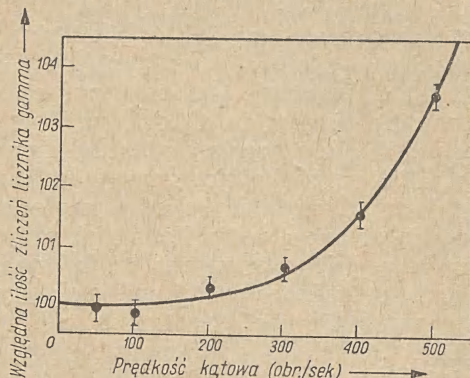
Bezpośredni wpływ kwadratowego efektu Dopplera na częstość fotonu wykazuje doświadczenie wykonane w Harwell przez grupę fizyków: H. J. Hay, J. P. Schiffer, T. E. Cranshaw i P. E. Englestaff. Umieszczali oni źródło i absorbent na obracającym się cylindrze, w odległościach R_1 i R_2 odpowiednio. Wobec różnicy prędkości liniowych źródła i absorbentu częstość fotonu ulegała przesunięciu, które można wyliczyć albo ze wzoru (11), albo ze wzoru (16). Względna zmiana częstości fotonu między źródłem i absorbentem przy obrotach z częstością kołową ω wynosi

$$(v_2 - v_1)/v_1 = (R_1^2 - R_2^2) \omega^2 / 2c^2. \quad (18)$$

Stosowano obroty do 500/sek. Największe prędkości liniowe dochodziły do $2,07 \cdot 10^4$ cm/sec, przyspieszenia były więc do $6,6 \cdot 10^4$ g.

Rys. 10 daje porównanie teoretycznej paraboli z otrzymanymi punktami doświadczalnymi. Tak więc pokazano, że zmiana energii fotonu w obracającym się układzie, który według zasady równoważności jest lokalnie równoważny polu grawitacyjnemu, zgadza się ze zmianą w polu grawitacyjnym ziemskim.

Opisane doświadczenia potwierdzające ilościowo kwadratowy efekt Dopplera dowodzą, że mimo sporych przyspieszeń rzędu 10^{16} g różnice w czasach zegarów jądrowych dają się wyjaśnić wyłącznie w terminach



Rys. 10. Porównanie krzywej teoretycznej z punktami doświadczalnymi zdejmowanymi przy różnych prędkościach obrotów. Zaznaczono błędy statystyczne każdego punktu

prędkości tych zegarów. Zegar o większej średniej prędkości zawsze idzie wolniej niż zegar o mniejszej średniej prędkości. Jak podkreśla C. W. Sherwin, zgodność, z dokładnością do 10%, wyliczonych i zaobserwowanych zmian częstości prowadzi do wniosku, iż jakiegokolwiek szczególne efekty zależne od przyspieszenia muszą być przynajmniej o rząd wielkości mniejsze, a więc być rzędu jak 1 do 10^{13} albo mniejsze. W każdym razie wszystkie rozważane zjawiska okazały się dotychczas ilościowo niezależne od przyspieszenia, wszystkie tłumaczą się w terminach prędkości, zgodnie z teorią względności.

VII

Doświadczenia oparte na rezonansie jądrowym bez odrzutu prowadzone są zaledwie od dwóch lat. Niewiele technik dało tyle wartościowych wyników, ile uzyskano w ciągu tak krótkiego czasu wykorzystując ten interesujący efekt. Łączy on w sobie elementy fizyki jądrowej, fizyki ciała stałego, budzi zainteresowanie i nadzieje wśród fizyków zajmujących się ogólną teorią względności. Otwiera nowe perspektywy w precyzji pomiarów fizycznych.

Tadeusz Berens

TRZY LATA EKSPLOATACJI REAKTORA „EWA”

W czerwcu 1958 roku uruchomiono w Świerku pod Warszawą pierwszy reaktor jądrowy nazwany „Ewa”. Podobne reaktory projektu i produkcji radzieckiej zostały dostarczone w tym samym okresie innym krajom Demokracji Ludowych. Wybudowanie reaktora rozszerzyło możliwości pracy dla fizyków, chemików i energetyków jądrowych i zapoczątkowało produkcję izotopów.

Niezależnie od stworzenia nowego warsztatu pracy dla wyżej podanych specjalności, szeroką bazę eksperymentalną znalazł kierunek inżynierii reaktorowej i eksploatacji reaktorów.

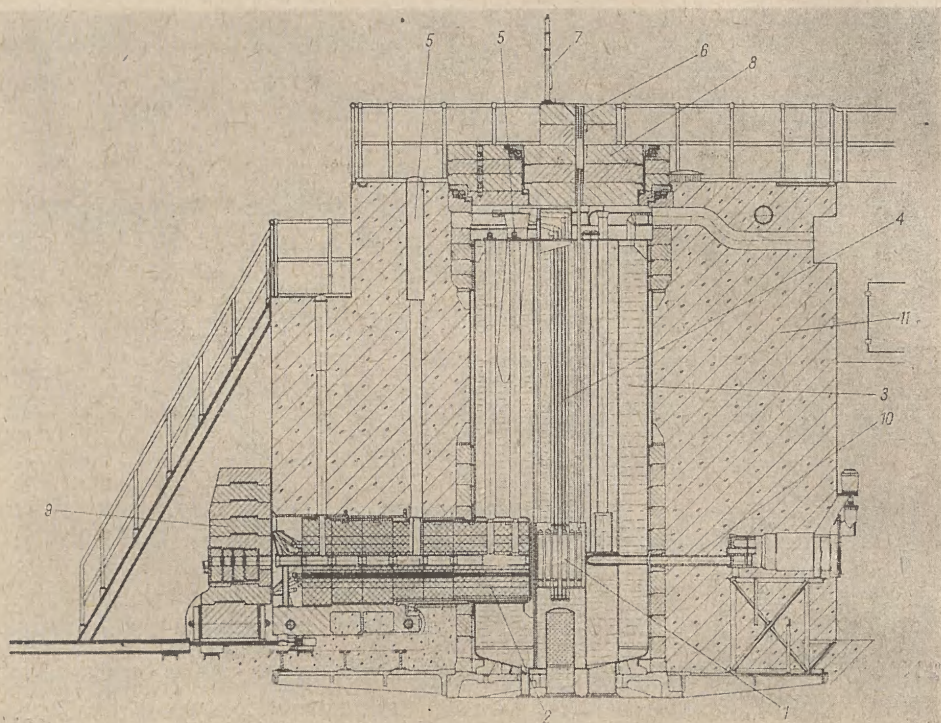
1. OPIS REAKTORA „EWA”

Reaktor „Ewa” jest reaktorem doświadczalnym o mocy maksymalnej 2000 kW i strumieniu maksymalnym neutronów termicznych $2 \times 10^{13} \frac{\text{neutr.}}{\text{cm}^2 \text{ sek}}$. Strefa aktywna reaktora ma wymiary w przybliżeniu

0,5 m $\times$ 0,5 m. Jako paliwo użyto uranu wzbogacony w izotop $^{235}_{92}\text{U}$ do 10%. Paliwo ma kształt prętów znajdujących się w szczelnych koszulkach aluminiowych. Po szesnastu prętów ujęte jest w sekcje ustawione w gniazda separatora. Na początku kampanii w strefie aktywnej umieszcza się około 32 sekcje, a następnie w miarę wypalania paliwa, dla utrzymania zapasu reaktywności, doładowuje się okresowo po jednej sekcji. W efekcie początkowa ilość uranu 4,1 kg ^{235}U rośnie do ilości 6,5 kg, a rozmiar strefy aktywnej powiększa się. Paliwo reaktora chłodzone jest wodą destylowaną, która poza tym spełnia rolę moderatora, reflektora i częściowej osłony. Temperatura wody nie osiąga 40°C, przy nagrzaniu w strefie aktywnej o 2—3 stopnie. Temperatura ścianki pręta paliwowego nie może być większa od 92°C, co ogranicza moc reaktora. Strefa aktywna umieszczona jest w wewnętrznym zbiorniku aluminiowym wypełnionym wodą o średnicy około 1 m i wysokości około 5,5 m. Zbiornik wewnętrzny osadzony jest w zbiorniku zewnętrznym o tej samej wysokości i średnicy około 2,5 m, także wypełnionym wodą. Reaktor osłonięty jest z boków walcową ścianą ochronną o grubości 2,5 metra wykonaną z ciężkiego betonu z dodatkiem rudy limonitowej.

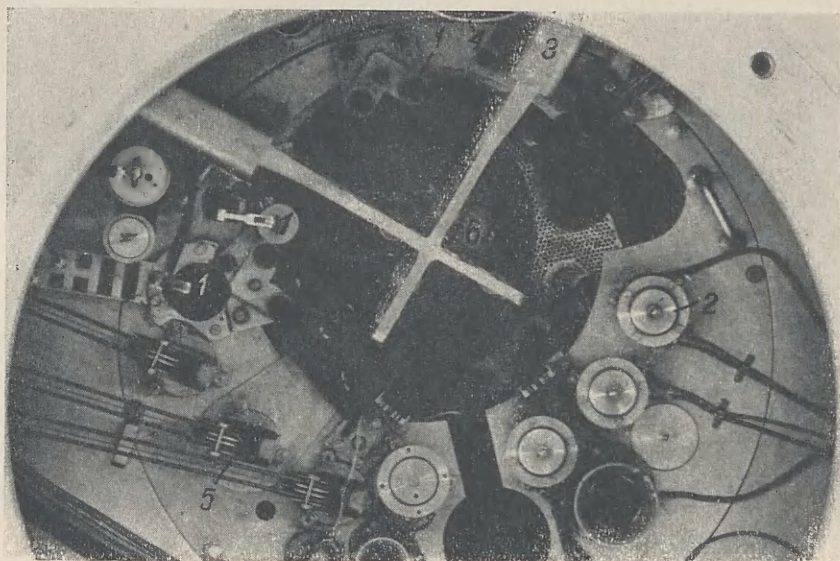
Z góry zbiornik nakryty jest ciężkimi żeliwnymi płytami obrotowymi o grubości 80 cm, które razem z warstwą wody dają wystarczającą osłonę.

Do strefy aktywnej reaktora wprowadzone są kanały prętów regulacyjnych i awaryjnych. W kanałach znajdują się pręty regulacji ręcznej, precyzyjnej, pręt sterowany automatycznie i trzy pręty awaryjne. Trzy

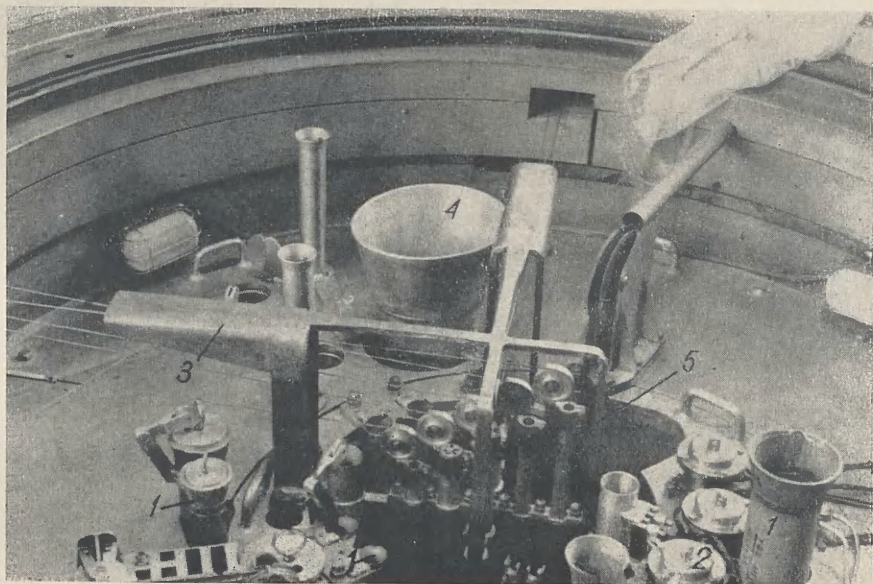


Rys. 1. Przekrój reaktora. 1 — strefa aktywna, 2 — kolumna termiczna, 3 — kanał poziomy, 4 — kanały prętów regulacyjnych i awaryjnych, 5 — kanały do naświetleń, 6 — centralny otwór załadowczy, 7 — peryskop, 8 — płyty obrotowe, 9 — osłona kolumny termicznej, 10 — zbiornik zewnętrzny — osłona wodna, 11 — osłona betonowa

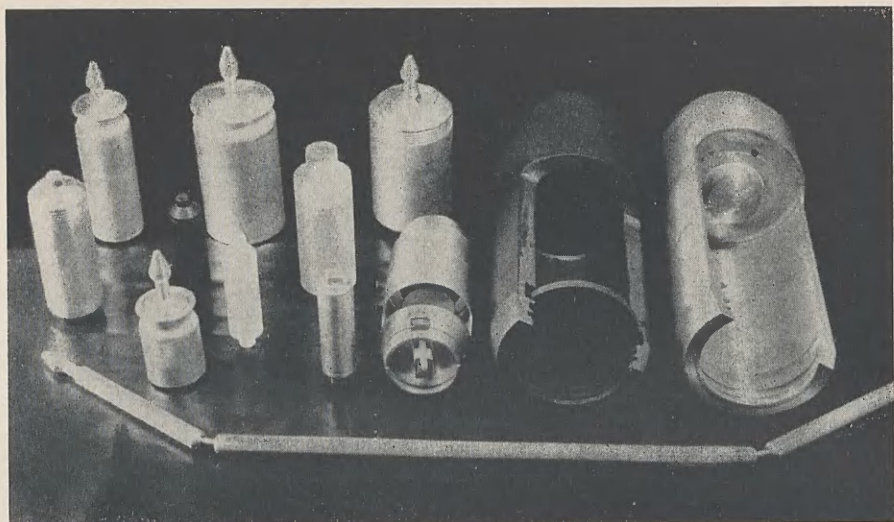
pręty regulacji ręcznej wykonane ze stali służą do utrzymania zapasu reaktywności w okresie między doładowywaniem sekcji. Zapas ten wynosi około 0,05, wprowadzone całkowicie wszystkie pręty regulacyjne dają „ujemną” reaktywność około $-0,07$. Pręty awaryjne wprowadzone do strefy aktywnej zmniejszają zapas reaktywności o dalsze 0,06. Wprowadzenie wszystkich prętów do strefy aktywnej zahamuje całkowicie reakcję łańcuchową, ponieważ współczynnik mnożenia będzie niższy od jedności. Wokół strefy aktywnej reaktora rozmieszczone są kanały służące do naświetlania. Materiały tarczowe w opakowaniach wprowadza się do kanałów, gdzie poddawane są działaniu promieniowania neutronowego, powodującego przemiany jądrowe. W ten sposób między innymi produkuje się radioizotopy.



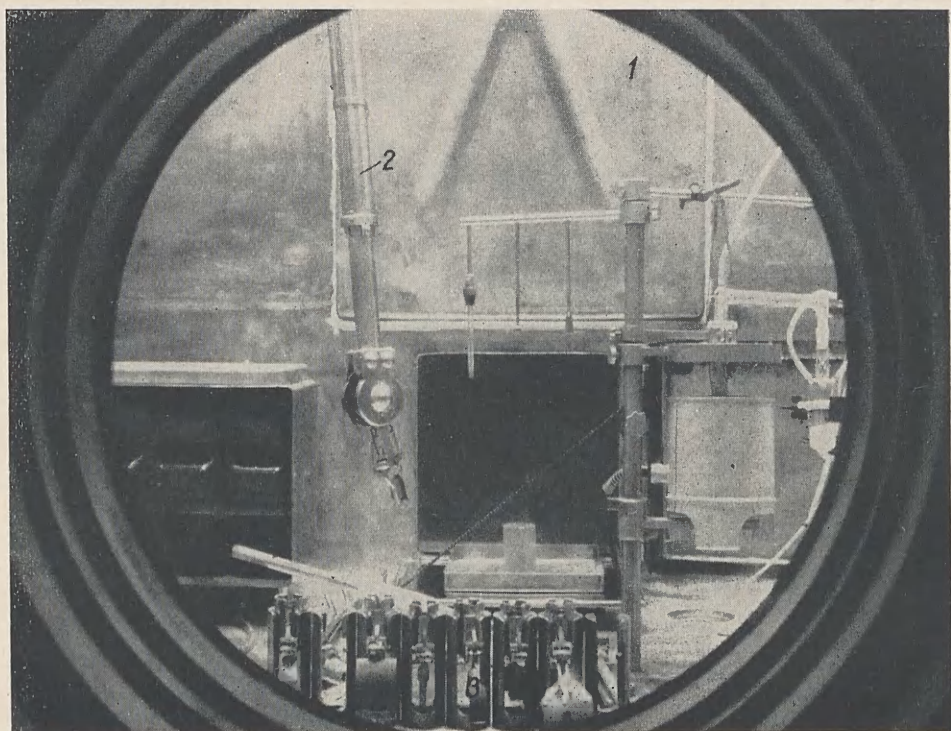
Rys. 2. Widok pokrywy zbiornika i strefy aktywnej po zdjęciu pokryw obrotowych (osłony). 1 — wejścia do kanałów, 2 — zawieszenie komór jonizacyjnych, 3 — krzyżak ochraniający linki napędów prętów, 4 — wejście do kanału łączącego ze schronem, 5 — zawieszenie i napęd linkowy komór rozruchowych, 6 — paliwo w strefie aktywnej



Rys. 3. Widok pokrywy zbiornika po zdjęciu pokryw obrotowych (osłony). 1 — wejścia do kanałów, 2 — zawieszania komór jonizacyjnych, 3 — krzyżak ochraniający linki napędu prętów, 4 — wejście do kanału łączącego ze schronem, 5 — kanały prętów regulacyjnych i awaryjnych



Rys. 4. Znormalizowane opakowania do naświetlań



Rys. 5. Widok gorącej komory poprzez wziernik. 1 — drzwi wejściowe, 2 — manipulator, 3 — wymienne narzędzia manipulatorów, 4 — drzwiczki do wózka transportowego

Naświetlone materiały i opakowanie, zależnie oczywiście od ich własności jądrowych, ilości, czasu pobytu w kanale i miejsca usadowienia w reaktorze są często silnie aktywne. Z powyższych względów reaktor wyposażony jest w szereg urządzeń do schładzania, przechowywania, transportu i przeładunków. Tak np. reaktor połączony jest bezpośrednimi kanałami znajdującymi się w osłonie z komorami gorącymi (laboratoria do prac za osłoną) i schronem dla paliwa i zasobników. Kanały do naświetleń podzielone są na mokre (wypełnione wodą) i suche. Znajdują się one wokół strefy aktywnej i w betonie osłony. Do naświetlania wykorzystuje się także wolne miejsca przeznaczone na późniejsze załadowanie paliwa. W miejsca te wstawia się także specjalne kanały dla prac doświadczalnych, jak np. kanał dla oscylatora lub kanały dla pętli doświadczalnych. Znormalizowane opakowania do naświetlania w kanałach pionowych mają wymiary zewnętrzne ϕ 37 i ϕ 57 mm. Wejścia do kanałów znajdują się pod pokrywami obrotowymi.

W bezpośrednie pobliże strefy aktywnej doprowadzone są kanały poziome przechodzące przez beton i zbiornik wody. Kanały te zamykane są od strony hali reaktora zasuwami dającymi wystarczającą osłonę. Średnice kanałów poziomych wynoszą 60 i 100 mm, ogółem jest ich dziewięć. Uzupełnieniem kanałów poziomych jest kolumna termiczna. Jest to duży kanał poziomy o wymiarze około 1 m, wypełniony blokami grafitowymi. Dzięki temu uzyskano wyprowadzenie z reaktora silnej wiązki neutronów termicznych, wobec wyeliminowania pochłaniania neutronów przez wodę. Woda destylowana cyrkuluje w obiegu pierwotnym. Pompownia obiegu pierwotnego znajduje się w piwnicy, osłonięta półmetrowymi ścianami osłonowymi ze względu na znaczną aktywność wody w czasie pracy reaktora. Po wyłączeniu reaktora aktywność azotu, powstałego pod wpływem promieniowania neutronowego z tlenu, w ciągu kilku minut zanika. Z powyższych względów zawory i pompy pompowni są sterowane zdalnie. Woda kierowana jest przez pompy do wymienników ciepła, a część do odgazowywacza celem pozbawienia jej wodoru i tlenu, powstającego w efekcie radiolizy. Okresowo czyści się wodę w filtrze jonitowym i mechanicznym. Dla schłodzenia wody obiegu pierwotnego pracuje obieg wody technicznej z własną pompownią i basenem. Niezależnie od powyższych obiegów istnieje obieg chłodzący kolumny termicznej. Reaktor ma możliwość zaopatrzenia się w wodę z własnych destylatorek i zmagazynowania 40 m³ wody w specjalnych zbiornikach. Jako materiały konstrukcyjne dla reaktora użyto głównie stop aluminium nie posiadający składników silnie i trwale aktywujących się. Obiegi wykonane są z austenitycznej stali kwasoodpornej dla przeciwdziałania korozji i dla zapewnienia możliwości oczyszczenia obiegu roztworami kwasów. W pobliżu hali reaktora znajduje się sterownia, miejsce pracy kierownika zmiany. Zainstalowane wskaźniki pozwalają określić warunki pracy obiektu i reaktora. Rozruch prowadzi się przy pomocy układu złożonego z komory jonizacyjnej — rozruchowej umieszczonej w pobliżu strefy aktywnej i galwanometru mierzącego jej prąd. Dokładność odczytu, a tym samym możliwość obserwowania wzrostu strumienia neutronów, zależy od tła gamma w strefie aktywnej. Stąd wynika dążność do odcięcia się od wpływu tła gamma, dzięki modernizacji układu, między innymi przez zastosowanie komór kompensacyjnych. Podnosząc pręty regulacyjne i obserwując wzrost

prądu na galwanometrze widzimy narastanie strumienia neutronów, przy czym regulujemy szybkość wzrostu strumienia tak, aby nie przekroczyła wartości dozwolonych. Umieszczenie silnego źródła neutronowego w strefie aktywnej ułatwia i przyspiesza rozruch.

