

Polskie Towarzystwo Przyrodników
im. KOPERNIKA

KOSMOS

Seria B
PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK III

ZESZYT 3 (11)

WARSZAWA 1957

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

POLSKIE TOWARZYSTWO PRZYRODNIKÓW
im. KOPERNIKA

K O S M O S

Seria B: PRZYRODA NIEOŻYWIONA



ROK III

WARSZAWA 1957

ZESZYT 3 (11)

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

Redaktor Naczelny
LEOPOLD INFELD

Zastępca Red. Naczelnego
KAZIMIERZ MAŚLANKIEWICZ

Członek Komitetu Redakcyjnego
JÓZEF HURWIC

Sekretarz Redakcji
ROMAN ŻELAZNY

Adres Redakcji: Warszawa, ul. Hoża 69

PANSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE
Warszawa, 1, Miodowa 10

Nakład 936 + 119	Oddano do składania 28.V.57
Ark. wyd. 6,25. Ark. druk. 5 + 1 wkładka	Podpisano do druku 27.VIII.57
Papier druk. sat. 80 g kl. V 70 x 100	Druk ukończ. w sierpniu 1957 r.
Zam. 217	Cena zł 15,— B-70

DRUKARNIA NAUKOWA, WARSZAWA, UL. ŚNIADECKICH 8

OŚWIADCZENIE ATOMIC SCIENTISTS' ASSOCIATION O NIEBEZPIECZEŃSTWIE STRONTU

Z uwagi na powszechne zainteresowanie niebezpieczeństwem promieniowania, Rada Atomic Scientists' Association postanowiła powołać komitet do zbadania całokształtu zagadnienia w świetle nowszych wyników zawartych w zeszłorocznym sprawozdaniu Medical Research Council. W chwili obecnej szczególnie niepokój dotyczy skutków działania promieniotwórczego strontu wytwarzanego w próbnym wybuchach bomb wodorowych. Dlatego też Rada zwróciła się do komitetu z prośbą o przygotowanie publicznego oświadczenia dającego bieżącą ocenę tego niebezpieczeństwa.

Sprawozdanie tego komitetu (którego lista członków podana jest poniżej) jest następujące:

Gdy bomba wodorowa eksploduje na dużej wysokości i nad nie zamieszkanym obszarem — jak to jest przewidziane w spodziewanych próbach brytyjskich — istnieje bardzo małe prawdopodobieństwo bezpośredniej szkodliwości dla ludzi czy też znacznego lokalnego skażenia oceanów, nawet jeśli duża ilość promieniotwórczości powstaje w czasie wybuchu. Promieniotwórczość ta zostałaby wzniesiona do górnych warstw atmosfery, skąd rozprzestrzeniałaby się ponad całym globem ziemskim i stopniowo, w ciągu kilku lat, opadałaby na ziemię. Do tego czasu pozostałyby tylko długożyciowe substancje promieniotwórcze powstałe z eksplozji i dlatego też jesteśmy zainteresowani możliwymi efektami działania tych właśnie substancji.

W sprawozdaniu MRC oszacowano, że jeśli próby z bombami wodorowymi będą kontynuowane z obecną częstością, dawka promieniowania dla narządów rozrodczych, która może być szkodliwa dla przyszłych pokoleń, jest rzędu 1% dawki wynikającej z naturalnego poziomu promieniowań. O większym jednakże znaczeniu jest niebezpieczeństwo grożące obecnemu pokoleniu głównie ze strony jednej promieniotwórczej substancji — strontu 90. Ta substancja wchodzi do naszego pożywienia głównie w jarzynach oraz produktach mlecznych i w ciele ludzkim akumuluje się w kościach, gdzie pozostaje przez długi czas. Zależnie od założeń dotyczących rozkładu strontu w kości obliczyliśmy (patrz Przypisy), że do roku 1970 dla kości dawka promieniowania pochodzącego ze wszystkich próbnym eksplozji przeprowadzonych do jesieni 1956 r. osiągnie od 9% do 45% dawki otrzymanej ze wszystkich źródeł naturalnych, włączając w to rad, który jest normalnie w kościach obecny.