Układ sterowania dla określenia wartości fizycznej prętów regulacyjnych jest przy każdej zmianie konfiguracji strefy aktywnej skalowany. Pręty zabezpieczenia awaryjnego trzymane są w położeniu zrzutowym przez elektromagnesy. W obwód elektromagnesu włączone są obwody zabezpieczające. Zadziałanie któregośkolwiek z obwodów zabezpieczających powoduje zrzut prętów awaryjnych przyspieszanych działaniem sprężyn. Czas zadziałania wynosi maksimum jedną sekundę, czas zrzutu około 0,3 sek, co zapewnia bezpieczeństwo układu. Należy zwrócić uwagę na wysokie zautomatyzowanie czynności sterowania, jeszcze rzadko w Polsce spotykane zastosowanie dużych ilości nowoczesnej aparatury sygnalizacyjnej, przekątnikowej, sterowniczej i rejestrującej. Układ kontroli technicznej przy wszelkich odchyleniach od założonych warunków włącza sygnalizację, w przypadku dalszego rosnącego odchylenia działa układ zabezpieczeń awaryjnych. W układ włączone są pomiary: przepływów wody i powietrza, poziomu wody, ciśnienia w rurociągach, temperatury i przyrostu temperatury wody w strefie aktywnej i inne. Większość pomiarów odczytuje się na wskaźnikach w sterowni.

Reaktor jest silnym źródłem promieniowania; aktywuje się w pewnym stopniu powietrze (powstaje krótkożyłowy radioizotop $\frac{41}{18}$ Ar), aktywuje się woda — po przejściu przez strefę aktywną. Na terenie reaktora dokonuje się operacji z materiałami aktywnymi, magazynuje się je. W komorach gorących występują skażenia radioaktywne. Nic więc dziwnego, że na terenie obiektu pracuje silny zespół dozymetryczny wyposażony w stałą i przenośną aparaturę pomiarową. W wielu punktach ustawione są komory jonizacyjne do pomiaru promieniowania gamma. Wskazania komór odczytywane są w centrali dozymetrycznej. Przy wzroście promieniowania działa sygnalizacja. Do dyspozycji pracowników są na stałe ustawione przyrządy do wykrywania skażeń. Wokół i nad reaktorem ustawione są liczniki neutronów termicznych i szybkich.

Operacje z preparatami aktywnymi, lub na trzonie reaktora wykonywane są pod nadzorem dozymetrystów dysponujących aparaturą przenośną. Obiekt wyposażony jest w system poboru próbek powietrza (dla wykrycia skażeń i aktywnego argonu) umożliwiający stwierdzenie obecności pyłów radioaktywnych. Poza tym każdy pracownik wyposażony jest w urządzenia dozymetryczne ochrony osobistej — komorę kieszonkową i film kontrolny. Do prac na terenie skażonym używa się szczelnych skafandrów z zasilaniem z dmuchawy lub z butli, fartuchów, rękawic. W powszechnym użyciu są przenośne osłony, składane z cegieł ołowianych, manipulatory, specjalne chwytaki do operacji zdalnych. Na terenie obiektu dysponujemy specjalną myjnią, gdzie przeprowadza się odkażanie, wraz z pomieszczeniami związanymi (szatnie). System ten jak dotychczas zdał egzamin, w ciągu dotychczasowej pracy reaktora nie mieliśmy żadnych przypadków przekroczenia warunków dopuszczalnych. Wiele miejsc na terenie obiektu reaktora obudowanych jest

osłonami z betonu ciężkiego, żeliwa, ołowiu i wody. Do nich poza reaktorem i pompownią należą schron, chronione stanowisko suwnicowego, gorące komory, przechowywacze. W miejscach, gdzie konieczna jest obserwacja, zainstalowane są wzierniki ze szkła ołowiowego, o grubości szkła dochodzącej do 70 cm. Wszystkie punkty na obiekcie, gdzie istnieje możliwość pojawienia się ścieków radioaktywnych, podłączone są do systemu kanalizacji specjalnej, kończącego się w dwóch szczelnych głęboko w ziemi posadowionych zbiornikach.

Na całym obiekcie ustalone są warunki wentylacji i nawiewu, zapewniające ruch powietrza poprzez reaktor i komory gorące do kolumny. Odpady radioaktywne stale magazynuje się, odpowiednio zabezpieczone, na cmentarzu w pobliżu reaktora.

W piwnicy dysponujemy czterema komorami gorącymi połączonymi wózkami transportowymi. Są to małe pomieszczenia laboratoryjne obudowane ścianą osłonową betonową i żeliwną (grubość ścian około 0,5 m), wyłożone stalą kwasoodporną. Obsługę komór prowadzi się przy pomocy manipulatorów. Obserwacji dokonuje się przy pomocy wziernika ze szkła ołowiowego. W pierwszej komorze zainstalowana jest frezarka, tam rozcina się opakowania. Pierwsza komora posiada dwa dźwigi i schron na materiały aktywne. W komorach wykonuje się: przepakowanie, pomierzenie, rozdozowanie i ekspedycję radioizotopów.

Do dyspozycji użytkowników i załogi reaktora postawione jest na obiekcie szereg pomieszczeń laboratoryjnych, warsztatów, czytelnia, sala wykładowa, tak że całość obiektu stanowi zespół urządzeń technologicznych, naukowych i usługowych, zapewniających możliwość pracy dla około 150 pracowników w całym budynku reaktora.

2. ZADANIA I OSIĄGNIĘCIA ZAKŁADU EKSPLOATACJI REAKTORA

2.1. Szkolenie, organizacja, przystosowanie reaktora do potrzeb użytkowników

Reaktor należy traktować jako placówkę naukową, a równocześnie jako skomplikowany obiekt o charakterze przemysłowym. Tym samym wymagania w stosunku do pracowników są dosyć wysokie, bo poza umiejętnościami fachowymi wymaga się przygotowania teoretycznego. Niezależnie od powyższego bardzo poważny wpływ na tok pracy mają cechy osobiste pracowników, takie jak obowiązkowość, wnikliwość i staranność. Aby osiągnąć tak wysoki poziom personelu już przy przyjmowaniu prowadzono selekcję, a większość pracowników (techników) skończyła specjalny 3-miesięczny kurs szkoleniowy i zdała egzaminy. Inżynierowie w części uzyskali specjalne przeszkolenie w ZSRR, w części przygotowywali się sami, także zdając egzaminy uprawniające do wykonywania odpowiedzialnych funkcji. Okres szkolenia dla techników trwał około pół roku, dla inżynierów od pół roku do dziewięciu miesięcy. Dobre przeszkolenie i właściwa organizacja stwarzają bazę dla wydajnej i bezpiecznej pracy. Dlatego też zagadnieniom organizacyjnym poświęcono dużo wysiłku. Opracowano wiele instrukcji dotyczących:

- 1) warunków pracy i ruchu na obiekcie,
- 2) przepisów dozymetrycznych,
- 3) prac przeładunkowych i ekspedycyjnych,
- 4) prac w terenie skażonym,
- 5) obsługi urządzeń i konserwacji,
- 6) metod pomiarowych.

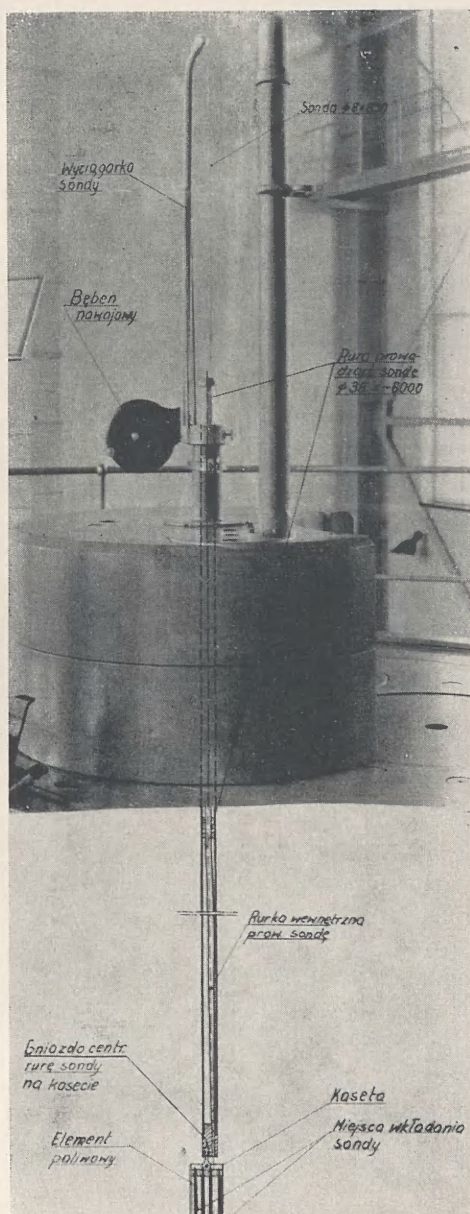
Założono książki konserwacyjne dla aparatury i urządzeń. Opracowano regulaminy pracy, instrukcje bezpieczeństwa. Stworzono komplety dokumentacji wzorcowych, rejestrację i dokumentację zmian i modernizacji.

Jednym słowem wyposażono obiekt w komplet przepisów, instrukcji i dokumentacji ruchowej zapewniając prawidłowość przebiegu czynności i postępowania pracowników.

Podstawą pracy reaktora stał się plan miesięczny, ustalany w obecności użytkowników, określający ilość zmian pracy i moc reaktora. Poza planem miesięcznym na każdy tydzień ustala się plan naświetleń i czynności, obejmujący na podstawie złożonych zleceń: kolejność operacji, czas i termin i określający sposób wykonania z powołaniem się na odpowiednie instrukcje robocze i dozymetryczne. Dla naświetleń plan precyzuje miejsce naświetlenia i sposób ekspedycji. Planowaniu podlegają także czynności porządkowe, jak czyszczenie komór, wywóz odpadów, ustawienie osłon itd. Prawidłowo opracowany i przeanalizowany przez komisję wewnętrzną zakładu plan tygodniowy jest podstawą pracy obowiązującą zakład i użytkowników. Obecnie prawie powtarzalny cykl pracy reaktora jest następujący:

poniedziałek	1 zmiana	—	przeładunki,	naprawy,	reaktor	nie	pracuje
wtorek	2 zmiany	—	moc zmienna				
środa	3	„	—	moc 2000 KW			
czwartek	2	„	—	„	„	„	
piątek	2	„	—	„	„	„	
sobota	1 zmiana	—	„	„	„		
niedziela	—		obsługa	wycieczek			

Ilość zleceń usługowych od uruchomienia reaktora rośnie. Nic więc dziwnego, że podstawowym wysiłkiem załogi było przystosowanie reaktora do potrzeb użytkowników i rozszerzenie możliwości usługowych. Jednym z pierwszych osiągnięć było wykonanie urządzeń, umożliwiających prowadzenie prac załadowczo-rozładowczych bez potrzeby wyłączenia reaktora. Dalszym osiągnięciem było wyszukanie dodatkowych objętości do naświetleń w strefie aktywnej i w jej pobliżu. W zbiorniku reaktora zainstalowano dodatkowe kanały, opanowano technikę naświetlań w narożach sekcji (w samej strefie aktywnej), uzyskując szczególnie korzystne warunki dla naświetlania źródeł irydowych i kobaltowych o dużej aktywności właściwej. Wykonano szereg adaptacji na reaktorze, zaopatrując go w potrzebne, a brakujące urządzenia przechowawcze, chwytakowe, transportowe i rozładowcze. Opanowano technikę opakowywania preparatów i postępowania z opakowaniami wprowadzając normalizację i jednorodną technologię. Dla umożliwienia prowadzenia naświetleń przeprowadza się okresowo różnymi metodami pomiary strumieni i temperatur w różnych kanałach roboczych. Do tego



Rys. 6. Jedno z urządzeń do pomiaru strumienia neutronów

celu opracowano metody i urządzenia. Wykonano szereg adaptacji dla przeprowadzenia konkretnych prac naukowych. Do poważniejszych należą: przebudowa kolumny termicznej, przebudowa kanałów dla oscylatora, kanał dla badania komór jonizacyjnych, komora do naświetleń promieniowaniem gamma pochodzącym z paliwa reaktora itd. Opanowano zagadnienie reaktywacji telluru do otrzymywania jodu i źródeł irydowych.

2.2. Zapewnienie ciągłości pracy

Podstawową troską załogi jest zapewnienie jednemu w Polsce reaktorowi ciągłości pracy. Prowadzi się normalną działalność konserwacyjną i remontową, wykonuje się czynności porządkowe, takie jak dekontaminacja, wywożenie odpadów, przeładunki silnych źródeł. Normalnie przebiegają czynności przeglądowe i regulacyjne. Wiele tych prac jest trudnych, bo przeprowadza się je przy użyciu specjalnych oprzyrządowań, w ubraniach ochronnych, w obecności skażeń, względnie aktywnych przedmiotów.

Szczególnie dużo uwagi poświęca się zagadnieniu tzw. „polityki strefy aktywnej”, to znaczy zagadnieniu właściwego i ekonomicznego wykorzystania paliwa. Jednym z limitujących pracę reaktora aspektów jest sprawa wody i korozji. W tym kierunku prowadzona jest stale działalność kontrolna (analizy i badania wody), wykonano także szereg prac z zakresu oczyszczania wody. Stałej kontroli podlega możliwość zaistnienia nieszczelności elementu paliwowego. W tym kierunku przebudowano układ dla wykrywania aktywności produktów rozszczepienia w wodzie pierwszego obiegu, zaprojektowano i wykonano urządzenie dla identyfikacji możliwie wczesnej nieszczelnej sekcji paliwowej.

Na podkreślenie zasługuje działalność działu dozymetrii mająca duży udział w pracach zakładu. Dział ten prowadzi także samodzielnie szereg prac związanych z zapewnieniem ciągłości pracy reaktora, jak np. pomiary aktywności gazów i pyłów, badanie radiolitycznego rozkładu wody pierwotnego obiegu, pomiary promieniowania, badanie skażeń itd.

Do wielu z tych badań trzeba była opracować metody i aparaturę, większość pomiarów prowadzona jest ciągle w codziennej pracy dozymetrystów. Codzienna żmudna praca całego personelu Zakładu Eksploatacji i Dozymetrii zapewnia utrzymanie wymaganych parametrów pracy obiegów wodnych reaktora, wentylacji i prawidłowy przebieg czynności na obiekcie.

2.3. Prace modernizacyjne, ułatwianie obsługi i zmniejszenie jej pracochłonności

Z upływem czasu nasunęło się szereg propozycji przeprowadzenia modernizacji, wynikających albo z postępu technicznego, lub też z niedopatrzeń projektowych. Do nich należy realizowany projekt automatyzacji rozruchu i wyposażenia reaktora w nowoczesne komory kompensacyjne. Zrealizowana modernizacja ułatwi i przyspieszy rozruch i zwiększy stopień bezpieczeństwa. Usunięto niedopatrzienia projektowe

w zakresie urządzeń ekspedycyjnych, wykonując specjalne urządzenia dla IV komory gorącej i stanowisko rozładownicze na hali. Wykonano szereg przechowalników i osłon przenośnych umożliwiających pracę użytkownikom na hali.

Zamierzenia modernizacyjne są dalej kontynuowane i przebiegałyby śmielej, gdyby nie to, że reaktor „Ewa” jest jedynym w Polsce i nie można sobie pozwolić na jego dłuższy postój.

2.4. Własne prace naukowe Zakładu Eksploatacji i pomoc w pracach innych użytkowników

Poza wymienioną uprzednio działalnością zakładu były prowadzone własne prace naukowe. Do najważniejszych należały:

1. Badanie wypalania U235 w prętach paliwowych metodą nieniszczącą. Do tego celu zaprojektowano i wykonano pętlę i stanowisko pomiarowe, jak również przeróbkę kaset i specjalne urządzenia przeładownicze.

2. Pomiary temperatur ścianki paliwowej — temperatura ścianki ogranicza możliwość podwyższenia mocy reaktora.

3. Efektywność naświetlania materiałów tarczowych w reaktorze. Niezależnie od powyższych prac samodzielnym Zakład brał udział w wielu pracach użytkowników, czy to projektując i wykonując urządzenia, czy też współdziałając w zespołach roboczych. Do poważniejszych urządzeń wykonanych przy współudziale Zakładu Eksploatacji należą:

1. Zestaw wykładniczy grafit—uran naturalny.
2. Oscylator.
3. Komora do naświetleń promieniowaniem gamma paliwa.
4. Pętla gazowa do badania syntezy tlenków azotu.
5. Spektrometr krystaliczny.

3. WYKORZYSTANIE REAKTORA DLA PRAC NAUKOWYCH, PRODUKCJI IZOTOPÓW I INNYCH USŁUG

Od chwili uruchomienia reaktora systematycznie narastała ilość użytkowników, zakres prac wykonywanych i tematyka naukowa w oparciu o usługi reaktora.

Z zakresu fizyki reaktorowej doświadczalnej prowadzono prace (Zakład Inżynierii Reaktorowej IBJ):

1. Nad oscylatorem reaktorowym dla określenia przydatności reaktora „Ewa” do badania jakości materiałów reaktorowych i dla pomiarów parametrów reaktorowych metodą oscylacji.

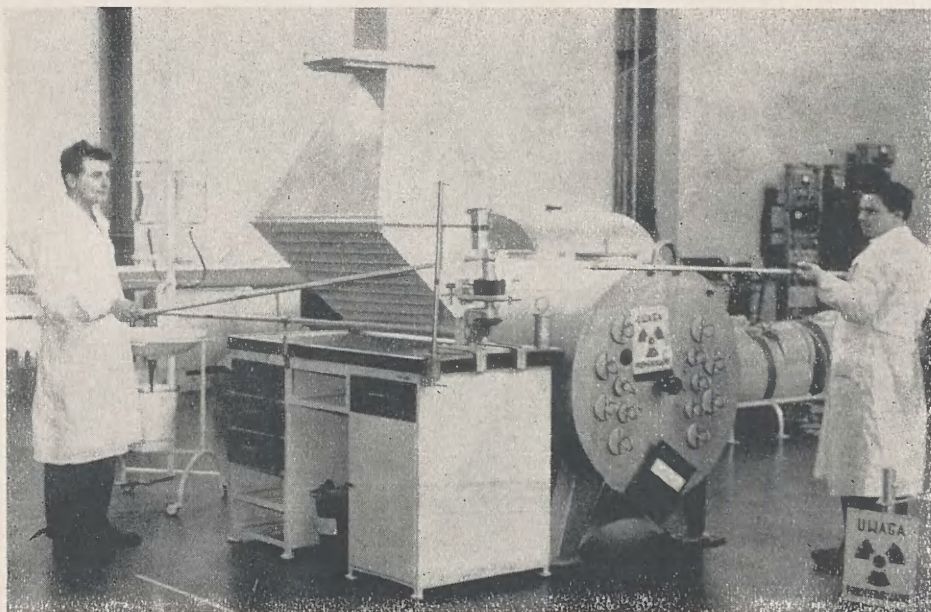
2. Pomiary temperatury neutronów metodą filtrów borowych.

3. Analiza aktywacyjna.

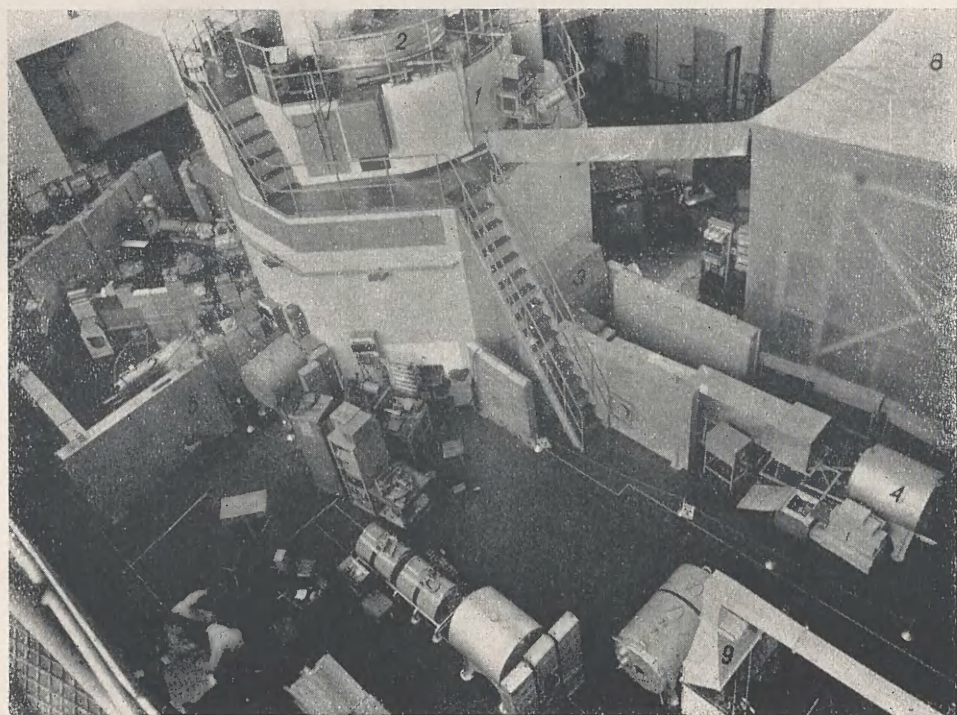
4. Badanie wykonanych prototypów i małych serii produkcyjnych komór jonizacyjnych różnych typów.

5. W hali reaktora ustawiono zestaw wykładniczy grafit—uran naturalny w celu przeprowadzenia badań siatki i parametrów fizycznych takiego układu.

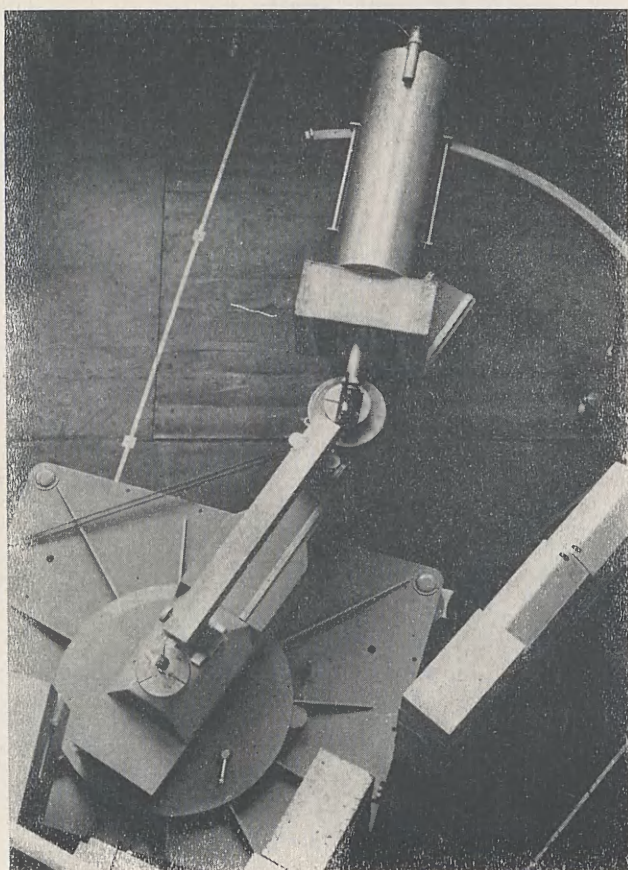
Zakład Fizyki Jądra Atomowego IBJ prowadził prace z następujących dziedzin:



Rys. 7. Tymczasowe stanowisko rozładowawcze na hali



Rys. 8. Widok ogólny hali reaktora. 1 — reaktor, 2 — płyty obrotowe, 3 — osłona kanału kolumny termicznej, 4 — pułapki neutronów, 5 — ściany wodne, 6 — ścianki z cegieł żelazo-asfaltowych, 7 — spektrometry, 8 — namiot zestawu wykładniczego, 9 — stanowisko rozładowawcze



Rys. 9. Spektrometr krystaliczny

1. Spektroskopia jądrowa.
2. Reakcje jądrowe.
3. Fizyka procesu rozszczepiania, a szczególnie trypartycja (podział jądra na trzy części).

Zakład zainstalował na kanale poziomym selektor neutronów prędkich z wielokanałowym analizatorem rozkładu czasowego.

Zakład Fizyki Jądrowej IBJ prowadził prace z dziedziny:

1. Neutronografii.
2. Fizyki ciała stałego, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu promieniowania neutronowego na półprzewodniki.

Zakład zainstalował przy kanałach:

1. Dwa automatyczne krystaliczne spektrometry neutronów zaopatrzone w monokryształy metali własnej produkcji.
2. Selektor powolnych neutronów z wielokanałowym analizatorem rozkładu czasowego.

Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie wykorzystał reaktor dla badania struktury cieczy. Instytut dysponował także własnym spektrometrem neutronów i selektorem powolnych neutronów. W ciągu całego okresu eksploatacji wraz z rosnącymi potrzebami przemysłu i medycyny rosła ilość naświetleń dla produkcji radioizotopów. Naświetlano materiały tarczowe dla celów produkcji następujących radioizotopów: Kobalt 60, Iryd 192, Tul 170 dla celów defektoskopii, mierników poziomu i grubości, Sód 24 — dla celów badania procesów w technologii chemicznej. Poza tym radioizotopy różnego przeznaczenia: Siarka 35, Fosfor 32, Węgiel 14, Tal 204, Tellur (dla produkcji jodu 131 dla celów medycznych) i inne.

Dla potrzeb prac naukowych i produkcji związków znaczonych wykorzystywano naświetlenia szeregu preparatów tarczowych o najróżnorodniejszym asortymencie. Z usług reaktora w tym względzie korzystały zakłady IBJ: Radiochemii, Chemii Analitycznej i Samodzielnej Pracowni Chemii Radiacyjnej, wykonując prace między innymi w zakresie:

1. Analizy aktywacyjne (przy granicznych stężeniach).
2. Rozdzielania pierwiastków chemicznych metodą chromatografii podziałowej.
3. Chemii gorących atomów — badania efektów chemicznych przemian jądrowych w związkach organicznych.

Poza wymienionymi użytkownikami współpracowano z szeregiem instytucji zewnętrznych, udzielając konsultacji i wykonując próbne naświetlania. Szeroki zakres usług narastał z upływem czasu, powodując coraz większe zainteresowanie możliwościami reaktora i związaną z jego pracą tematyką.

Nic więc dziwnego, że już teraz w zakresie niektórych usług obowiązuje kolejka i zagadnienie prawidłowej eksploatacji jest dosyć poważne, a decyzja budowy dalszych reaktorów uzasadniona.

Włodzimierz Kołos

ELEKTRONOWE MASZYNY DO LICZENIA W CHEMII KWANTOWEJ

Gdy przed kilku laty do chemii kwantowej wkroczyły elektronowe maszyny do liczenia, znaczna część teoretyków powitała je z obojętnością. Przyznawali oni wprawdzie, iż zastosowanie maszyn przyspieszy obliczenia numeryczne, lecz uważali, że to samo można by osiągnąć angażując do pracy odpowiednio liczny zespół rachmistrzów. Niewątpliwie maszyna może wykonać tylko numeryczne obliczenia. Opracowanie nowych metod przekracza jej możliwości. Niemniej obliczenia numeryczne, które w teorii budowy cząsteczek odgrywają tak istotną rolę, zostały dzięki elektronowym maszynom całkowicie zrewolucjonizowane. Olbrzymia szybkość maszyn otworzyła przed chemią kwantową zupełnie nowe perspektywy.

Co obliczamy w chemii kwantowej? Znając mechanikę falową potrafimy napisać równanie Schrödingera dla dowolnego zespołu atomów, a jego rozwiązanie daje nam energię układu oraz funkcję falową, która wiąże się bezpośrednio z rozkładem gęstości elektronów i z kolei może służyć do obliczania innych wielkości charakteryzujących układ, np. jego właściwości optycznych, elektrycznych, magnetycznych itp. Badając jak zmienia się funkcja falowa w jakimś polu zewnętrznym, w szczególności w polu innej cząsteczki, wkraczamy w dziedzinę badań nad reaktywnością chemiczną. Znajomość rozwiązań równania Schrödingera ma więc dla chemii kwantowej podstawowe znaczenie, informują one bowiem nie tylko o energii układu, lecz są pierwszym krokiem prowadzącym do obliczenia wszystkich innych interesujących nas wielkości.

Równanie Schrödingera dla atomów i cząsteczek rozwiązujemy posługując się metodami przybliżonymi. Atom wodoru i jony wodoropodobne są jedynymi układami, dla których mechanika kwantowa daje ścisłe rozwiązania. Już dla dwuelektronowego atomu helu konieczne jest stosowanie metod przybliżonych. Atom helu jest jednak na tyle prosty, że przybliżone metody można rozwinąć w stopniu umożliwiającym otrzymanie bardzo dokładnych wyników, rozpatrując natomiast układy składające się z kilku atomów i większej liczby elektronów zmuszeni jesteśmy do wprowadzania bardzo drastycznych założeń upraszczających i do zadowolenia się przybliżonymi wynikami nie zawsze zgadzającymi się dobrze z doświadczeniem.

Nic więc dziwnego, że wielu chemików teoretyków skoncentrowało swe wysiłki z jednej strony na opracowaniu najefektywniejszych metod przybliżonego rozwiązywania równania Schrödingera, z drugiej zaś na

rozwiązywaniu tego równania dla konkretnych przypadków. Ten drugi kierunek prac z formalnego punktu widzenia sprowadza się do matematyki stosowanej. Podstawową rolę odgrywa tu umiejętność obliczania pewnego typu całek, rozwiązywania układów równań oraz wykonywania numerycznych obliczeń dla konkretnych cząsteczek. Tutaj więc elektroniczne maszyny do liczenia znalazły wielkie pole do popisu i całkowicie zrewolucjonizowały technikę obliczeń. Postęp, który im zawdzięczamy, można najlepiej zilustrować na przykładzie całek molekularnych. Obliczanie tych całek jest jedną z głównych trudności teorii budowy cząsteczek. Źródło jej leży w tym, że molekularne funkcje falowe są funkcjami wielocentrowymi, np. w przybliżeniu LCAO (liniowej kombinacji orbitali atomowych) są one zbudowane z orbitali atomowych skoncentrowanych przy różnych atomach. W wyniku tego pojawiają się w obliczeniach całki wielocentrowe, tj. takie, w których funkcje podcałkowe są iloczynami orbitali atomowych należących do różnych atomów. W przypadku cząsteczek dwuatomowych najwięcej kłopotu sprawia obliczenie tzw. całek wymiany mających postać

$$\int (1/r_{12}) \chi_a(1) \chi_b(1) \chi_a(2) \chi_b(2) d\tau_1 d\tau_2, \quad [1]$$

gdzie r_{12} oznacza odległość między elektronami 1 i 2, a funkcje χ_a i χ_b są odpowiednio orbitalami atomowymi skoncentrowanymi wokół atomu a i b . Najprostszą całkę wymiany otrzymamy wstawiając do [1] jako χ funkcje $1s$ atomu wodoru. Dla zobrazowania stopnia trudności obliczania tych całek można przypomnieć, że gdy po raz pierwszy całka taka pojawiła się w znanej pionierskiej pracy Heitlera i Londona dotyczącej cząsteczki H_2 , wówczas Sugiura opublikował oddzielnie specjalną pracę, w której tę właśnie jedną całkę obliczył.

Ostatnie lata przyniosły w tej dziedzinie radykalną zmianę. W 1958 roku na Uniwersytecie Chicagowskim, po z górą dwóch latach prac przygotowanych kilkuosobowego zespołu, ukończono program¹ umożliwiający obliczanie dwucentrowych całek molekularnych. Program ten był ograniczony. Korzystając z niego można było obliczać jedynie całki pochodzące od orbitali atomowych o głównej liczbie kwantowej nie większej niż 2. Niemniej dokonano olbrzymiego postępu. Całki wymienne nawet bardziej skomplikowane niż ta, której obliczenie stanowiło temat pracy Sugiury, maszyna zaczęła liczyć z szybkością ok. 15 całek na minutę, a dziś, dzięki rozwinięciu bardziej efektywnych metod numerycznych, w stadium końcowym znajduje się opracowywanie programu, który czas obliczania tych całek skróci prawie o rząd wielkości.

Korzystając z posiadanych programów można by stosunkowo prosto i szybko obliczyć obszerne tablice całek molekularnych. Okazało się jednak, iż nie byłyby one praktyczne. Pełną wartość miałyby takie tablice tylko wtedy, gdyby całki były obliczone dla bardzo małych odstępów między wartościami parametrów, choć i wówczas interpolacja byłaby nieraz konieczna. Z drugiej zaś strony wiele całek obliczono by niepotrzebnie, gdyż odpowiednie wartości parametrów mogą nigdy nie wystąpić w problemach molekularnych. Nie ulega też wątpliwości, iż

¹ Programem nazywamy zbiór instrukcji, na podstawie którego maszyna może dane obliczenia wykonać.

posługiwanie się tablicami jest kłopotliwe. Jeśli dalsze obliczenia ma wykonać maszyna, odpowiednie całki należy wyszukać, uszeregować w odpowiedni sposób i przekazać maszynie. Operacje te zajmują czas i stwarzają możliwość pomyłki. Bardziej racjonalne okazało się każdorazowe obliczanie całek dla konkretnie rozpatrywanej cząsteczki. Program opracowano więc w ten sposób, że maszynie podaje się do wiadomości, dla jakiej cząsteczki chce się obliczenia wykonać, tzn. podaje się ładunki jąder, odległość między atomami oraz wartości wykładników w orbitalach atomowych. Są to właśnie parametry, od których zależą całki molekularne. Następnie wystarczy nacisnąć odpowiedni guzik wprawiający maszynę w ruch i obliczy ona automatycznie wszystkie całki potrzebne do wyznaczenia energii i funkcji falowej rozpatrywanej cząsteczki. Programy tego typu zostały już opracowane w kilku ośrodkach w Stanach Zjednoczonych.

Te nowe, niezwykle możliwości wykonywania obliczeń doprowadziły w chemii kwantowej do powstania nowego działu o własnej, specyficznej problematyce. Pracującym w tej dziedzinie coraz trudniej jest znaleźć wspólny język z kolegami zajmującymi się półempirycznymi teoriami budowy cząsteczek. Na konferencjach poświęconych chemii kwantowej coraz więcej pojawia się referatów czysto matematycznych. Coraz wyraźniej zaznacza się podział chemików teoretyków na dwie grupy — jedni wykonują proste, półempiryczne obliczenia dla skomplikowanych układów, takich jak np. związki kompleksowe lub organiczne, drudzy zajmują się skomplikowanymi i dokładnymi obliczeniami dla prostych układów, takich jak atom helu i dwuatomowe cząsteczki H_2 , Li_2 , N_2 , LiH , BH , CO itp., które z chemicznego punktu widzenia są w najlepszym razie mało interesujące.

Skrajni przedstawiciele drugiego kierunku twierdzą, że tylko ich obliczenia są wartościowe, gdyż dają wyniki, na których można rzeczywiście polegać, podczas gdy w pracach należących do pierwszej grupy dowolność wprowadzanych założeń jest tak duża, że najczęściej możemy otrzymać takie wyniki, jakie tylko chcemy i wobec tego są one bezwartościowe. Ich oponenti uważają natomiast, że właśnie wykonywanie skomplikowanych obliczeń dla atomów i cząsteczek jest bezcelowe. Obliczenia — twierdzą oni — mają sens tylko wtedy, gdy są na tyle proste, że można im nadać fizyczną interpretację umożliwiającą zrozumienie sił działających w cząsteczkach i zachodzących w niej procesów, natomiast dokładne wyniki liczbowe prościej jest otrzymać na drodze doświadczalnej. Prawda leży chyba pośrodku. I w pierwszej, i w drugiej grupie można znaleźć zarówno prace stanowiące trwały wkład do chemii kwantowej, przyczyniające się do poznania struktury cząsteczek, jak i takie, do których w pełni stosują się przytoczone wyżej uwagi krytyczne.

Działalność teoretyków należących do pierwszej grupy jest lepiej znana, rozwijana jest ona bowiem od samego powstania chemii kwantowej, tj. od ponad 30 lat. Mniej znane są natomiast osiągnięcia w dziedzinie drugiej, która w szybkim tempie zaczęła się rozwijać dopiero od udostępnienia uniwersytetom i instytutom naukowym wielkich elektronowych maszyn do liczenia, a więc przed paru zaledwie laty. Problematyka tej młodej dziedziny badań, jej trudności, sukcesy i perspektywy rozwoju będą tematem niniejszego artykułu.

METODA POLA SAMOUZGODNIONEGO

Energię i funkcję falową cząsteczki wyznaczamy posługując się najczęściej metodą orbitali molekularnych. Maszyny elektronowe faktu tego nie zmieniły, umożliwiły jednak konsekwentne przeprowadzenie obliczeń bez wprowadzania dodatkowych przybliżeń, bez tak pospolitego w teorii „zaniedbywania małych wielkości”, o których skądinąd wiadomo, że wcale nie są małe.

W metodzie orbitali molekularnych zakładamy, że w cząsteczce każdy elektron porusza się niezależnie od innych w polu jąder i w uśrednionym polu pochodzącym od pozostałych elektronów. Zakładamy więc, że stan rozpatrywanego elektronu możemy opisać funkcją falową $\psi(\mathbf{r}_j)$ zależącą tylko od współrzędnych tego jednego elektronu. Funkcję tę mnożymy następnie przez odpowiednią funkcję spinową α lub β w zależności od kierunku spinu i z otrzymanych w ten sposób spin-orbitali budujemy w postaci wyznacznika całkowitą funkcję falową dla wszystkich elektronów

$$\Psi = \begin{vmatrix} \psi_1(1)\alpha(1) & \psi_1(1)\beta(1) & \psi_2(1)\alpha(1) & \dots & \psi_n(1)\beta(1) \\ \psi_1(2)\alpha(2) & \psi_1(2)\beta(2) & \psi_2(2)\alpha(2) & \dots & \psi_n(2)\beta(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_1(n)\alpha(n) & \psi_1(n)\beta(n) & \psi_2(n)\alpha(n) & \dots & \psi_n(n)\beta(n) \end{vmatrix}. \quad [2]$$

Funkcję Ψ możemy zastosować do obliczenia energii układu otrzymując lepszy lub gorszy wynik w zależności od wyboru orbitali ψ_i . Funkcję typu [2] stosujemy przy rozpatrywaniu zarówno atomów jak i cząsteczek. Różnica w obu przypadkach polega jedynie na wyborze jednoelektronowych funkcji ψ_i . Rozpatrując atomy możemy jako ψ_i zastosować proste orbitale atomowe Slatera, w przypadku zaś cząsteczek jako ψ_i możemy wziąć orbitale molekularne typu LCAO. Dla dwuatomowych cząsteczek homopolarnych mają one postać

$$\psi = N(\chi_a \pm \chi_b), \quad [3]$$

gdzie χ_a i χ_b są atomowymi orbitalami (np. orbitalami Slatera) atomów a i b .

Dokładniejsza jest metoda orbitali molekularnych w przybliżeniu pola samouzgodnionego (SCF), zwana też metodą Hartree—Focka. Stawia sobie ona za zadanie znalezienie najlepszych funkcji φ_i spośród wszystkich możliwych jednoelektronowych funkcji falowych ψ_i , a tym samym najlepszej energii układu, jaką można otrzymać posługując się jednoelektronowymi orbitalami. Początkowo obliczenia metodą pola samouzgodnionego wykonywano tylko dla atomów i to metodą numeryczną, tzn. wynik otrzymywano w postaci tabeli zawierającej wartości funkcji φ_i dla różnych odległości elektronów od jądra. Przeniesienie tej techniki na cząsteczki nie było proste, głównie z uwagi na większą liczbę stopni swobody. Stało się to możliwe dopiero, gdy w 1951 r. Roothaan podał dla cząsteczek inną metodę. Funkcje falowe φ_i zakłada się tu w postaci szeregu

$$\varphi = c_1 \psi_1 + c_2 \psi_2 + c_3 \psi_3 + \dots \quad [4]$$

Wszystkie funkcje ψ_i muszą mieć jednakową symetrię. Mogą to więc być funkcje typu [3] zbudowane odpowiednio z orbitali $1s, 2s, 2p\sigma, \dots$ dla $j = 1, 2, 3, \dots$ Współczynniki c_n wyznacza się metodą pola samouzgodnionego, tzn. tak, aby dawały możliwie najniższą wartość energii. Wykładniki w orbitalach atomowych można także traktować jako zmienne i wyznaczać najlepsze ich wartości tą samą metodą. Im więcej wyrazów uwzględnimy w rozwinięciu [4], tym bardziej będzie funkcja falowa ψ_i zbliżona do funkcji, którą otrzymalibyśmy rozwiązując ściśle równania Hartree—Focka. Obliczenia tą metodą są jednak bardzo żmudne i do niedawna w literaturze można było znaleźć tylko mało dokładne wyniki dla kilku zaledwie cząsteczek.

Dziś wiele ośrodków zajmuje się — przy użyciu maszyn elektronicznych — zastosowaniem metody SCF do atomów i cząsteczek. Do przodujących należą tu Uniwersytet Chicagowski i Massachusetts Institute of Technology. Celem, częściowo już osiągniętym, jest opracowanie dla maszyn takich programów, które umożliwiłyby wykonywanie obliczeń w jak najwyższym stopniu zautomatyzowanych. Można powiedzieć, iż dąży się do jak najpełniejszego wyeliminowania z obliczeń elementu ludzkiego, każda bowiem interwencja człowieka na pośrednich etapach pracy maszyny przedłuża znacznie czas obliczeń i zwiększa prawdopodobieństwo błędu.

Dla dwuatomowych cząsteczek zbudowanych z atomów pierwszego szeregu układu periodycznego oraz dla wodorków tychże atomów program tego typu pracuje od trzech lat w Chicago. Wspominaliśmy już o programie obliczania całek. Otóż został on połączony z programem obliczeń energii i funkcji falowych metodą SCF. Dane definiujące całki definiują także jednoznacznie cząsteczkę oraz konfigurację jej atomów. Wystarczy więc podać maszynie te dane, nacisnąć odpowiedni guzik i maszyna oblicza najpierw wszystkie potrzebne całki, bezpośrednio potem konstruuje odpowiednie macierze, następnie metodą iteracyjną dokonuje minimalizacji energii i po zakończeniu obliczeń drukuje wyniki, tzn. współczynniki c_i w równaniu [4] oraz energię. Można zażądać, aby maszyna nie zatrzymując się obliczyła również różne wielkości związane z rozkładem gęstości elektronowej oraz moment dipolowy, jeśli cząsteczka jest polarna. Możemy także polecić wydrukowanie wszystkich całek stosowanych w obliczeniach lub innych pośrednich wyników.

Wykonanie dla jednej cząsteczki opisanych obliczeń zajmuje maszynie 5—30 minut. Dla porównania można przypomnieć, że w 1954 roku na Uniwersytecie Chicagowskim C. Scherr wykonywał pracę doktorską, której celem było właśnie zastosowanie metody SCF do cząsteczki N_2 . Obliczenia numeryczne wykonywane na arytmometrach przy pomocy jednego rachmistrza zajęły mu ponad rok czasu. Dzisiaj maszyna może pracę doktorską Scherra powtórzyć, i powtórzyła, w czasie krótszym niż 15 minut. Sukces niewątpliwy, lecz dziś wyniki te już nas nie zadowalają. W omawianych obliczeniach stosowano tylko orbitale atomowe o głównej liczbie kwantowej nie większej niż 2, a to nie wystarcza — szczególnie dla cząsteczek, które mają pary elektronów swobodnych lub wiązania podwójne. Poza tym obliczenia wykonuje się dla określonych wartości wykładników w orbitalach atomowych. Chcąc wyznaczyć ich optymalne wartości trzeba zlecić maszynie wykonanie całego szeregu takich obliczeń jak opisane powyżej i znalezienie przez inter-

polację najlepszych wykładowców. A i wówczas byłyby to wyniki tylko dla jednej odległości między atomami, podczas gdy chcielibyśmy znać całą krzywą energii potencjalnej. Widzimy, że wykonanie pełnych obliczeń metodą SCF nawet dla prostej dwuatomowej cząsteczki wymagałoby przynajmniej kilkuset godzin pracy maszyny, tymczasem jedna godzina kosztuje 500 dolarów. Nic więc dziwnego, że wiele wysiłku wkłada się obecnie w opracowanie bardziej efektywnych, szybszych metod rachunkowych.

Intensywnie dąży się również do rozszerzenia obliczeń na cząsteczki wieloatomowe. Główna trudność polega tu na tym, że poza dwucentrowymi pojawiają się w obliczeniach znacznie od nich trudniejsze całki 3- i 4-centrowe. Stopniowo jednak i tutaj osiąga się pewien postęp. Na przykład w Chicago wykonano już metodą pola samouzgodnionego obliczenia dla dwóch cząsteczek liniowych: CO_2 i C_2H_2 . Czasy obliczeń są tu dłuższe i wynoszą 2—3 godziny, a pełne obliczenia wymagałyby kilku tysięcy godzin pracy maszyny.

Można tu zadać pytanie, czy jest celowe rozszerzanie tych obliczeń. Metoda pola samouzgodnionego jest metodą przybliżoną. Zakładając, że stan dowolnie wybranego elektronu cząsteczki możemy opisać jednoelektronową funkcją falową, że ruch jego nie zależy od ruchu elektronów pozostałych, zaniedbujemy korelację elektronów. W tym ujęciu przebywanie dwóch elektronów w pobliżu siebie jest równie prawdopodobne jak przebywanie ich na dużej odległości, a tymczasem z powodu odpychania się elektronów duże odległości między nimi powinny być znacznie bardziej uprzywilejowane niż odległości małe. Z góry więc wiadomo, że nawet gdybyśmy zastosowali nieskończenie długie rozwinięcia [4], nie otrzymalibyśmy dokładnej wartości energii cząsteczki. Stąd pytanie: czy warto wkładać tyle pracy w rozwijanie metody SCF, czy warto dążyć do tego, by zwiększając liczbę członów rozwinięcia [4] otrzymać możliwie najlepsze orbitale jednoelektronowe? Czy nie byłoby bardziej celowe stosowanie w obliczeniach innego typu funkcji, uwzględniających choć częściowo korelację elektronów?

Weźmy np. pod uwagę atom helu. W metodzie SCF funkcja falowa dla elektronów helu, przy pominięciu części spinowej, ma postać

$$\Psi = \varphi(1) \varphi(2), \quad [5]$$

gdzie jako φ przyjmujemy

$$\varphi = e^{-\xi r} \sum_{n=0} c_n r^n. \quad [6]$$

Zamiast [5] możemy także zastosować funkcję

$$\Psi = e^{-\xi(r_1+r_2)} (1 + cr_{12}), \quad [7]$$

gdzie $r_{12} = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$ jest odległością między elektronami. Wyniki otrzymane za pomocą tych funkcji oraz dokładne podane są w tablicy 1. Widzimy, że funkcja [7] daje wprawdzie dużo lepszą wartość energii niż funkcja [5], ale sytuacja jest przeciwna przy obliczaniu średniej odległości elektronów od jądra oraz średniego kwadratu tej odległości, który określa diamagnetyczne właściwości atomu; tutaj funkcje SCF dają bardzo dobre wyniki.

Energii obliczonych metodą SCF nie należy jednak również lekceważyć, gdyż wykazują one pewne ciekawe i ważne cechy. Na przykład dla wszystkich jonów helopodobnych różnica między tą energią (E_{SCF}) a energią dokładną (E_d) jest prawie stała, niezależna od ładunku jądra.

Tablica 1

Energie atomu helu oraz średnie wartości r i r^2 obliczone za pomocą różnych funkcji falowych (w jedn. at.)

Funkcja falowa	[5]	[7]	dokładna
— Energia	2,86168	2,89112	2,90372
r^2	1,185	1,077	1,193
r	0,9273	0,8970	0,9295

Ilustrują to wyniki podane w tablicy 2. Możemy więc przypuszczać, że różnica ta, zwana energią korelacji, ma tę samą wartość także dla innych atomów czy jonów, że obliczając metodą SCF energie elektronów 1s dowolnego atomu otrzymamy wartość o 1,1—1,2 eV wyższą od dokładnej. Dla atomu litu, posiadającego w porównaniu z helem jeden dodatkowy elektron 2s, energia korelacji wynosi 1,25 eV. Jest to zaledwie 0,07 eV więcej niż energia korelacji dla jonu Li^+ . Stąd wynika, że główny błąd w obliczaniu energii popełniamy zaniedbując korelację między tymi elektronami, których stan opisywany jest tą samą przestrzenną funkcją falową (tutaj funkcją 1s), natomiast pominięcie korelacji między elektronami 1s i elektronem 2s nie wprowadza dużego błę-

Tablica 2

Energie jonów helopodobnych obliczone metodą SCF oraz wartości dokładne

Jon	E_{SCF} (jedn. at.)	$-E_d$ (jedn. at.)	$E_{SCF} - E_d$ (eV)
H^-	0,48793	0,52775	1,083
He	2,86168	2,90372	1,144
Li^+	7,23641	7,27991	1,184
Be^{+2}	13,61130	13,65557	1,205
B^{+3}	21,98623	22,03097	1,217
C^{+4}	32,36119	32,40625	1,227
N^{+5}	44,73616	44,78145	1,232
O^{+6}	59,11114	59,15660	1,237
F^{+7}	75,48613	75,53171	1,240
Ne^{+8}	93,86111	93,90681	1,244

du. Wykonując obliczenia metodą pola samouzgodnionego wiemy więc wprawdzie z góry, że energia obarczona będzie błędem, lecz możemy mieć nadzieję, iż wielkość tego błędu potrafimy przewidzieć.

Przed sformułowaniem dalszych wniosków zajmijmy się przez chwilę innym prostym przykładem — cząsteczką H_2 . W tablicy 3 podane są

energie wiązania oraz średnie wartości r^2 obliczone dla cząsteczki wodoru za pomocą funkcji SCF, tj. typu [5] (oczywiście w tym przypadku stosowano inne rozwinięcie niż [6]) oraz funkcji Heitlera i Londona

$$\Psi = \chi_a(1)\chi_b(2) + \chi_b(1)\chi_a(2) \quad [8]$$

i funkcji będącej 4-członowym rozwinięciem we współrzędnych eliptrycznych.

Widzimy, że nawet prosta funkcja Heitlera i Londona [8] daje lepszą wartość energii niż funkcja SCF, której obliczenie jest bardzo skomplikowane i możliwe do wykonania w rozsądnym czasie jedynie przy użyciu maszyn elektronowych. Jednakże średnia wartość r^2 obliczona metodą SCF jest dokładniejsza nawet od otrzymanej za pomocą funkcji 4-członowej, która daje bez porównania lepszą energię. Widzimy również, że i w tym przypadku, podobnie jak w jonach helopodobnych, różnica między energią otrzymaną metodą pola samouzgodnionego a wartością dokładną wynosi nieco więcej niż 1 eV.

Tablica 3

Energie wiązania oraz średnie wartości r^2
dla cząsteczki H_2

Funkcja falowa	Energia wiązania (eV)	r^2 (jedn. at.)
SCF	3,636	2,574
Heitlera i Londona	3,782	2,665
4-członowa	4,126	2,429
dokładna	4,747	2,543

Przedstawione wyniki otrzymane dla elektronów 1s sugerują, że i dla elektronów innego typu uda się nam, być może, stwierdzić podobne regularności, że uda się wykazać, iż obliczając energię metodą SCF dla określonego typu elektronów popełniamy błąd, którego bezwzględna wielkość nie zależy od ładunku jądra. Możemy łatwo przekonać się, że przypuszczenia te nie są pozbawione podstaw. Rozpatrzmy np. cząsteczkę LiH i spróbujemy przewidzieć, jakim błędem powinna być obarczona jej energia wiązania obliczona metodą pola samouzgodnionego. Stosując metodę SCF do atomu litu popełniamy błąd przez nieuwzględnienie korelacji elektronów 1s, a dla atomu wodoru otrzymujemy ścisłą wartość energii. W przypadku cząsteczki LiH błąd będzie pochodził od pominięcia korelacji elektronów 1s litu oraz korelacji pary elektronów tworzących wiązanie między wodorem a litem. Stan elektronów 1s mało się zmienia przez związanie się atomu litu z wodorem, możemy więc przyjąć, że energia korelacji elektronów 1s w cząsteczce ma tę samą wartość co w atomie. Wobec tego przy obliczaniu energii wiązania błąd ten się zniesie i pozostanie tylko błąd pochodzący od nieuwzględnienia korelacji elektronów wiążących, a ten powinien wynosić ok. 1 eV. Obliczona metodą SCF energia wiązania cząsteczki LiH wy-

nosi 1,41 eV, wartość doświadczalna 2,52 eV, a więc istotnie różnica tych dwóch wielkości jest prawie równa 1 eV. Podobny wynik otrzymuje się także w przypadku BH, gdzie w wiązaniu zaangażowany jest elektron 2p. Obliczona i doświadczalna energia wiązania wynoszą tu odpowiednio 2,07 i 3,14 eV.

Za mało jeszcze wiemy o energiach korelacji, by podobnie jak dla LiH przewidywać wielkość błędu dla bardziej skomplikowanych cząsteczek. Przykłady tu przytoczone ukazują jednak bardzo istotne i ważne zalety metody pola samouzgodnionego. Metoda ta opiera się na ściśle określonym, prostym modelu cząsteczki. Wprowadzie stosowane w niej jednoelektronowe orbitale mogą wyrażać się dosyć skomplikowanymi rozwinięciami, ideowo nie komplikuje to jednak modelu, nie zaciemnia jego sensu fizycznego; każdy elektron jest zawsze opisywany jednoelektronową funkcją falową φ , a z funkcji tych w prosty sposób jest zbudowana całkowita funkcja falowa [2]. Drugą ważną zaletą funkcji SCF jest to, że prowadzą one do dobrych wyników dla tych wielkości, które, podobnie jak r i r^2 , zależą tylko od całkowitego rozkładu gęstości elektronów, a nie od ich wzajemnych położeń. No i jeszcze jedna niezwykle ważna cecha, mianowicie metodę SCF można względnie prosto stosować do bardziej skomplikowanych układów. Dlatego też dziś dąży się do jak najefektywniejszego wyzyskania elektronowych maszyn i wykonania możliwie pełnych obliczeń metodą pola samouzgodnionego początkowo dla prostych, następnie dla coraz bardziej skomplikowanych cząsteczek.

Tablica 4

Energie wiązań obliczone metodą SCF (eV)

Cząsteczka	LiH	BH	HF	Li ₂	N ₂	F ₂	CO	BF	LiF
D_a	1,34	1,83	1,21	0,15	1,19	—0,30	5,38	5,24	0,37
D_b	1,41	2,07	2,56	0,15	2,61	—0,20	—	—	—
D_c	—	—	4,41	—	—	—	—	—	—
$D_{dośw}$	2,52	3,1	6,1	1,05	9,90	1,68	8,6	11,11	5,99

Konieczność rozszerzenia obliczeń ilustrują wyniki podane w tablicy 4. Mamy tam zebrane energie wiązań obliczone dla kilku cząsteczek dwuatomowych. Energie D_a obliczono stosując dla wykładników w orbitalach atomowych wartości Slatera, natomiast D_b odpowiadają optymalnym wartościom tych wykładników. Zgodność teorii z doświadczeniem jest raczej problematyczna, szczególnie w przypadku cząsteczek posiadających swobodne pary elektronów oraz wiązania typu π . Wiadomo jednak, iż jest tu możliwe poprawienie wyników teoretycznych przez wprowadzenie do obliczeń orbitali atomowych o głównej liczbie kwantowej większej niż 2. W ten właśnie sposób została otrzymana energia wiązania cząsteczki fluorowodoru oznaczona w tablicy jako D_c . Prawdopodobnie i ten wynik będzie można jeszcze nieco poprawić, ukazuje on jednak wyraźnie konieczność stosowania dłuższych rozwinięć dla orbitali SCF.

Chcąc pełniej ocenić wartość podanych wyników, należy sobie przypomnieć, że energia wiązania stanowi tylko bardzo mały ułamek całkowitej energii cząsteczki. Na przykład całkowita energia dwóch atomów azotu wynosi -2972 eV, cząsteczki N_2 -2982 eV i dopiero różnica tych liczb daje energię wiązania. Całkowite energie obliczone metodą SCF obarczane są tylko małym błędem nie przewyższającym 1%; dla cząsteczki N_2 otrzymuje się -2956 eV, a dla dwóch atomów azotu -2953 eV. Ważną zaletą metody pola samouzgodnionego jest także to, że formułuje ona jednolite postępowanie zarówno dla cząsteczek jak

Tablica 5

Najniższe potencjały jonizacji obliczone metodą
SCF (eV)

Cząsteczka	N_2	F_2	CO
I	$-15,11$	$-12,91$	$-13,08$
$I_{dośw}$	$-15,60$	$-15,7$	$-14,01$

i dla atomów. Właśnie dzięki temu możliwe jest wystąpienie pewnej regularności w obliczonych energiach wiązań. Metody mniej konsekwentne mogą w pewnych przypadkach dać nawet lepsze wyniki. Wystarczyłoby przecież zastosować do atomów azotu nieco gorsze funkcje falowe podwyższające o 0,2% ich energie całkowite, a otrzymana energia wiązania zgadzałaby się dokładnie z wartością doświadczalną. Niebezpieczeństwa tego można by uniknąć przyjmując dla energii atomów wartości doświadczalne, ale wówczas większość dotychczasowych obliczeń nie dawałaby w ogóle wiązań; otrzymalibyśmy je dopiero wtedy gdybyśmy całkowitą energię umieli obliczyć z błędem mniejszym niż 0,1%.

Tablica 6

Momenty dipolowe obliczone metodą SCF (D)

Cząsteczka	LiH	BH	NH	HF	CO	BF	LiF
μ_a	6,41	0,999	1,54	0,878	0,730	2,16	2,94
μ_b	5,92	1,58	2,01	1,44	—	—	—
$\mu_{dośw}$	—	—	—	1,73	0,118	—	6,6

Dodatkowe wyniki otrzymane metodą SCF podane są w tablicach 5 i 6, które zawierają najniższe potencjały jonizacji oraz momenty dipolowe. W tablicy 6 momenty dipolowe μ_a i μ_b odpowiadają energiom wiązania D_a i D_b — obliczone zostały za pomocą tych samych funkcji falowych*. Niestety dla cząsteczek CO i LiF mamy tylko wstępne wy-

* Już w czasie drukowania tego artykułu ukazała się praca, w której podano doświadczalnie wyznaczoną wartość momentu dipolowego cząsteczki LiH. Wynosi ona $\mu = 5,9$. Wynik ten świadczy o dużym sukcesie teorii, która dokładnie przewidywała wartość momentu dipolowego, a jednocześnie wykazuje, że zgodnie z przedstawionymi tu poglądami metoda SCF poprawnie opisuje rozkład gęstości elektro-
nowej w cząsteczkach.

niki, μ_a , które nie zgadzają się z doświadczeniem. Przykład HF wykazuje jednak wyraźnie, że poprawienie funkcji falowych ma tu decydujący wpływ na polepszenie zgodności z doświadczeniem, a nie należy zapominać, że funkcja, za pomocą której otrzymano wartość μ_b dla fluorowodoru, może być jeszcze znacznie poprawiona. Widać to wyraźnie z tablicy 4. Dla osiągnięcia tej poprawy, a również dla rozszerzenia metody pola samouzgodnionego na bardziej skomplikowane cząsteczki konieczne jest jednak — podkreślamy to raz jeszcze — rozwijanie bardziej efektywnych metod matematycznych oraz konstruowanie szybszych i większych maszyn do liczenia. W obu tych kierunkach obserwuje się ciągły postęp.

METODA ODDZIAŁYWANIA KONFIGURACJI

Chcąc otrzymać wyniki lepsze od tych, które daje metoda pola samouzgodnionego, należy zrezygnować z prostego opisu elektronów cząsteczki za pomocą jednego wyznacznika [2] zbudowanego z jednoelektronowych funkcji falowych. Należy uwzględnić korelacje, tj. współzależność ruchów poszczególnych elektronów. Najwłaściwszą drogą prowadzącą do tego celu jest zastosowanie metody oddziaływania konfiguracji (zwanej także metodą superpozycji konfiguracji). Zasada jej polega na tym, że stan elektronów w cząsteczce opisujemy nie jednym wyznacznikiem [2], lecz liniową kombinacją takich wyznaczników

$$\Phi = \sum_{i=1} C_i \Psi_i. \quad [10]$$

Innymi słowy dokładną funkcję falową Φ rozwijamy na szereg. Wiemy jak zbudować pierwszy wyznacznik — jest nim właśnie [2]. Następne mają podobną postać; różnica polega tylko na tym, że jedna lub więcej funkcji jednoelektronowych odnosi się do któregoś poziomu wzbudzonego. Zilustrujmy to na przykładzie atomu helu. Funkcja SCF, jeśli pominiemy spiny, ma w tym przypadku postać

$$\Psi_1 = \varphi_1(1) \varphi_1(2). \quad [11]$$

W metodzie oddziaływania konfiguracji możemy wziąć np. funkcję

$$\Phi = C_1 \Psi_1 + C_2 \Psi_2 + \dots = C_1 \varphi_1(1) \varphi_1(2) + C_2 \varphi_2(1) \varphi_2(2) + \dots, \quad [12]$$

gdzie funkcje φ_1 i φ_2 odnoszą się odpowiednio do poziomów 1s i 2s, przy czym nie muszą być one najlepszymi funkcjami SCF. Jedyne warunki, które funkcje Ψ_j muszą spełniać, jest ich jednakowa symetria. Współczynniki $C_1, C_2, \dots$ w [12] wyznaczamy, jak zawsze, przez minimalizację energii.

Jeśli funkcje Ψ_j tworzą układ zupełny, to biorąc wystarczającą liczbę wyrazów w rozwinięciu [10] możemy otrzymać dla energii wartość dowolnie mało różniącą się od wartości ścisłej. Tędy wiedzie więc droga do dokładnych wyników. Obliczenia tego typu są jednak bardzo żmudne i uciążliwe. Poza tym, jeśli uwzględnimy tylko niewiele członów rozwinięcia, kryją one w sobie pewne niebezpieczeństwa. Pierwszym z nich jest to, że z poprawieniem energii nie zawsze idzie w parze poprawienie

innych wielkości. Ilustrujące to przykłady poznaliśmy już poprzednio, funkcja [7] (tablica 1) oraz funkcja 4-członowa (tablica 3) są właśnie funkcjami typu [10]. Drugie niebezpieczeństwo jest analogiczne do innego także już omówionego. Bardzo łatwo może się np. zdarzyć, że do obliczenia energii cząsteczki zostanie zastosowana nieco lepsza funkcja falowa niż do obliczenia energii atomów. W wyniku tego otrzymamy przypadkowo bardzo dobrą wartość energii wiązania, mimo że całkowite energie są w dalszym ciągu obarczone poważnym błędem. Może także zaistnieć sytuacja przeciwna, mianowicie poprawimy obie funkcje przy czym funkcję dla atomów poprawimy w nieco większym stopniu niż dla cząsteczki. W efekcie, mimo poprawienia całkowitej energii cząsteczki otrzymamy gorszą energię wiązania.

Uwagi te powinny nas ostrzec przed ocenianiem wartości jakichś obliczeń tylko na podstawie energii wiązania. Chcąc konsekwentnie stosować metodę oddziaływania konfiguracji należałoby uwzględnić bardzo dużo członów rozwinięcia [10]. W przeciwnym razie, przy kilku zaledwie członach, dla energii wiązania możemy otrzymać zupełnie przypadkowe wyniki, a dla innych wielkości wyniki gorsze niż uzyskane metodą pola samouzgodnionego. Nie znaczy to, że obliczenia uwzględniające w małym tylko stopniu oddziaływanie konfiguracji są zupełnie bezwartościowe. Otrzymane wyniki należy jednak traktować tylko jako orientacyjne, a same obliczenia jako krok wstępny do obliczeń pełniejszych.

Pełne obliczenia metodą oddziaływania konfiguracji zostały na razie wykonane tylko dla układów dwuelektronowych, z których najbardziej reprezentatywnymi są atom helu i cząsteczka wodoru. Stosowano tu funkcje w postaci [10], przy czym dla helu funkcje Ψ_j zależały od odległości elektronów od jądra (r_1 i r_2), a także od wzajemnej odległości obu elektronów (r_{12})

$$\Psi_j = e^{-\xi(r_1 + r_2)} (r_1^{k_j} r_2^{l_j} + r_1^{l_j} r_2^{k_j}) r_{12}^{m_j}. \quad [13]$$

Okazało się, że szereg [10] jest najszybciej zbieżny właśnie przy użyciu funkcji [13]. Energie atomu helu znalezione dla różnych długości rozwinięć typu [10] podane są w tablicy 7. Najdłuższa ze stosowanych dotąd funkcji falowych, obliczona przez Pekerisa, miała 1078 członów!

Tablica 7

Energie atomu helu obliczone za pomocą
funkcji falowych o różnej liczbie członów

Liczba członów	Energia (jedn. at.)
10	—2,9036261
18	—2,9037150
39	—2,9037225
60	—2,9037237
203	—2,9037242
1078	—2,903724376

Wyników podanych w tablicy 7 nie można bezpośrednio porównać z doświadczeniem, w tym celu należy bowiem obliczyć jeszcze poprawki wynikające z uwzględnienia ruchu jądra, z efektów relatywistycznych

i z elektrodynamiki kwantowej. Po wprowadzeniu tych poprawek energia otrzymana za pomocą 39-członowej funkcji falowej różni się jeszcze o $0,5 \text{ cm}^{-1}$ od wartości doświadczalnej, a wyniki 203- i 1078-członowej funkcji falowej zgadzają się z wartością doświadczalną w granicach błędu doświadczalnego, który wynosi $0,15 \text{ cm}^{-1}$.

Kulista symetria atomu helu znacznie ułatwia wykonywanie obliczeń, natomiast dla cząsteczki wodoru, która ma symetrię osiową, są one wielokrotnie trudniejsze. Jednak i tutaj osiągnięto duży postęp. W znanej pracy Jamesa i Coolidge'a w rozwinieciu [10] dla cząsteczki wodoru zostały zastosowane funkcje w postaci

$$\Psi_i = e^{-\xi(\xi_1 + \xi_2)} [\xi_1^{k_i} \xi_2^{l_i} \eta_1^{m_i} \eta_2^{n_i} + \xi_1^{l_i} \xi_2^{k_i} \eta_1^{n_i} \eta_2^{m_i}] r_{12}^{p_i}, \quad [14]$$

gdzie ξ i η są współrzędnymi eliptycznymi, a r_{12} odległością między elektronami. Obliczenia Jamesa i Coolidge'a, wykonane dla 13-członowej funkcji i dające energię wiązania $4,721 \text{ eV}$, zostały ostatnio rozszerzone do 50 członów. Dokonano także minimalizacji energii z uwagi na wykładnik ζ . Tablica 8 podaje energie wiązania obliczone dla funkcji falowych o różnej liczbie członów typu [14] i przy założeniu, że protony są nieskończenie ciężkie.

Tablica 8
Energie wiązania cząsteczki H_2 otrzymane dla różnej
długości rozwinięć funkcji falowej

Liczba członów	Energia wiązania (eV)
10	4,7098
15	4,7415
20	4,7431
32	4,7462
40	4,7466
50	4,7467

Najnowsza doświadczalna wartość energii wiązania H_2 zmierzona przez Herzberga i Monfilsa wynosi $38292,3 \text{ cm}^{-1}$. Chcąc porównać ją z wartością teoretyczną autorzy ci uwzględnili poprawkę na ruch jąder obliczoną przez Van Vlecka i otrzymali „doświadczalną” energię wiązania dla nieskończenie ciężkich jąder $D_e = 38287,0 \pm 0,8 \text{ cm}^{-1}$. Dokładna wartość teoretyczna otrzymana za pomocą 50-członowej funkcji wynosi $4,74672 \text{ eV} = 38286,9 \text{ cm}^{-1}$. Zgodność teorii z doświadczeniem jest idealna, niestety przypadkowa. Wiadomo bowiem, że relatywistyczne poprawki do energii wiązania wynoszą prawie 2 cm^{-1} . Poza tym poprawka na ruch jąder została przez Van Vlecka obliczona za pomocą bardzo prostej funkcji falowej, a wiadomo, że na postać funkcji falowej jest ona bardzo czuła. Wszystkie te poprawki zostaną niewątpliwie w niedługim czasie dokładnie obliczone i można oczekiwać, że wyniki teoretyczne dla cząsteczki H_2 będą wówczas dokładniejsze od doświadczalnych. Przed ostatnimi pomiarami Herzberga i Monfilsa sytuacja taka przez krótki czas już istniała.

Dla cząsteczki wodoru, posługując się 40-członową funkcją falową, obliczono także w szerokim zakresie krzywą energii potencjalnej, a z niej można było wyznaczyć stałe optyczne dla oscylacji: ω_e , $\omega_e x_e$ oraz $\omega_e y_e$, które są zdefiniowane następującym równaniem dla poziomów energetycznych oscylatora anharmonicznego

$$E_n = hc \omega_e (n + 1/2) - hc \omega_e x_e (n + 1/2)^2 + hc \omega_e y_e (n + 1/2)^3 + \dots \quad [15]$$

Stałe te są podane w tablicy 9 i porównane z wynikami doświadczalnymi. Druga stała anharmoniczności, $\omega_e y_e$, nie zgadza się z wartością doświadczalną. Być może winę za to ponosi w dalszym ciągu funkcja falowa, która mimo swych 40 członów jest dla dużych odległości między jądrami mniej dokładna niż dla odległości małych. A może krzywe energii potencjalnej nie daje się w ogóle obliczyć z taką dokładnością? Trzeba bowiem pamiętać, iż pojęcie tej krzywej ma sens tylko w przybliżeniu. Dopiero dalsze prace przyniosą rozstrzygnięcie tych wątpliwości. Tablica 9 zawiera również inne wielkości obliczone dla cząsteczki H_2 , jak odległość jąder w położeniu równowagi oraz średnie wartości x^2 i z^2 (oś z pokrywa się z osią cząsteczki), które idealnie zgadzają się z danymi doświadczalnymi. Pociąga to za sobą również idealną zgodność średniej wartości r^2 oraz momentu kwadrupolowego. Średnie kwadraty współrzędnych zostały także obliczone metodą pola samouzgodnionego i otrzymano $x^2 = 0,219$, $z^2 = 0,297$, co jeszcze raz świadczy o przydatności metody SCF, jeśli tylko stosuje się w niej wystarczająco długie rozwinięcia. W przypadku odległości między jądrami, R , zgodność teorii z doświadczeniem zostanie niewątpliwie w niedalekiej przyszłości poprawiona przez uwzględnienie sprzężenia ruchu jąder z ruchem elektronów, choć i tutaj w dokładnych obliczeniach pojawia się wiele nowych, subtelnych problemów i wydaje się, że dla otrzymania rzeczywiście poprawnej wartości R trzeba będzie zastosować zupełnie inną metodę niż wyszukiwanie minimum krzywej energii potencjalnej.

Tablica 9

Porównanie z doświadczeniem różnych wielkości obliczonych dla H_2

	ω_e (cm ⁻¹)	$\omega_e x_e$ (cm ⁻¹)	$\omega_e y_e$ (cm ⁻¹)	R (Å)	x^2 (Å)	z^2 (Å)
Wartość teoret.	4401,4	119,3	1,8	0,74127	0,214	0,297
Wartość dośw.	4400,39	120,81	0,724	0,74116	0,214	0,297

Po zaznajomieniu się z tak dokładnymi wynikami teoretycznymi dla cząsteczki wodoru narzuca się pytanie, jakie są możliwości uzyskania podobnie dokładnych wyników dla innych bardziej złożonych cząsteczek. Należy szczerze odpowiedzieć, że w chwili obecnej możliwości takich nie ma. Niezwykła dokładność wyników dla atomu helu i cząsteczki H_2 została osiągnięta dzięki wprowadzeniu do funkcji falowej członów zależących od r_{12} , tj. od wzajemnej odległości elektronów. Jeśli liczba elektronów jest większa niż 2, postępowanie takie prowadzi do całek, których obliczenie przekracza możliwości dzisiejszych maszyn. Czynione są więc próby zastosowania innych rozwinięć funkcji falowej. Wstępne wyniki są zachęcające. Za pomocą 40-członowej funkcji nie zawierającej

r_{12} otrzymano dla cząsteczki wodoru energię wiązania 4,692 eV, a przez odpowiedni dobór członów wynik ten można by jeszcze poprawić. Zaleta zastosowanej tu funkcji polega na tym, że uogólnienie jej na przypadek większej liczby elektronów jest bardzo realne. Świadczą o tym wyniki, które już uzyskano dla atomu litu — najprostszego układu zawierającego więcej niż 2 elektrony. Najlepsza otrzymana dotąd energia litu wynosi —7,4771 jedn.at. Zgadza się ona zupełnie dobrze z wartością doświadczalną —7,4781 i jest znacznie lepsza od wyniku metody pola samouzgodnionego, która daje —7,4327. Do układów zawierających jeszcze więcej elektronów metodę oddziaływania konfiguracji stosowano dotąd tylko w ograniczonym zakresie i otrzymywane wyniki były w dużym stopniu przypadkowe. Poza litem systematyczne prace rozpoczęte jedynie nad czteroelektronowym atomem berylu.

Jakich wyników możemy oczekiwać od maszyn w najbliższym czasie? Niewątpliwie obliczanie dokładnych funkcji SCF dla cząsteczek dwuatomowych już wkrótce przestanie być problemem. Nieco później pełnymi obliczeniami SCF zostaną również objęte względnie proste 3- i 4-atomowe cząsteczki. Otrzymane w ten sposób wyniki rozstrzygną wreszcie kwestię udziału swobodnych par elektronowych w momencie dipolowym cząsteczki oraz inne problemy związane z hybrydyzacją orbitali i rozkładem gęstości elektronów. Teoria da nam również wiarygodne wyniki dla układów takich jak OH, O₂H, NH itp., które nie są dostępne bezpośrednim pomiarem, a wzbudzają ostatnio duże zainteresowanie w chemii radiacyjnej.

Dla metody oddziaływania konfiguracji perspektywy są, jak wiemy, mniej optymistyczne. Wspominaliśmy już, że funkcje zależące od wzajemnych odległości elektronów prowadzą do całek, których nawet przy pomocy dzisiejszych maszyn nie potrafimy obliczyć. Stosowanie rozwinięć innego typu jest znacznie bardziej realne, ale rozwinięcia te są dużo wolniej zbieżne, co znów utrudnia otrzymanie dokładnych wyników. Postęp w tej dziedzinie uwarunkowany jest przede wszystkim postępem w rozwoju szybszych i większych maszyn elektronowych. Trudno dziś przewidzieć, jakie możliwości otworzą się przed nami za kilka lat. Pracę Sugiury wykonaną 35 lat temu możemy dziś powtórzyć w ciągu kilku sekund, pracę Scherra sprzed 6 lat — w ciągu 15 minut. Dokładne obliczenia omówione tu dla cząsteczki wodoru wymagały ok. 100 godzin pracy maszyny. Jeśli następne pokolenie maszyn umożliwi powtórzenie tych obliczeń w ciągu kilku minut, to jednocześnie umożliwi wykonanie równie dokładnych obliczeń dla cząsteczek bardziej złożonych.

Saturnin Borowiec

PROBLEMY GEOGRAFICZNO-GLEBOZNAWCZE POLSKI NA TLE PRACY GIERASIMOWA

Gleboznawstwo jako dziedzina wiedzy należy równocześnie do nauk rolniczo-leśnych i nauk geograficznych. Jednoczesne zacieśnianie więzów gleboznawstwa z geografiami fizyczną i uwypuklenie jego rolniczych i leśnych zadań produkcyjnych stanowi konieczność rozwojową tej dyscypliny. Tymczasem, jak to stwierdza M. Strzemiński (*Roczn. Glebozn.*, dodat. do t. IX, 1960) izolacja gleboznawców polskich w stosunku do krajowej geografii fizycznej jest wyraźna.

Niedostateczne uwzględnianie w badaniach gleboznawczych osiągnięć nauk geologiczno-geograficznych pociąga za sobą często niewłaściwą interpretację morfologii profilów glebowych oraz uzyskiwanych wyników analiz chemicznych, co jest szczególnie niebezpieczne w okresie gdy przed gleboznawcami Europy stoi konieczność porównania i zestawienia konkretnych typów gleb właściwych różnym krajom i różnym warunkom glebotwórczym oraz przedstawienia ich w postaci mapy gleb tej części świata.

Ponieważ wspomniane wyżej problemy są w słabym stopniu uwzględniane i poruszane w polskim piśmiennictwie fachowym, zarówno gleboznawczym jak i geograficznym, autor uważa za celowe przedstawienie w krótkim zarysie istoty poglądów Gierasimowa na niektóre problemy geografii fizycznej Polski związane z genezą jej gleb, zakończone własnymi uwagami autora na ten temat.

I. P. Gierasimow bawił w Polsce w latach 1957 i 1958, przy czym wziął udział w wycieczkach terenowych obejmujących większą część Polski. Wyniki swych obserwacji terenowych oraz analiz laboratoryjnych wybranych profilów przedstawił on w pracy pt. *Poczwy centralnoj Jewropy i swjazannyje s nimi woprosy fizycznej geografii* (Moskwa 1960).

Przeprowadzone przez Gierasimowa w Polsce obserwacje terenowe ujawniły znaczne rozbieżności między jego poglądami na genezę gleb naszego kraju a poglądami przyjętymi w Polsce. Rozbieżności te dotyczą przede wszystkim dwóch grup polskich gleb: gleb bielcowych i gleb brunatnych. Zdaniem Gierasimowa charakterystyki gleb bielcowych i brunatnych, przytoczone w zarysie Musierowicza (1959) nie budzą zasadniczych zastrzeżeń, są jednak bardzo ogólne i dają pojęcie nie tyle o konkretnych typach gleb bielcowych i brunatnych charakterystycznych dla Polski, ile ogólnie o genetycznej istocie procesu bieli-

cowego lub buroziemnego i uniwersalnych cechach tworzących się pod ich wpływem gleb. Gierasimow stwierdza, że w obecnym czasie podobne charakterystyki są niedostateczne, gdyż tak ogólne pojęcia współczesnego gleboznawstwa jak proces bielcowy i gleby bielcowe w ogóle, a także proces tworzenia się gleb brunatnych i gleby brunatne w szerokim zrozumieniu wymagają dalszej detalizacji, szczególnie jeżeli istnieje konieczność porównania i zestawienia konkretnych typów gleb, właściwych dla różnych krajów i różnych warunków glebotwórczych.

Gierasimow uważa, że aktualne zadanie polega na ustaleniu specyfiki gleb bielcowych i brunatnych występujących w Polsce, na porównaniu ich z glebami sąsiednich krajów i na ustaleniu dostatecznie ścisłej



Rys. 1. Schematyczna mapa naturalnego rozmieszczenia głównych typów gleb.
1 — gleby brunatne właściwe i brunatne wylugowane, 2 — gleby pseudobielcowe i bielcowe, 3 — gleby brunatne kwaśne

i określonej nomenklatury wyraźnie ujawniającej zarówno cechy zbieżne jak i istotne różnice gleb, tworzących się pod ogólnym oddziaływaniem procesów bielcowego i buroziemnego, ale w specyficznych miejscowych warunkach.

Gierasimow stwierdza, że proces bielcowy na terytorium Polski nie rozwija się w tej typowej formie przedstawionej w zarysie Musierowicza. W szczególności nie jest on charakterystyczny dla gleb piaszkowych,

nie mających jasno wyrażonych w profilu poziomów eluwialnego i iluwialnego. Gleby te Gierasimow wyodrębnia w osobną grupę gleb piaszkowych, darniowo-bielicowych, słabo zbielicowanych tzw. przez niego „buropiasków”.

Równie mało zbieżne z typowymi glebami bielicowymi w ich ogólnoteoretycznej interpretacji, są jego zdaniem, gleby pn.-wsch. i środkowej Polski wytworzone z glin pod lasami mieszanymi. Specyficzną ich cechą ma być obecność paliowego, tj. powierzchniowo oglejonego poziomu, który zaczyna się pod ściółką leśną i sięga do bardziej uwzięzłego i również oglejonego poziomu o charakterze iluwialnym. Gleby te zostały przez Gierasimowa nazwane glebami bielicowymi, paliowymi, oglejonymi i również wyodrębnione w osobny typ genetyczny. Tworzą się one głównie na dwuczłonowych utworach, składających się z lżejszej spiaszczonej górnej części i cięższej, gliniastej i zawierającej więcej głązów (bruk) dolnej części. Taki typ powierzchniowych utworów jest charakterystyczny dla szerokiego pasa dawnych równin peryglacialnych rozciągających się od Moskwy do Berlina.

Proces bielicowy w glebach leśnych opisywanego typu przebiega w swoistych warunkach. Jego charakterystyczny przejaw — nierównomierne rozmieszczenie cząstek ilastych w profilu gleby — jest silnie ułatwiony przez dwuczłonowość utworu, będącego skałą macierzystą współczesnych gleb. Granulometryczne zróżnicowanie profilu, charakterystyczne dla opisywanych gleb warunkuje również specyficzną formę przejawiania się w nich procesów glejowych, łączących się z bielicowaniem. Procesy glejowe rozwijają się w środkowej części ich profilu, w strefie kontaktowej obu członów. Są one powodowane okresowym zastojem wód na powierzchni wewnątrzglebowej warstwy nieprzepuszczalnej w okresach nadmiernego uwilgotnienia gleby.

Według Gierasimowa w południowej części Polski występują gleby brunatne leśne. Jednak podobnie jak gleby bielicowe posiadają one również bardzo swoiste cechy i właściwości nie odpowiadające zupełnie ich klasycznemu typowi. W przeciwieństwie do niego mają one wyraźnie zróżnicowany granulometrycznie profil glebowy, uwarunkowany, jak i w typie gleb paliowych bielicowych, historią ich geologicznego rozwoju. (Gleby takie zostały nazwane przez Gierasimowa glebami brunatnymi leśnymi pseudobielicowymi oglejonymi. Stwierdził on, że posiadając zbieżne z glebami bielicowymi paliowymi granulometryczne zróżnicowanie swego profilu i powierzchniowe oglejenie, posiadają one równocześnie charakterystyczne cechy gleb brunatnych (procesu buroziemnego), przejawiające się w większej zawartości frakcji ilastej („zglinieniu”) w środkowym poziomie i w biologicznym nagromadzeniu zasad w górnym poziomie.

W ten sposób, stwierdza Gierasimow, pod naciskiem konkretnych materiałów terenowych stało się koniecznością odejście od teoretycznego wzorca typu glebowego, przyjętego przez polskich gleboznawców jako wzorzec wyjściowy i wyodrębnienie w postaci osobnego typu gleb brunatnych leśnych pseudobielicowych, znacznie bardziej charakterystycznych dla równinnego obszaru pd. Polski niż klasyczna typowa gleba brunatna.

Gleby brunatne górskie charakteryzujące się znacznym nagromadzeniem butwiny, bardzo kwaśnym odczynem, znikomo małą zawartością

wymiennych zasad, dość wysoką zawartością wymiennego glinu i brakiem oznak rozwoju procesu bielicowego w rozmieszczeniu frakcji iltu i danych całkowitej analizy chemicznej proponuje Gierasimow nazywać glebami brunatnymi skrytobielicowymi. Według niego ta grupa (osobny typ glebowy) górskich gleb leśnych jest na tyle kwaśna i wyługowana, że cały profil glebowy podlega totalnemu bielicowaniu z usunięciem produktów rozkładu za granicę profilu glebowego, wskutek czego w glebach tych jest wyrażony tylko jeden poziom eluwalny, a brak poziomu iluwalnego jest skutkiem skrytego (tj. niewidocznego) zbielicowania tych gleb.

Gierasimow ma również na uwadze konieczność wyodrębnienia na terytorium Polski, narówni z glebami bielicowymi i brunatnymi, szarych gleb leśnych nie istniejących w systematyce gleb polskich oraz jako samodzielnego typu — gleb bielicowo-bagiennych.

Propozycja wyodrębnienia szarych gleb leśnych jest powodowana przede wszystkim względami geograficznymi. Dałoby to bowiem możliwość podkreślenia przynależności pd.-wsch. Polski do leśno-stepowego pasa Eurazji i bezpośredniego zestawienia z przylegającą częścią Ukrainy.

Wyodrębnienie gleb bielicowo-bagiennych jest uwarunkowane szerokim rozprzestrzenieniem utworów piaszczystych, na których rozwijają się zarówno specyficzne gleby bielicowe jak i bardzo charakterystyczne gleby bielicowo-bagiennie. Pierwsze z nich są właściwe dla suchych przewianych piasków starowymowych, drugie — dla wilgotnych lub mokrych piasków zazwyczaj nie przewianych w płaskim terenie z płytkim poziomem wód gruntowych. Rozdzielenie tych dwóch typów ma duże znaczenie z różnych punktów widzenia.

Analizując przyczyny rozbieżności obserwacji terenowych z poglądami polskich gleboznawców, Gierasimow dochodzi do wniosku, że przy badaniu pokrywy glebowej Polski niedostatecznie uwzględniano dotychczas swoisty bieg jej paleogeograficznego rozwoju. Stwierdza przy tym, że znajduje się to w zadziwiającym przeciwieństwie z stanem osiągnięć naukowych w dziedzinie geologii czwartorzędu i paleogeografii Polski, gdyż właśnie w tych dziedzinach nauk geologiczno-geograficznych uczeni polscy osiągnęli wybitne rezultaty. W szczególności dzięki ich pracom została dokładnie zbadana historia zlodowacenia na terytorium Polski i wszechstronnie wyjaśniona rola lodowca w tworzeniu współczesnego reliefu i krajobrazów naturalnych. Szczególne sukcesy osiągnęła polska nauka geograficzna w badaniu tzw. zjawisk i utworów peryglacjalnych.

Jak zostało stwierdzone przez uczonych polskich, dawne utwory peryglacjalne są szeroko rozpowszechnione na terytorium Polski szczególnie w środkowej części jej równinnego obszaru, zazwyczaj jako pylasto-gliniaste i pylasto-piaszczyste utwory powierzchniowe, stanowiące powierzchnię równin morenowych i częściowo fluwioglacjalnych, położonych na południe od granicy ostatniego zlodowacenia.

Osady te są najbardziej typową skałą glebotwórczą na terenie Polski dla większości gleb paliowych bielicowych i brunatnych pseudobielicowych. Istnieje więc ścisła więź genetyczna różnorodnych zjawisk peryglacjalnych z charakterystycznymi właściwościami wymienionych gleb, a w szczególności z tak ważną ich właściwością jak wyraźne granulometryczne zróżnicowanie profilu glebowego (dwuczłonowość).

Drugim problemem fizyko-geograficznym ściśle związanym z genetycznym charakterem gleb Polski jest, wg Gierasimowa, problem naturalnej rejonizacji.

Podział geograficzny Polski Kondrackiego (Przegl. Geogr. XXVIII 1956, Suppl.) dobrze odzwierciedla zdaniem Gierasimowa główne cechy geologiczne i hydrograficzne jej obszaru oraz niektóre właściwości bio-klimatyczne. Wskazuje on równocześnie jednak na brak w tym schemacie rejonizacyjnym naturalnego zróżnicowania szerokościowo-strefowego, a w szczególności podziału kraju na bardziej borealną część północną i pn.-wsch. oraz bardziej umiarkowaną (atlantycką) część południową i pd.-zach. Według Gierasimowa podobny podział może i powinien mieć miejsce w ogólnym, naturalnym zróżnicowaniu obszaru Polski; nie można go jednak ustanowić wychodząc z istniejących danych glebowych i geobotanicznych.

Pewną podstawę do ustalenia przybliżonego przebiegu granicy borealno-atlantyckiej, mającej oczywiście charakter bardzo stopniowy, stwarza, zdaniem Gierasimowa, rozdział przeważających leśnych gleb Polski na dwie główne grupy: paliowo-bielicowe typu borealnego i brunatne leśne typu atlantyckiego wzdłuż linii Lublin — Łódź — Poznań.

Trzecim ogólnym fizyczno-geograficznym problemem jest, wg Gierasimowa, problem wpływu gospodarczej działalności człowieka na naturalny krajobraz. Ponieważ teren Polski od dawna jest areną gospodarczej działalności człowieka, więc naturalna roślinność, a także naturalne oblicze gleb, zostały niewątpliwie głęboko przeobrażone. Bardzo możliwe stwierdza Gierasimow, że rozbieżności w poglądach na genezę gleb Polski wynikły z faktu, iż główna część danych zawartych w literaturze dotyczącej gleb Polski odnosi się do gruntów uprawnych. Oczywiście Gierasimow zakładał również odkrywkę na gruntach uprawnych. Badając jednak podobne profile glebowe i porównując je z profilami wykształconymi w bardziej naturalnych warunkach przyrodniczych, ustalił on nie tylko naturalne typowe formy tworzenia się gleby, lecz również zasadnicze zmiany w naturalnych profilach glebowych uwarunkowane dawną kulturą rolną.

Wzięcie gleby pod uprawę spowodowało niewątpliwie zmianę w procesach glebowych. Nastąpiło mechaniczne naruszenie wierzchnich poziomów, przemieszanie masy glebowej na głębokość orki, zmiana fizycznych właściwości, zawartości i dynamiki składników pokarmowych i szereg innych zmian, dotyczących wielu właściwości gleby. Główne zmiany genetycznego profilu gleb leśnych pod wpływem uprawy obejmują: redukcję profilu genetycznego, degradację jednych substancji organicznych i organiczno-mineralnych, a progradację innych, dekolmatację warstwy ornej (wymywanie cząstek ilastych), wtórne oglejenie warstwy podornej i szereg innych.

Redukcja genetycznego profilu gleb uprawnych w Polsce jest zjawiskiem powszechnym i zachodzi drogą stopniowego wiekowego mechanicznego usunięcia (zmywu i wywiewania) górnych warstw rozoranej gleby, nawet bez wyraźnych cech aktywnej erozji. Proces ten jest normalną i naturalną denudacją gleb ułatwioną przez orkę. Dla głównych rejonów rolniczych Polski, charakteryzujących się falistym urzeźbieniem polodowcowym, proces ten ma ogromne znaczenie i najczęściej wyraża się w stopniowym usunięciu wierzchnich poziomów bielcowych, w wy-

chodzeniu na powierzchnię poziomów iluwialnych i w zbliżeniu ku powierzchni węglanów. Najprawdopodobniej w wyniku tego stopniowego „ogławiania” gleb paliowo-bielicowych i brunatnych pseudobielicowych wytworzyły się w starych uprawnych rejonach Polski tzw. gleby brunatne.

Dekolmatacja jest następstwem redukcji profilu. Usunięcie z powierzchni gleby jej poziomów eluwialnych i ukazanie się na powierzchni poziomów iluwialnych narusza rozwinięty uprzednio profil gleby i stwarza nadmiar części ilastych w jej poziomie powierzchniowym. Nadmiar ten może ulec szybkiemu przemieszczeniu w głąb pod wpływem mechanicznego wymywania bez rozwiniętego procesu bielicowego. W ten sposób proces dekolmatacji gleb uprawnych jest do pewnego stopnia analogiczny z paleogeograficznym przeobrażeniem litologicznego składu osadów pokrywowych i z formowaniem utworów dwuczłonowych granulometrycznie zróżnicowanych. To, jakby wtórne przemieszczenie cząstek ilastych w glebach uprawnych, jest jednym z specyficznych przejawów tego procesu, który dla ścisłości należy nazywać dekolmatacją gleb uprawnych.

Wtórne oglejenie środkowej części profilu w glebach uprawnych może rozwijać się wskutek redukcji profilu glebowego i dekolmatacji sztucznie rozluźnionej warstwy ornej. Wszystkie te zmiany prowadzą ku zmianom właściwości wodnych i fizycznych gleb, a tym samym do przekształcenia ich reżimu wodnego. Wśród powstających nowych zjawisk może mieć miejsce względne i okresowo nadmierne uwilgotnienie gleb w granicach warstwy ornej, uwarunkowane znaczną różnicą w przepuszczalności wodnej górnego ornego i dolnego podornego poziomu. Pod wpływem podobnego okresowo nadmiernego uwilgotnienia tworzy się wiszące oglejenie, które tak jak dekolmatacja, w pewnym stopniu jest analogiczne do przejawów powierzchniowego procesu glejowego, właściwego naturalnym glebom, tworzącym się na utworach dwuczłonowych.

Oczywiście wymienione zmiany właściwości leśnych gleb Polski pod wpływem uprawy nie zostały wyczerpane. Lecz i wymienione wyżej wskazują na konieczność geograficzno-genetycznego podejścia i zbadania nie tylko gleb naturalnych pod tym względem, lecz i uprawnych. Gleby te należy uważać za przekształcone utwory naturalne, w których na równi z licznymi właściwościami związanymi z naturalną fazą tworzenia się gleby, rozwijają się i przebiegają nowe procesy wymagające również specjalnych badań.

Tak w krótkim zarysie przedstawiają się poglądy Gierasimowa. Zawierają one, jak się wydaje, wiele trafnych spostrzeżeń; obok jednak niewątpliwie słusznych tez niektóre propozycje Gierasimowa budzą szereg zastrzeżeń.

Głęboko słuszna jest uwaga Gierasimowa dotycząca, wspomnianego już na początku, niedostatecznego uwzględniania w badaniach gleboznawczych Polski osiągnięć polskich nauk geologiczno-geograficznych, szczególnie w zakresie utworów i zjawisk peryglacialnych.

Uwaga ta posiada ścisły związek ze stwierdzeniem przez Gierasimowa, że większość gleb bielicowych i brunatnych Polski posiada bardzo swoiste cechy i właściwości, nie odpowiadające klasycznemu wzorcom, a wynikające z występowania ich na utworach dwuczłonowych. Stwier-

dzenie to pokrywa się z uwagami autora (*Postępy Nauk Roln.* Nr 5, 1958) na temat szerokiego rozprzestrzenienia tego rodzaju gleb, specyficznej budowy ich profilu glebowego oraz celowości uwzględnienia ich w szczegółowej systematyce gleb Polski.

Słuszną jest uwaga Gierasimowa, dotycząca wyodrębniania wśród gleb piaszkowych gleb bielcowo-bagiennych wilgotnych i mokrych z płytkim poziomem wód gruntowych oraz gleb darniowo-bielcowych, słabo zbielicowanych wytworzonych z piasków pozostających poza oddziaływaniem wód gruntowych, określanych przez Gierasimowa jako „buropiaski”. Własne badania (*Sylvan* Nr 2, 1958, Zesz. Nauk. WSR Szczecin, Nr 5, 1961) wykazały, że gleby te różnią się wyraźnie zarówno cechami morfologicznymi i właściwościami oraz, co ważniejsze, swą produktywnością jako siedliska leśne.

Odnosnie koncepcji Gierasimowa wyodrębnienia w pd.-wsch. części Polski szarych gleb leśnych autor nie może zająć stanowiska na skutek słabej znajomości tych gleb. Pewne powiązania geologiczno-geograficzne oraz geobotaniczne tego obszaru z przyległymi terenami zachodniej Ukrainy nie ulegają wątpliwości. Wyraźne stanowisko w tej sprawie mogą zająć gleboznawcy znający gleby tej części kraju.

O ile słuszne jest podkreślenie przez Gierasimowa odrębności gleb brunatnych terenów górskich (co zresztą znajduje swój wyraz w polskiej systematyce), ze względu na ich zakwaszenie i szereg cech różniących, o tyle przyjmowanie przez Gierasimowa, że cały ich profil glebowy podlega totalnemu bielcowaniu z usunięciem produktów rozkładu za granicę profilu glebowego i stanowi jeden tylko poziom eluwialny nie wydaje się uzasadnione. Pogląd ten znajduje się w sprzeczności z wynikami obserwacji i badań Medweckiej-Kornasiewicz w Gorcach (*Ochrona Przyrody*, Roczn. 23, 1955) oraz autora na Babiej Górze (w druku w *Sylvanie*), z których wynika, że tego rodzaju gleby występują w naturalnych zespołach *Fagetum carpaticum*, natomiast w zespołach *Piceetum tatricum* występują gleby bielcowe z mniej lub więcej wyraźnie zaznaczonymi w profilu poziomami eluwialnymi i iluwialnymi, co dowodzi, że w przypadku rzeczywistego oddziaływania procesu bielcowego nie ma on charakteru skrytego i totalnego, lecz produkty rozkładu pozostają w obrębie profilu glebowego.

Zagadnieniem bardzo ważnym poruszonym przez Gierasimowa i wymagającym szerszego omówienia jest problem geograficzno-gleboznawczej rejonizacji naturalnej. Poważne wątpliwości nasuwa jednak wiązanie jej przez Gierasimowa z czynnikiem klimatycznym i ustalenie przybliżonego rozgraniczenia strefy borealnej gleb paliowo-bielcowych i strefy atlantyckiej gleb brunatnych wzdłuż linii Lublin, Łódź, Poznań. Tymczasem gleby brunatne zajmują większe powierzchnie na młodszymi utworach zasobnych w węglan wapnia obszaru ostatniego zlodowacenia bałtyckiego od stadium leszczyńskiego począwszy, a więc w północno-zachodniej części Polski, niż na utworach polodowcowych leżących na południowy-wschód od tej linii.

Wyraźnie dostrzegalny wpływ czynnika klimatycznego na tworzenie się określonych typów gleb daje się zaobserwować w pasie nadmorskim i na obszarach górskich wyżej wzniesionych, gdzie występują różne piętra roślinne. W zasięgu klimatu morskiego można zauważyć zbielicowanie luźnych piasków wydmych i dolinowych pod drzewostanami so-

snowymi, pokrywające się w ogólnym zarysie z największym zagęszczeniem gatunków atlantyckich na Pomorzu podanym przez Z. Czubińskiego (*Bad. Fizjograf. nad Polską Zach.* nr 2, Zesz. 4 1950, str. 553).

Czynnik klimatyczny nie odgrywa więc, poza małymi obszarami, decydującej roli w zróżnicowaniu typologiczno-genetycznym gleb Polski.

Uwarunkowane ono jest głównie zróżnicowaniem rzeźby i podłoża skalnego oraz związanym z nim układem stosunków wodnych, który z kolei decyduje o naturalnych zbiorowiskach roślinnych, a w dalszej konsekwencji o typach gleb, a więc ujmując całościowo uwarunkowane jest zróżnicowaniem na typy krajobrazu naturalnego. Ujęcie takie daje, generalnie biorąc, obraz najbardziej zbliżony do rzeczywistości, w którym zgodnie z obrazowym określeniem Dokuczajewa gleby są zwierciadłem krajobrazu naturalnego, przez co podkreślony zostaje fakt, że gleba tworzy się w rezultacie wzajemnego oddziaływania roślinności i skały w różnych warunkach klimatu i reliefu.

Doskonałą podstawę do zgeneralizowanej oceny przestrzennego rozmieszczenia zasadniczych naturalnych typów gleb na terenie Polski stanowią, zdaniem autora, mapa typów krajobrazów Polski i schemat klasyfikacji typologicznej krajobrazu naturalnego Polski opracowane przez J. Kondrackiego (*Przegl. Geogr.* t. XXXII, z. 1—2, 1960).

W schemacie klasyfikacyjnym Kondrackiego oprócz klas, rodzajów i odmian krajobrazu podane są zwięzłe określenia wód, roślinności i gleb każdej odmiany jako cech towarzyszących (str. 31—32).

Przyjmując powyższy schemat jako podstawę wiążemy, dla uchwycenia strefowości w rozmieszczeniu typów gleb, każdą odmianę krajobrazu z określonym, dominującym w jej zasięgu naturalnym typem glebowym, a więc nieco odmiennie niż to czyni Kondracki, wyliczający typy gleb występujące w obrębie danej odmiany.

Wśród krajobrazów nadmorskich występują trzy odmiany: krajobraz wydmy, charakteryzujący się obecnością gleb o niewykształconym profilu w obrębie tzw. wydmy białych oraz gleb bielicowych, przeważnie tzw. bielic na wydmach starszych, krajobraz deltowy, któremu towarzyszą mady (grupa typów) oraz krajobraz jeziorny i zalewowy, dla którego znamienne są gleby bagienne. Zaznaczyć przy tym należy, że na mapie typów krajobrazów przytoczonej przez Kondrackiego został mylnie wyodrębniony krajobraz deltowy na obszarze tarasów wydmych Puszczy Wkrzańskiej; nie wyodrębniono również rozległego obszaru krajobrazu tarasów wydmych Puszczy Goleniowskiej po prawej stronie ujścia Odry i Zalewu Szczecińskiego. Z krajobrazami tymi wiąże się wspomniane już uprzednio, występowanie gleb silnie zbielicowanych tzw. bielic (*Zesz. Nauk. WSR Szczecin* Nr 5 1961).

Dla równin morenowych i odmiany pagórkowatej, pojeziernej i krajobrazów młodoglacjalnych charakterystyczne są gleby brunatne i one dominują wyraźnie na tym obszarze. W obrębie równin morenowych występują na znacznych obszarach utwory dwuczłonowe, w związku z czym wytworzone z nich gleby posiadają specyficzne poziomy pseudoglejowe opisywane przez autora (*Postępy Nauk Roln.* Nr 5 1958). Z krajobrazami młodoglacjalnymi sandrowymi wiąże się występowanie gleb brunatnych wylugowanych.

Krajobrazy staroglacjalne peryglacjalnych równin denudacyjnych, to obszar największego rozprzestrzenienia utworów dwuczłonowych, be-

dających najbardziej typową skałą macierzystą dla większości gleb oraz obszar najsilniej wylesiony, którego gleby pod wpływem wielowiekowej kultury rolnej uległy znacznemu przeobrażeniu. Obecność utworów dwuczłonowych na tym obszarze stała się główną przesłanką dla tworzenia się specyficznych gleb, zajmujących największą powierzchnię, dla których najwłaściwszym określeniem byłby proponowany przez Gierasimowa termin gleby pseudobielicowe.

Wśród krajobrazów dolin i równin akumulacyjnych z krajobrazem zalewowym wiąże się obecność mad, natomiast z krajobrazami tarasowo-wydmowymi i rzeczno-jeziornymi obecność gleb bielcowych oraz bielcowo-bagiennych w rozumieniu Gierasimowa.

Wśród krajobrazu wyżyn i gór z krajobrazem wyżynnym lessowym łączy się głównie występowanie gleb brunatnych właściwych i wyługowanych oraz czarnoziemów, z krajobrazem wyżynnym węglanowym — obecność rędzin (grupa typów), z krajobrazem wyżyn i pogórzy krzemianowych oraz piętra leśnego dolnego gór — obecność gleb brunatnych kwaśnych, z krajobrazem piętra leśnego górnego — gleb bielcowych górskich oraz w obrębie piętra alpejskiego i subalpejskiego — ogólnie biorąc — gleb górskich o niewykształconym profilu.

Wracając, po tym krótkim przeglądzie poszczególnych typów krajobrazów i związanych z nimi gleb, do zagadnienia strefowości gleb na terenie Polski w jak najbardziej generalnym ujęciu, z pominięciem gleb o stosunkowo niewielkich i porozrywanych zasięgach jak np. czarne ziemie, czarnoziemy, gleby bagienne itp. zagadnienie to można ująć następująco. Zgodnie z załączoną mapą na terenie Polski zarysowują się:

1. Strefa gleb brunatnych właściwych i wyługowanych, obejmująca krajobrazy młodoglacjalne obszaru ostatniego zlodowacenia,

2. Strefa gleb pseudobielicowych i bielcowych obejmująca krajobrazy staroglacjalne peryglacjalnych równin denudacyjnych (gleby pseudobielicowe) i położonych wśród nich krajobrazów tarasowowydmowych (gleby bielcowe).

3. Strefa gleb brunatnych właściwych, brunatnych wyługowanych i brunatnych kwaśnych krajobrazów wyżynnych, silnie zróżnicowana i porozrywana.

4. Strefa gleb brunatnych kwaśnych górskich.

Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia ewentualne pytanie, czym wytłumaczyć można dość zasadnicze różnice w proporcjach gleb brunatnych i bielcowych widocznych na mapie gleb Polski w skali 1:1 000 000 (IUNG 1958) w porównaniu z przytoczoną schematyczną mapką naturalnego rozmieszczenia głównych typów gleb.

Wspomniane różnice wynikają z tego, że w toku wykonywania mapy gleb Polski w przypadkach wątpliwych za kryterium wydzielania gleb bielcowych i brunatnych przyjmowano odczyn gleby (porównaj J. Tomaszewski, *Roczn. Glebozn.* t. VII, z. 1 1959), co znalazło zresztą swój wyraz w obu wydaniach genetycznej klasyfikacji gleb Polski w słowach: „Gleby słabo zbielicowane nie zawsze posiadają wyraźnie widoczne morfologiczne cechy zbielicowania. W tych przypadkach bardzo pomocne jest stwierdzenie stopnia zakwaszenia poszczególnych poziomów glebowych. Gleby bielcowe posiadają z reguły odczyn najbardziej kwaśny w poziomach powierzchniowych” (*Roczn. Glebozn.* t. VII, z. 2 1959, str. 26).

Tymczasem, jak wykazują badania fitosocjologów (*Szata Roślinna Polski*, W-wa 1959) i własne autora przeprowadzane w zespołach naturalnych lub zbliżonych do naturalnych, cały szereg zespołów występuje na glebach o różnym stopniu zakwaszenia, które swą morfologią i właściwościami różnią się wyraźnie od gleb bielcowych.

Zespoły te pokrywały gleby o wyższym potencjale produkcyjnym i zajmowały pierwotnie znaczne powierzchnie, jak to wynika z map pierwotnej roślinności (Huecka 1943).

Występujące pod nimi gleby były w pierwszej kolejności zajmowane pod uprawę, a jako grunty uprawne również nie znajdowały się w warunkach sprzyjających bielcowaniu.

Nie przeczy to oczywiście faktowi, że również pewna część gleb bielcowych została zamieniona w grunty orne, lecz z pewnością na znacznie mniejszych powierzchniach niż to dotychczas przyjmowano.

Jak z powyższego wynika o wiele lepsze rezultaty można osiągnąć w ocenie rozmieszczenia typów glebowych, wychodząc od gleb pokrytych zespołami naturalnymi lub zbliżonymi do nich, niż od gleb uprawnych, gdzie naturalne procesy glebowe uległy silnemu zakłóceniu i przekształceniu pod wpływem działalności człowieka.

Justyna Wrzosek-Matł

OSUWISKA W POLSCE POŁUDNIOWEJ W ROKU 1960

Lato roku 1960 było w południowej Polsce, jak zresztą w wielu innych obszarach Europy, niezwykle wilgotne. Długotrwałe, a przy tym intensywne opady spowodowały przesycenie wilgocią wierzchnich warstw skorupy ziemskiej oraz wybitne podwyższenie wodostanu na rzekach i mniejszych ciekach wodnych. Ta sytuacja hydrograficzna wywołała silne ożywienie procesów osuwiskowych na obszarach zbudowanych z fliszu karpackiego odznaczających się zawsze skłonnością do osuwisk. Polegało ono częściowo na ruszeniu licznych starych osuwisk, a częściowo na utworzeniu się nowych. Osuwiska w Karpatach powodowały już od dawna liczne szkody gospodarcze. Zjawiska osuwiskowe opisywali tacy badacze jak np. L. Sawicki (osuwisko w Szymbarku powstałe w 1913 roku) czy H. Teisseyre (osuwiska we wschodnich Karpatach opisane w roku 1929 i 1934). Zdarzały się, choć rzadziej, wypadki ruchów osuwiskowych poza obszarem Karpat; jednym z poważniejszych było osuwisko w Sadowiu na linii kolejowej Kraków — Miechów opisane przez S. Sokołowskiego w roku 1947.

Nigdy jednak zjawiska osuwiskowe nie wystąpiły tak licznie, jak w ubiegłym roku. Najliczniej osuwiska wystąpiły w województwie krakowskim, gdzie zanotowano około 60 większych osuwisk, a ponadto obserwowano mnóstwo drobnych form tego typu prawie wszędzie, gdzie panowały odpowiednie warunki. W województwach katowickim i rzeszowskim osuwiska wystąpiły raczej sporadycznie albo w rejonach górskich niezamieszkałych i niezagospodarowanych.

W województwie krakowskim największe nasilenie zjawisk osuwiskowych wystąpiło we wschodniej jego części, a szczególnie w powiatach: nowosądeckim i brzeskim (widać to na zamieszczonej mapce). Osuwiska grupują się przeważnie w dolinach rzecznych wzdłuż Dunajca i Popradu, to samo zresztą obserwuje się na innych terenach, np. w żywieckim występują przeważnie w dolinie Soły (rys. 1).

Osuwisko jest to ruch mas skalnych odbywający się po zboczu w dół, a wywołany działaniem siły grawitacyjnej. Ruch ten jest skutkiem zaburzenia statycznej równowagi zbocza, a nastąpić może wskutek działania różnych czynników nakładających się wzajemnie. Do najważniejszych z nich należą: morfologia, budowa geologiczna, stopień nawodnienia i za nim idąca zmiana warunków fizyko mechanicznych, nadmierne obciążenie i podcięcie zbocza.

O dużym znaczeniu czynnika morfologicznego świadczy występowanie olbrzymiej większości osuwisk na obszarze części południowej województwa krakowskiego, która jest górzysta i charakteryzuje się dużymi deniwelacjami terenu. Zjawiska osuwiskowe występują szczególnie

na niezalesionych zboczach dolin rzecznych o kątach nachylenia $10-20^\circ$, przy czym jednak ważniejsze od kąta nachylenia zbocza jest nachylenie warstw skalnych podłoża.

Poważny jest również wpływ budowy geologicznej na powstanie osuwisk i ich rozmieszczenie. Jak wspomniano wyżej, południowa część województwa zbudowana jest z utworów fliszu karpackiego. Są to na



Rys. 1. Mapa rozmieszczenia osuwisk w województwie krakowskim. Większe trójkąty oznaczają większe osuwiska

ogół serie naprzemianległych łupków i piaskowców, a więc warstw nieprzepuszczalnych i przepuszczalnych, których struktura stwarza dogodne warunki dla osuwania się mas skalnych, zwłaszcza gdy upad tych serii jest w mniejszym lub większym stopniu zgodny z nachyleniem zbocza. Najczęściej ulegają ruchowi osuwiskowemu luźne utwory czwartorzędowe — gliny ze żwirem, lessy, ily, zalegające na sztywnym podłożu fliszowym. Dość ważną rolę w procesach osuwiskowych odgrywa obecność skał łatwo wietrzejących i częste występowanie źródeł w seriach fliszowych. Jako przykłady osuwisk, w których czynnik geologiczny odegrał zasadniczą rolę, można wymienić osuwiska w miejscowościach: Wapienna koło Muszyny, Czereze i Mała Łomniczka w powiecie nowosądeckim lub Chełm koło Bochni.

Stopień nawodnienia odgrywa decydującą rolę w procesie osuwiskowym. Woda pochodząca z obfitych opadów, a także z wypływów wodnych na zboczach infiltruje w głąb zwiększając ciężar gruntu i wywołując zmiany jego plastyczności. Wskutek tego osłabiona zostaje struktura gruntu, co powoduje zmniejszenie kąta tarcia wewnętrznego i spójności skał ilastych. Osiągnięcie stanu plastycznego przez skały ilaste umożliwia im łatwiejszy poślizg na kontakcie ze sztywnym podłożem. Ta sytuacja stwarza dogodne warunki dla możliwości powstania osu-



Rys. 2. Fragment osuwiska w Wieliczce
Fot. J. Wrzosek-Matl



Rys. 3. Fragment niszy osuwiskowej w Chełmie
Fot. J. Wszosek-Matl



Rys. 4. Powalony las na obszarze osuwiska w Bielance

Fot. A. Wrzosek



Rys. 5. Zniszczone zabudowania gospodarskie w Wapiennej koło Muszyny

Fot. Zb. Dworzak

wiska. Szczególnie podatne na nawodnienie są tereny osuwisk starych, które łatwiej chłoną wodę, gdyż wskutek poprzednich ruchów mają rozluźnioną strukturę i liczne spękania. Skłon na terenie starych osuwisk jest mniejszy od sąsiednich zboczy, dlatego tworzą się na nich bagniste grunty tzw. młaki. Przykładem tego rodzaju odnowienia ruchu mas ziemnych może być osuwisko w Chełmie lub Lanckoronie (czynne od 1905 roku). Należy jeszcze dodać, że czynnikiem przyspieszającym procesy osuwiskowe mogą być potoki i rzeki oraz falujące wody zamkniętych zbiorników wodnych, które podcinając stoki ułatwiają osuwanie się wyżej leżących wierzchnich warstw gruntu.

Oprócz czynników natury przyrodniczej mogą wystąpić wpływy nieprzemysłanej działalności ludzkiej — głównie w postaci nadmiernego obciążenia gruntu, jak też podcinania zboczy. Czynnikiem wyzwalającym ruch osuwiskowy może się stać obciążenie gruntu przez budynki, czy też wszelkiego rodzaju nasypy. Przykładem takiego przypadku może być Łysa Góra w powiecie brzeskim, gdzie na terenie podatnym na ruch mas skalnych wybudowano duży budynek szkolny. Częściej zdarza się podcinanie zboczy przez niewłaściwie przeprowadzone drogi, na których odbywa się wzmożony ruch kołowy lub też przez nieodpowiednio prowadzoną eksploatację w odkrywkach (przykładem może być osuwisko w Wieliczce — rys. 2).

Ożywienie ruchów osuwiskowych wywołało szkody, a niekiedy nawet lokalne zakłócenia w życiu gospodarczym terenu. Niektóre osuwiska objęły znaczne obszary sięgające do 6—7 ha i zabudowane domami mieszkalnymi lub budynkami gospodarczymi, z których wiele uległo zniszczeniu lub uszkodzeniu. Szczególnie dotkliwym uszkodzeniom uległy budynki w Międzybrodzu Bialskim (pęknięcia ścian i fundamentów), w dzielnicy Falkowa w Nowym Sączu, w okolicy Muszyny, w Leśnicy koło Lanckorony. Szkody objęły też zasiewy na polach ornych, które w wielu przypadkach zmienione zostały okresowo na nieużytki. Zniszczeniu uległy znaczne połacie lasów, (Bielanka, Olszowa koło Pałęsnicy, niektóre rejony powiatu żywieckiego), a także liczne sady. W wielu przypadkach nastąpiło zasypywanie dróg lub linii kolejowych (Żegiestów, Wapienna, Rytro, Niedźwiedź), a wreszcie zasypywanie łożysk potoków i przerzucanie ich biegu na inne tereny (Bielanka). Były też wypadki zniszczenia dróg przez osuwiska wywołane podcięciem zboczy wodami potoków lub rzek (Poręba Spytkowska). Zniszczenia dróg spowodowały niekiedy znaczne zakłócenia komunikacji (np. konieczność objazdu na szlaku Kraków — Tarnów w Wieliczce).

Jednym z większych jest osuwisko powstałe na stromym zboczu wzgórza, na którym położona jest wieś Chełm. Zniszczyło ono zupełnie drogę bitą, łączącą wieś z państwową szosą Kraków — Tarnów. W podłożu występują trzeciorzędowe łupki ilaste zapadające w kierunku NNE, czyli mniej więcej w kierunku osi drogi, przykrywają je pleistocenyjskie gliny plastyczne. Przemieszczenie plastycznych mas ziemnych nastąpiło wzdłuż parowów, którymi rozczłonkowane jest zbocze. Na podstawie obserwacji można wnioskować, że miąższość przemieszczonych utworów dochodzi do kilku metrów (rys. 3). Miejscami obserwuje się intensywne wypływy wody. Jest to osuwisko stare, ruchy osuwiskowe zagrażające drodze obserwowano tu — choć na mniejszą skalę — już w latach ubiegłych.

Inne duże osuwisko znajduje się przy drodze Raba Wyżna — Czarny Dunajec w odległości 1 km od skrzyżowania z drogą Raba Wyżna — Sieniawa, na prawym brzegu Raby. Obszar osuwiska wynosi około 10 ha, różnica poziomów między czołem osuwiska a końcem niszy osuwiskowej wynosi ponad 100 metrów, szerokość języka osuwiskowego dochodzi do 500 metrów, długość około 600 metrów. Północny brzeg niszy osuwiskowej obcięty jest obrywem odsłaniającym ścianę o wysokości 20 m, na południowym brzegu widoczne są liczne szczeliny i spękania. Czoło osuwiska nasunęło się na potok Bielanka i na drogę odległą od pierwotnego stoku o około 30 m, zasypując drogę na długości 150 m. Zbocze to osunęło się w przeciągu 6 godzin, woda potoku zmieniła koryto i przeszła na drugą stronę drogi. Obszar objęty osuwiskiem pokryty był częściowo lasem, a częściowo użytkami rolnymi. Część lasu została obalona (ryc. 4), wody potoku Bielanka wylały i podtopiły dom mieszkalny. Postanowiono wykonać nowy odcinek drogi omijający osuwisko, co jest bardziej ekonomiczne niż usuwanie zwalonych mas ziemnych.

Znaczniejsze osuwisko powstało na wschodnim zboczu wzgórza nad Popradem, w odległości 5 km na południe od stacji kolejowej w Muszynie. W dolnej części osuwiska znajdują się zabudowania gospodarskie. Resztę zajmują pastwiska i pola uprawne. Obszar osuwiska wynosi około 7 ha, długość około 450 m, szerokość niszy osuwiskowej 150 m. Oś osuwiska ma kierunek WE. Nachylenie zbocza terenu osuwiskowego waha się od 15—25°. Podłoże stanowią utwory fliszowe, a na nich zalega około 3 m utworów ilasto-piaszczystych z rumoszem piaskowców fliszowych. W górnej części osuwiska i ponad nim grunt jest bagnisty, obserwuje się liczne wycieki wodne. Obsunięcie się mas skalnych nastąpiło w ciągu kilku dni. W tym czasie budynki u podnóża uległy popękaniu (ryc. 5), a koryto Popradu podniosło się na długości około 100 metrów o 2 m nad normalny poziom wody.

Metody przeciwdziałania osuwiskom zależą w dużym stopniu od przyczyn, które je spowodowały i sprowadzają się do przeciwdziałania czynnikowi, który był dominujący w tworzeniu się osuwiska. Ponieważ w zjawiskach osuwiskowych występujących w roku 1960 niepoślednie miejsce przypada czynnikowi nawodnienia, a więc w ogromnej liczbie wypadków zastosowano ograniczanie działalności wody, odprowadzając wody powierzchniowe przez wykonywanie drenażu, ścieków lub płytkich sączków żwirowo-kamiennych, które umożliwiając szybki odpływ nie pozwalają na infiltrację wód w głąb. Często też stosuje się zasypywanie szczelin utworami wodonieprzepuszczalnymi w celu uszczelnienia powierzchni. Tego rodzaju środki zastosowano np. przy osuwisku w Wapiennej lub w Leśnicy koło Lanckorony. Dla zagwarantowania szybkiego odpływu gromadzących się wód wypełnia się niszę osuwiskową luźnymi blokami lub pospółką (Mała Łomniczka). Innym sposobem przeciwdziałania osuwiskom jest odpowiednie użytkowanie powierzchni na terenie osuwiskowym. Może to być zalesianie albo uprawianie roślin wzmacniających zbocze, należy także dbać o to, ażeby zbocze nie było obciążane budowlami lub podcinane drogami komunikacyjnymi. Stosuje się także mechaniczne wzmacnianie zboczy palami, ścianami i murami oporowymi (Łysa Góra, Chełm), a w niektórych przypadkach poprawia się mechaniczne własności skał.

XXI MIĘDZYNARODOWY KONGRES GEOLOGICZNY NORDEN 1960

XXI Międzynarodowy Kongres Geologiczny, który odbył się w 1960 roku, zorganizowało pięć państw występujących pod wspólną nazwą „Norden”, a mianowicie: Dania, Finlandia, Islandia, Norwegia i Szwecja. Miejscem obrad Kongresu, które odbywały się między 15—25 sierpnia, była Kopenhaga, natomiast wycieczki zarówno przedkongresowe (koniec lipca — pierwsza połowa sierpnia), jak i po-kongresowe (ostatni tydzień sierpnia — początek września) objęły obszar państw wyżej wymienionych łącznie ze Spitsbergenem.

Początkowo planowano także wycieczkę przedkongresową na Grenlandię. Wycieczka ta jednak została odwołana po tragicznej katastrofie nowoczesnego statku pasażerskiego regularnej linii żeglugowej Dania — Grenlandia MS „Hans Hedtoft”, jedyne go statku, który mógł nadawać się do celów wycieczki kongresowej. Ponadto odbywały się wycieczki naukowe do różnych części Danii w czasie trwania obrad Kongresu w Kopenhadze.

Miejscem obrad w Kopenhadze był nowoczesny gmach Politechniki oraz gmachy kilku instytutów uniwersyteckich w najbliższym sąsiedztwie, jak np. Instytutu Chemii czy Muzeum Geologiczno-Mineralogicznego. Plenarne rozpoczęcie i zamknięcie obrad Kongresu odbyło się w nowoczesnej hali sportowej (KB Hallen).

Obradom Kongresu, które odbywały się pod honorowym protektorem króla Danii Fryderyka IX, przewodniczył prof. dr Arne Nøe-Nygaard, znany duński geolog i petrograf, badacz Grenlandii, sekretarzami byli dr Theodor Sorgenfrei, duński specjalista od trzeciorzędu oraz dr Johannes A. Dons, znany geolog norweski.

Posiedzenia naukowe Kongresu odbywały się w 21 następujących sekcjach:

1. Cykle geochemiczne,
2. Wyniki geologiczne stosowanej geochemii i geofizyki,
3. Oznaczanie wieku bezwzględnego skał przedczwartorzędowych,
4. Chronologia i klimatologia czwartorzędu,
5. Granica kredy i trzeciorzędu,
6. Mikropaleontologia organizmów przedczwartorzędowych,
7. Stratygrafia i korelacja ordowiku i syluru,
8. Stratygrafia kambru i późnego prekambru,
9. Stratygrafia i korelacja prekambru,
10. Geologia dna morskiego,
11. Problemy regionalne i strukturalne w geologii naftowej,
12. Regionalna paleogeografia,
13. Prowincje petrograficzne oraz skały ognio-we i metamorficzne,
14. Zagadnienie granitu i gnejsu,
15. Zagadnienia genezy złóż uranowych i torowych,
16. Zagadnienia genezy kruszców,
17. Minerale i geneza pegmatytów,

18. Struktura skorupy ziemskiej i deformacje skał,
19. Orogeneza kaledońska,
20. Geologia stosowana,
21. Inne zagadnienia.

Osobne posiedzenia miały stałe komisje Kongresu:

- I. Skorupa ziemska,
- II. Geologiczna mapa Europy,
- III. Geologiczna mapa świata,
- IV. Rozmieszczenie systemu Gondwany (formacja Karroo),
- V. Meteoryty,
- VI. Stratygrafia,
- VII. Studium skał ilastych,
- VIII. Międzynarodowa Służba Abstraktów Geologicznych.

Ponadto odbywały się mniej lub bardziej regularne posiedzenia asocjacji i towarzystw naukowych afiliowanych przy Kongresie, jak: Międzynarodowa Unia Paleontologiczna, Międzynarodowa Asocjacja Sedymentologiczna, Międzynarodowa Asocjacja Hydrogeologów, Międzynarodowa Asocjacja Mineralogiczna, Międzynarodowe Towarzystwo Geochemiczne, Komitet Organizacyjny II Międzynarodowego Sympozjum Geologii Arktyki i in.

Należy z uznaniem podnieść bardzo sprawną organizację obrad Kongresu i jego wycieczek naukowych. Wszystkie referaty sekcyjne w liczbie około 500¹ wydrukowano przed Kongresem zarówno *in extenso* w 21 tomach sprawozdań, jak też w tomie „abstraktów” tak, że każdy uczestnik udający się na któryś z odczytów mógł z góry przygotować się do dyskusji. W osobnym tomie ukazały się również referaty wygłoszone na posiedzeniach Międzynarodowej Unii Paleontologicznej (tom 22 sprawozdań). W terminie późniejszym ukażą się m. in. tomy z referatami wygłoszonymi na posiedzeniach Międzynarodowej Asocjacji Sedymentologicznej, jak również osobny tom zawierający wypowiedzi w dyskusji nad poszczególnymi referatami.

Liczbę uczestników Kongresu można ocenić na około 2 500—3 000. Reprezentowali oni 93 kraje, z których najliczniejsze delegacje² przysiały następujące państwa:

Stany Zjednoczone AP	— około 750 osób,
Francja	— ponad 200 „
Zjednoczone Królestwo	— około 200 „
Niemiecka Republ. Feder.	— „ 150 „
Kanada	— „ 100 „
Finlandia	— „ 70 „
Dania, Niem. Republ. Demokr., Szwecja, Związek Radziecki	— po ok. 60 „

Polska delegacja na Kongres składała się z 10 osób³, a mianowicie:

Delegaci III Wydziału Polskiej Akademii Nauk: prof. dr K. Smulikowski (przewodniczący delegacji), doc. dr K. Birkenmajer, prof. dr H. Teisseyre.

¹ Około 10—15% tych referatów nie wygłoszono z powodu nieobecności referentów, natomiast nadprogramowo wygłoszono podobną liczbę zgłoszonych *ad hoc* referatów.

² Według spisu uczestników. Należy jednak zaznaczyć, że dane te są jedynie orientacyjne, gdyż wiele osób wymienionych w spisie nie przybyło, a na ich miejsce przyjechały nowe osoby, niekoniecznie z tego samego kraju.

³ Prócz tego członkami kongresu nie uczestniczącymi w obradach było jeszcze sześć osób.

Z ramienia Zakładu Paleozoologii Polskiej Akademii Nauk: doc. dr K. Pożaryska.

Z ramienia Centralnego Urzędu Geologii: mgr J. Jerzmański, mgr W. Jurkiewicz, prof. dr A. Łaszkiewicz, prof. dr W. Pożaryski, mgr S. Tyski, doc. dr J. Znosko.

Polacy zgłosili 13 referatów wydrukowanych w sprawozdaniach kongresowych, z czego sześć wygłosili autorowie obecni na obradach, w następujących sekcjach:

Sekcja 2 (Wyniki geologiczne stosowanej geochemii i geofizyki):

J. Skorupa: *Wyniki geologiczne badań geofizycznych w pn.-wsch. Polsce* (referat nie wygłoszony),

Sekcja 5 (Granica kredy i trzeciorzędu):

W. Pożaryski i K. Pożaryska: *O utworach danu i dolnego paleocenu w Polsce*,

Sekcja 6 (Mikropaleontologia organizmów przedczwartorzędowych):

W. Bielecka: *Stratygrafia mikropaleontologiczna górnej jury w Polsce* (referat nie wygłoszony),

Sekcja 7 (Stratygrafia i korelacja ordowiku i syluru):

H. Tomczyk: *Zagadnienie granicy między dolnym i środkowym ludlowem w centralnej Europie* (referat nie wygłoszony),

Sekcja 8 (Stratygrafia kambru i późnego prekambru):

K. Birkenmajer: *O stosunku kambru do prekambru w Hornsundzie na Spitsbergenie*,

J. Samsonowicz: *Dolny kambr antyklinorium klimontowskiego* (referat nie wygłoszony),

S. Orłowski: *Stratygrafia dolnej części środkowego kambru w okolicach Sandomierza* (referat nie wygłoszony),

Sekcja 12 (Regionalna paleogeografia):

S. Cieśliński: *Transgresja albu i cenomanu w bruździe duńsko-polskiej* (referat nie wygłoszony),

Sekcja 13 (Prowincje petrograficzne oraz skały ogniove i metamorficzne):

T. Wieser: *Prowincje petrograficzne północnych Karpat* (referat nie wygłoszony),

K. Smulikowski: *Uwagi o facji eklogitowej w metamorfizmie regionalnym*,

Sekcja 14 (Zagadnienie granitu i gnejsu):

K. Smulikowski: *Ewolucja granitognejsów w Górach Snieżnikich, wschodnie Sudety*,

Sekcja 19 (Orogeneza kaledońska):

H. Teisseyre: *Główne rysy strukturalne kaledonidów sudeckich*,

Sekcja 21 (Inne zagadnienia):

K. Birkenmajer: *Współczesne ruchy pionowe Spitsbergenu*.

*

Z dalszych prac polskiej delegacji należy między innymi wymienić (poza udziałem w posiedzeniach sekcyjnych) działalność doc. Znoski na posiedzeniach Komisji II (Mapa geologiczna Europy), prof. Łaszkiewicza w Komisji VIII (Międzynarodowa Służba Abstraktów Geologicznych), doc. Birkenmajera w pracach Komitetu Organizacyjnego II Międzynarodowego Sympozjum Geologii Arktyki i Międzynarodowej Asocjacji Sedymentologicznej oraz wię-

szości uczestników polskiej delegacji w posiedzeniu Asocjacji Karpacko-Bałkańskiej.

Należy również wspomnieć o pracach Rady Kongresu, w których z ramienia polskiej delegacji uczestniczył głównie prof. K. Smulikowski. Z uchwał podjętych przez Radę należy wymienić dwie, jedną dotyczącą miejsca następnego kongresu i drugą dotyczącą powołania Międzynarodowej Unii Geologicznej. Organizację XXII Międzynarodowego Kongresu Geologicznego w r. 1964 postanowiono powierzyć Indiom. Odnośnie do sprawy drugiej postanowiono powołać Międzynarodową Unię Geologiczną jako ciało niezależne od kongresów urzędujące stale, współpracujące z Międzynarodowym Kongresem Geologicznym, Kongresem INQUA, innymi uniami (np. Unią Geograficzną, Unią Geodezyjno-Geofizyczną) oraz asocjacjami i towarzystwami naukowymi afiliowanymi przy kongresach. Powołano 11 osobową komisję roboczą dla opracowania statutu MUG, w której skład wszedł także prof. Smulikowski. Komisja ta ma ostatecznie przedyskutować zgłoszone projekty statutu (jak np. projekt brytyjski) oraz propozycje wyłonione w czasie dyskusji, i w ciągu pierwszej połowy 1961 r. przedstawić propozycję do dyskusji w Narodowych Komitetach Współpracy z MKG i w następnej kolejności do indywidualnego przyjęcia przez poszczególne państwa. Państwa, które zdecydują się przystąpić do Unii, będą wpłacały składki przewidziane statutem podobnie jak w przypadku przynależności do ONZ czy jej organów. Jest prawdopodobne ściśle powiązanie Unii z agendami UNESCO.

Cele i zadania Międzynarodowej Unii Geologicznej (IUG) określono w propozycjach jako:

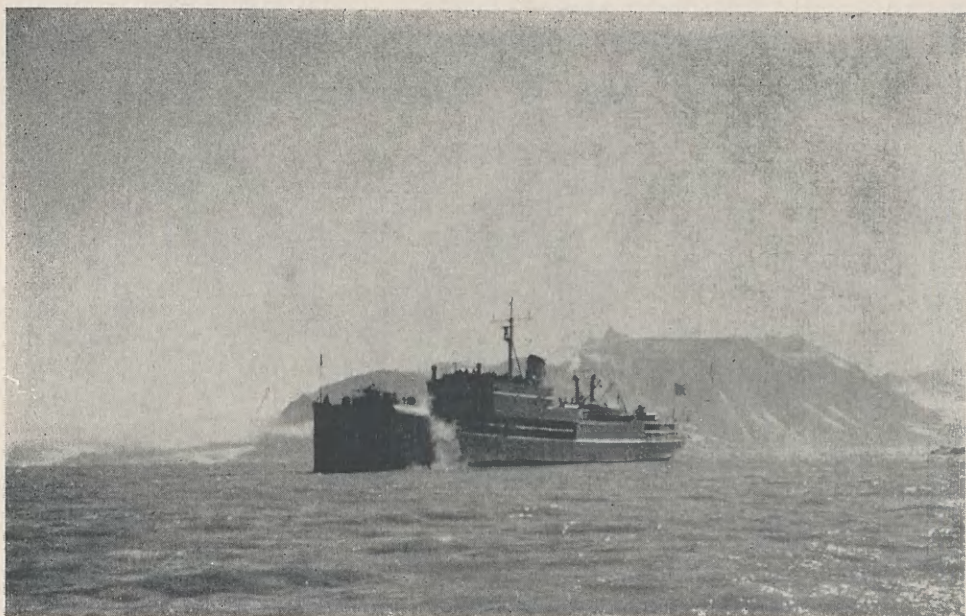
1. Inicjowanie i popieranie badań o problematyce geologicznej,
2. Ułatwianie współpracy międzynarodowej w geologii i naukach pokrewnych,
3. Zabezpieczanie ciągłości współpracy międzynarodowej w geologii,
4. Pomaganie Międzynarodowym Kongresom Geologicznym (należy to rozumieć w ten sposób, że ustalona od dawna działalność kongresów będzie w pełni zabezpieczona).

W czasie obrad Kongresu w Kopenhadze była czynna wystawa publikowanych prac naukowych i podręczników oraz map geologicznych publikowanych i rękopiśmiennych oraz modeli struktur tektonicznych niektórych obszarów. Wystawa była podzielona na działy, w których przedstawiały swój najnowszy dorobek poszczególne państwa czy grupy państw.

Udział polskich geologów w XXI MKG wiąże się również z wycieczką przedkongresową A.16 na Spitsbergen. Program pierwszych dwóch dni pobytu tej wycieczki na Spitsbergenie przewidywał zwiedzenie Polskiej Stacji Naukowej w Isbjørnhamna (Hornsund) kierowanej w ramach Polskiej Wystawy Spitsbergeńskiej przez doc. dr S. Siedleckiego oraz zapoznanie się z budową geologiczną Hornsundu pod kierunkiem doc. Birkenmajera oraz przy współudziale mgr W. Smulikowskiego. Kierownictwo organizacyjne wycieczki kongresowej na tym terenie spoczywało w rękach doc. Siedleckiego i doc. Birkenmajera.

W celu zaznajomienia uczestników wycieczki kongresowej z problematyką geologiczną Hornsundu wydano następujące publikacje (w języku angielskim) ofiarowane uczestnikom:

1. T. S. Winsnes, A. Heintz i N. Heintz (z przyczynkiem K. Birkenmajera): Zagadnienia geologii Svalbardu (przewodnik do wycieczki A.16). — Int. Geol. Congr., XXI Sess. Norden (1960). Oslo.
2. K. Birkenmajer: Szkic geologiczny obszaru Hornsundu (dodatek do przewodnika wycieczki A.16). — Int. Geol. Congr., XXI Sess. Norden (1960). Oslo.



Rys. 1. Okręt norweskiej marynarki wojennej KMN „Valkyrien”, na którego pokładzie przybyli do Hornsundu uczestnicy wycieczki A. 16 XXI Międzynarodowego Kongresu Geologicznego

Fot. K. Birkenmajer



Rys. 2. Transport uczestników wycieczki kongresowej przez jezioro Revvatnet do odsłonięć kompleksu kwarcytowo-amfibolitowego formacji Hecla Hoek (proterozoik) w górnej części Revdalen

Fot. K. Birkenmajer



Rys. 3. Dyskusja przy odsłonięciach amfibolitów w górnej części Revdalen (pod Gangpasset). Objaśnień udziela mgr W. Smulikowski

Fot. K. Birkenmajer



Rys. 4. Ładowanie wycieczki kongresowej na Bogstranda w Hornsundzie

Fot. K. Birkenmajer

3. Wyniki badań geologicznych Polskiej Wyprawy Spitsbergeńskiej 1957—1958 (pod redakcją K. Birkenmajera), cz. I. — *Studia Geol. Polon.*, vol. IV, Warszawa, z następującymi artykułami:

K. Birkenmajer: *Przebieg badań geologicznych w rejonie Hornsundu na Spitsbergenie w latach 1957—1958.*

K. Birkenmajer i W. Narębski: *Prekambrystyczny kompleks amfibolitowy i zjawiska granityzacji w Ziemi Wedel-Jarlsberga na Spitsbergenie.*

Z. Kielan: *O dwóch trylobitach z rodziny Olenellidae z Hornsundu na Spitsbergenie.*

S. Siedlecki: *Utwory kulmu pd.-zach. obrzeżenia fiordu Hornsund na Spitsbergenie — komunikat wstępny.*

K. Birkenmajer i T. Morawski: *Intruzje dolerytowe Ziemi Wedel-Jarlsberga na Spitsbergenie.*

Ponadto w pomieszczeniu pracowni znajdującej się w Stacji Polskiej w Hornsundzie przygotowano pod kierunkiem doc. Birkenmajera wystawę geologicznego dorobku naukowego polskich wypraw spitsbergeńskich z lat 1934, 1957—1958, 1959 obejmującą:

Okazy geologiczne z formacji Hecla Hoek (prekambr-ordowik), wybrane przez doc. Birkenmajera i mgr Smulikowskiego.

Okazy geologiczne i paleontologiczne młodszego paleozoiku wybrane przez doc. Birkenmajera, mgr Czarnieckiego, mgr A. Siedlecką i doc. Siedleckiego.

Okazy geologiczne kruszców z regionu Hornsundu zebrane przez doc. dra Wojciechowskiego w r. 1959.

Publikacje geologiczne związane z wyprawami III Międzynarodowego Roku Geofizycznego 1957—1958 do Hornsundu i Wyprawą do Ziemi Torella w 1934 r.

Maszynopisy prac geologicznych związanych z wyprawami 1957—1958 i 1959, znajdujących się w druku.

Geologiczne mapy rękopiśmienne wykonane przez doc. Birkenmajera w skali 1:50 000 (mapa geologiczna zakryta okolic fiordu Hornsund), w skali 1:100 000 (mapa stref peryglacialnych południowej części Ziemi Wedel-Jarlsberga i Ziemi Torella), oraz w skali 1:10 000 (mapa geologiczna czwartorzędu i struktur morfologicznych wybrzeża na północ od Hornsundu).

Kolorowe plansze ilustrujące budowę geologiczną Hornsundu, jak również zestawienia analiz chemicznych i petrograficznych skał kompleksu amfibolitowego Revdalen (wykorzystane następnie w czasie prowadzenia wycieczki kongresowej), wykonane przez doc. Birkenmajera, dra Narębskiego i mgr Smulikowskiego.

W dniu 1 sierpnia do fiordu Hornsund zawinął okręt norweskiej marynarki wojennej KMN „Valkyrien”, na którego pokładzie przybyło 38 uczestników wycieczki A.16 pod kierunkiem trzech przewodników naukowych: geologa Thore S. Winsnesa i paleontologów prof. dr Anatola Heintza i Nataschy Heintz. Z uwagi na burzliwą pogodę plan pierwszego dnia wycieczki został nieco zmieniony w stosunku do przewidywanego. Około godz. 13 okręt wyruszył w objazd fiordu i z pokładu doc. Birkenmajer objaśnił struktury geologiczne gór nadmorskich północnego i południowego wybrzeża, ilustrując demonstrowanymi kolorowymi planszami. Wprowadzeniem do budowy geologicznej Hornsundu był krótki referat wygłoszony przez wyżej wymienionego w salonie okrętowym.

Około godz. 20 uczestników wycieczki przewieziono łodziami na ląd do Stacji Polskiej w Isbjörnhamna, gdzie po zwiedzeniu stacji i wystawy geologicznej oraz po otrzymaniu wydawnictw (vol. II *Studia Geologica Polon.* z pracą prof. dr S. Z. Różyckiego o budowie geologicznej NW Ziemi Torella i vol. IV *Studia*

Geol. Pol. z pracami wymienionymi wyżej⁴, doc. Birkenmajer i mgr Smulikowski poprowadzili wycieczkę na Wilczekolden, gdzie zapoznano się z łupkami mikowo-granatowymi i marmurami formacji Isbjørnhamma (proterozoik). Następnie uczestników wycieczki przewieziono autem do Revdalen, po drodze zwiedzając struktury poligonalne rozwinęte na tarasach u wylotu tej doliny, gdzie objaśnień udzielał dr Z. Czeppe.

Jezioro Revvatnet uczestnicy wycieczki przebyli gumowymi tratwami zmontowanymi z wypełnionych powietrzem łódek typu „dinghy” i zaopatrzonymi w doczepne motory, po czym udali się do górnej części Doliny Lisiej (Revdalen), gdzie do godz. 2 w nocy (dnia 2.VIII) oglądali pod kierunkiem doc. Birkenmajera i mgra Smulikowskiego kompleks kwarcytowy i amfibolitowy formacji Eimfjellet (proterozoik) oraz występujące w tym ostatnim kompleksie zjawiska granityzacji, które wywołały ożywioną i bardzo owocną dyskusję.

W górnej części Revdalen nad jeziorem rozbito uprzednio duży namiot bazy, w którym uczestnicy wycieczki mogli posilić się i rozgrzać herbatą i kawą.

Powrót na okręt nastąpił około godz. 4 rano w dniu 2.VIII. Po kilkugodzinym odpoczynku część uczestników wycieczki kongresowej (około 20 osób) wzięła udział w godz. 8—12 rano w dalszej części wycieczki geologicznej, zwiedzając pod kierunkiem doc. Birkenmajera konglomeraty Slyngefjellet (proterozoik) na Fan-nypynten i eokambryjską formację Sofiebogen na Bogstranda. Z uwagi na brak czasu i trudne warunki lądowania (silne zalodzenie) nie udało się zwiedzić jedynie dwóch planowanych punktów na Gnaalodden (kambr środkowy) i Krykkjestupet (ordowik).

Około godz. 14 statek kongresowy, na którego pokładzie znajdował się również autor niniejszego sprawozdania, jako uczestnik wycieczki A.16 opuścił Hornsund udając się do centralnego Spitsbergenu, gdzie w otoczeniu Isfjorden zapoznano się z młodszym paleozoikiem, mezozoikiem i paleogenem.

Krzysztof Birkenmajer

SESJA KOMITETU WYKONAWCZEGO ŚFPN

W ostatnich dniach września 1960 r. obradował w Budapeszcie Komitet Wykonawczy Światowej Federacji Pracowników Nauki. Z ramienia Polski w pracach sesji uczestniczyli prof. dr E. Olszewski oraz dr K. Kąkol.

Komitet Wykonawczy przyjął do Federacji Zrzeszenia Pracowników Naukowych Kuby, a także jako członków indywidualnych kilkudziesięciu uczonych przeważnie z krajów nie posiadających organizacji członkowskich. Członkiem indywidualnym został m. in. Cyrus Eaton znany działacz amerykański na polu zbliżenia międzynarodowego, organizator tzw. Konferencji Pugwash.

Ustalono i zatwierdzono plan najbliższych Konferencji organizowanych przez ŚFPN, a także tematykę Sympozjum przygotowywanego na 1962 r. Sympozjum to, które odbędzie się prawdopodobnie w ZSRR poświęcone zostanie niezwykle ważnemu problemowi, jakim jest kształcenie kadr technicznych i naukowych. Będzie więc ono jakby rozwinięciem i kontynuacją prac rozpoczętych przez Sympozjum warszawskie (wrzesień 1959). W skład 6-osobowego Komitetu Organiza-

⁴ Wydawnictwa te ofiarował w tym celu Komitet Międzynarodowej Współpracy Geofizycznej Pol. Akad. Nauk.

cyjnego Sympozjum wszedł z ramienia Polski prof. Janusz Tymowski. Sympozjum zostanie poprzedzone i przygotowane przez konferencje regionalne, które zorganizowane zostaną w 1961 r. w W. Brytanii, jednym z krajów Afryki, a także w Polsce w Krakowie (będzie to konferencja organizowana przez NOT przy współudziale innych organizacji z krajów socjalistycznych na temat kształcenia kadr inżynierskich).

Komitet Wykonawczy zaakceptował też propozycję bułgarską w sprawie wybudowania do 1962 r. pod patronatem Federacji międzynarodowego domu wypoczynkowego dla pracowników nauki.

Dom zostanie usytuowany w Złoty Piaskach nad Morzem Czarnym, a koszty jego budowy i wyposażenia zostaną pokryte przez organizacje członkowskie (Polska dostarczy prawdopodobnie część umeblowania).

Uchwalono wreszcie rezolucję precyzującą stanowisko Federacji w najważniejszych problemach politycznych obecnej doby (tłumaczenie rezolucji zamieszczamy poniżej) oraz depeszę do obradującej w Nowym Jorku sesji Zgromadzenia Ogólnego ONZ.

REZOLUCJA

Komitet Wykonawczy Światowej Federacji Pracowników Nauki zbiera się w Budapeszcie w chwili o szczególnej wadze dla historii świata.

Centralnymi punktami obrad obecnej Sesji Zgromadzenia Ogólnego ONZ stały się rozbrojenie oraz niezależność narodów kolonialnych — problemy za rozwiązanie których uczeni i technicy, których tu reprezentujemy, czują się szczególnie odpowiedzialni.

W chwili obecnej naszkicowanie porozumienia w sprawach całkowitego i kontrolowanego rozbrojenia nie wydawałoby się technicznie trudne. Rozpoczynając od wyeliminowania z uzbrojenia wszelkich środków transportu broni jądrowej, łącznie z bazami na obcych terytoriach, z których mogłaby ona być dostarczana, można by przejść szybko do całkowitego jej zniesienia. Zdajemy sobie sprawę, że zapewnienie takiego porozumienia wymaga najwyższego wysiłku narodów świata. W sprawie tej uczeni poczuwają się do szczególnej odpowiedzialności. Uczynili oni już bardzo wiele, aby pokazać straszliwe niebezpieczeństwo broni jądrowej, trzeba, aby i teraz udzielili swego poparcia żądaniu narodów wyeliminowania na zawsze broni jądrowej, a wraz z nią wszelkich innych środków zniszczenia starych i nowych. Obecnie, gdy brak jest postępu w kwestii rozbrojenia jądrowego, gdy obserwuje się przyspieszanie zbrojeń, za sprawę niezwykle nagłą uważamy zakaz tych broni i natychmiastowe utworzenie strefy bezatomowej w Europie Środkowej z Niemcami włącznie, oraz w rejonach Pacyfiku i Azji.

Szybkie sukcesy ruchu niezależności narodów kolonialnych, w wyniku których tylko w tym roku przyjęto do ONZ 16 nowych państw przeważnie z Afryki, wykazują, że najwyższy już czas, aby zlikwidować na zawsze system kolonialny i wyzwolić setki milionów ludzi cierpiących jeszcze w ramach tego systemu. Urzeczywistnienie tego musi oznaczać dla tych jak i wielu innych krajów na świecie poza Europą i Ameryką Północną nie tylko formalną niezawisłość polityczną, lecz również uwolnienie gospodarki tych krajów spod obcej kontroli, tak aby mogły one zbudować dla siebie z własnych zasobów dostatnie życie, którego im dawniej odmawiano.

W tym wielkim ruchu narodów świata o rzeczywistą niezawisłość i podniesienie stopy życiowej uczeni winni odegrać szczególną rolę. Na warszawskim

Symposium w 1959 r. Federacja nasza zadokumentowała już zrozumienie przez uczonych odpowiedzialności za to zadanie. Należy obecnie znaleźć środki, aby praktycznie pomóc w rozpoczęciu badań naukowych i kształcenia kadr, aby narody tych krajów mogły same w szybkim tempie zająć się pełnym wykorzystaniem swych zasobów naturalnych i ludzkich.

Oba te zadania przeprowadzenia rozbrojenia oraz zapewnienia dobrobytu gospodarczego na całym świecie łączą się ściśle ze sobą. Środki uwolnione przez wstrzymanie zbrojeń wystarczą bowiem dla natychmiastowego wypędzenia głodu i nędzy oraz staną się podstawą szybkiego rozwoju przemysłu i rolnictwa. Skróci to do czasu mniejszego lub równego życiu jednego pokolenia osiągnięcie wysokiej i stale rosnącej stopy życiowej przez wszystkie narody świata. Oczywiście może to być dokonane jedynie wtedy, gdy pomoc ta nie będzie połączona (jak to często dawniej bywało) z obcą dominacją nad gospodarką biedniejszych krajów.

Zdajemy sobie sprawę, że realizację tych zadań należy rozpocząć w świecie podzielonym głęboko przez zimną wojnę. Będzie ona rozmyślnie hamowana przez potężne wpływy zdecydowane zachować swe przywileje. Są to siły, które faworyzowały agresję i wstrzymywały osiągnięcie postępu w sprawach rozbrojenia. Obecnie widzimy jednak, jak wpływy te pod działaniem ruchów narodowych ustępują drogi nowym siłom rozsądku i jedności w świecie. Znalazło to swój wyraz w zebraniu się szefów państw na Zgromadzeniu Ogólnym ONZ. Jednakże Organizacja Narodów Zjednoczonych nie może być organizacją powszechną oraz zdolną do wypełniania swych funkcji, dopóki nie zostaną do niej przyjęte wszystkie państwa, które obecnie niesłusznie pozbawione są praw członkowskich.

Osiągnięcie celów, jakimi są rozbrojenie i niezależność krajów kolonialnych wymagać będzie nie tylko silnego poparcia opinii publicznej, lecz także głębokiej wiedzy i jedności. Możemy mieć nadzieję, że na tej drodze uciekniemy od widm zimnej wojny i katastrofy jądrowej.

Jako uczeni pragniemy dołożyć wszelkich starań dla zrealizowania tych ogromnych możliwości, jakie przedstawia dla ludzkości rozwój nauki.

opracował Jacek Kornacki

SPIS TREŚCI

Akademik P. L. Kapica, O rozwoju nauki w przyszłości	65
Maciej Suffczyński, Rezonans bez odrzutu	77
Tadeusz Berens, Trzy lata eksploatacji reaktora „Ewa”	91
Włodzimierz Kołos, Elektronowe maszyny do liczenia w chemii kwantowej	101
Saturnin Borowiec, Problemy geograficzno-gleboznawcze Polski na tle pracy Gierasimowa	117
Justyna Wrzosek - Matl, Osuwiska w Polsce południowej w roku 1960 . .	127

KRONIKA NAUKOWA

Krzysztof Birkenmajer, XXI Międzynarodowy Kongres Geologiczny Norden 1960	131
Sesja Komitetu Wykonawczego ŚFPN	136