Jest rzeczą znaną, że substancje promieniotwórcze zgromadzone w kościach mogą spowodować powstanie złośliwych nowotworów kości, jak i inne uszkodzenia, oraz że napromieniowanie szpiku kostnego może doprowadzić do białaczki, będącej rodzajem nowotworu układu krwiotwórczego. Powstawanie nowotworów kości przez działanie strontu 90

zawartego w kościach było demonstrowane na zwierzętach; u ludzi ten sam efekt obserwowany był z radem, który do pewnego stopnia zachowuje się podobnie do strontu. Jednakże we wszystkich tych przypadkach ilość promieniotwórczości obecnej w kościach była o wiele większa od tej, która może się nagromadzić w wyniku prób z bombami wodorowymi. Powstaje więc pytanie, w jaki sposób zużytkować te wyniki przy rozpatrywaniu bardzo małych dawek promieniotwórczości. Podstawowa trudność leży tutaj w tym, że nie jest znana zależność wyrządzonej szkody od ilości promieniowania. Jeśli ta zależność jest taka, że istnieje progu dawka, poniżej której nowotwór nie powstaje, wówczas można słusznie wnioskować, że mała ilość strontu 90, która nagromadzi się w kościach w wyniku bieżących prób z bombami wodorowymi, nie spowoduje żadnej szkody. Jeśli jednak liczba dodatkowych guzów kości powstających w wyniku promieniowania jest wprost proporcjonalna do dawki, wówczas nawet bardzo mała dawka z małym, lecz ściśle określonym prawdopodobieństwem prowadzi do powstania nowotworu złośliwego kości. To oznacza, że w bardzo dużej grupie ludności pewna liczba osób nabawiłaby się tej choroby w wyniku posiadania małej ilości strontu 90 w swoich kościach.

Brak, jak dotąd, rozstrzygającego dowodu. Pewne doświadczenia na zwierzętach były interpretowane jako wskazujące istnienie dawki proguowej. Z drugiej strony, u ludzi występowanie białaczki spowodowane naświetleniem sugeruje zależność wprost proporcjonalną. Niestety, zagadnienie to nie może być rozwiązane doświadczalnie w krótkim okresie czasu, a teoria również nie daje wyraźnych wskazówek. Jest pewna teoria pochodzenia nowotworów złośliwych (przez mutację somatyczną), z której wynika zależność proporcjonalna. Co do efektów strontu 90, specjaliści w sprawozdaniu MRC skłaniają się w stronę hipotezy o proporcjonalności, pisząc: „Wydaje się, iż globalnie doświadczenia przemawiają za proporcjonalnością między częstością wytwarzania guzów w ciągu określonego czasu a ilością substancji promieniotwórczej w ciele, nawet przy niskim poziomie dawek“.

Jeśli przyjmiemy zależność proporcjonalną, można wówczas w przybliżeniu oszacować liczbę złośliwych nowotworów kostnych, które mogą powstać w wyniku danego próbnego wybuchu bomby wodorowej. Obliczenia podane w Przypisie wykazują, że bomba wodorowa typu wypróbowanego w 1954 r. na Bikini, jeśli eksplodowałaby wysoko w atmosferze, mogłaby ewentualnie spowodować powstanie nowotworów złośliwych około u 1000 osób na każdy milion T.N.T. równoważnej siły wybuchu. (Stwierdzono, że jeśli chodzi o wytwarzanie strontu 90, wypróbowane do tej pory bomby wodorowe są w sumie równoważne 50 milionom ton). Te tysiąc wypadków rozmieściłoby się po całym świecie i wystąpiłoby w ciągu paru dziesięcioleci. Nieco większa ilość ludzi mogłaby cierpieć na inne zmiany kostne, być może bez wystąpienia żadnych objawów klinicznych. Jest także prawdopodobne spowodowanie pewnej liczby przypadków białaczki, nie mamy jednak wystarczających danych do oszacowania tej liczby. Jednocześnie należy podkreślić, że te wypadki zachorowań, chociaż liczne w ilości bezwzględnej, stanowią tylko pewien ułamek tych, które spowodowane są przez normalny poziom promieniotwórczości; nie byłoby żadnej metody odróżnienia jednych od drugich.

Jeśli inne typy broni jądrowej byłyby wypróbowane, liczba wypadków zachorowań zmieniałaby się w bezpośredniej zależności od ilości produktów rozszczepienia wyzwolonych w górnej atmosferze.

Podając te oszacowania należy jeszcze raz podkreślić, że niezależnie od znacznego błędu wynikającego z braku odpowiednich danych są one oparte na nie sprawdzonej, jak dotąd, hipotezie o istnieniu proporcjonalnej zależności w przypadku bardzo małych dawek. Dlatego też przedstawiają one najbardziej pesymistyczne ustosunkowanie się do zagadnienia. Z drugiej jednak strony jeśli hipoteza ta jest słuszna, to podane liczby mogą nie oceniać w pełni szkody, ponieważ nie uwzględniają one dawki promieniowania na dzieci przed lub po urodzeniu. Wiadomo, że dzieci przyjmują znacznie większe ilości strontu niż dorośli, a możliwość uszkodzenia promieniami jest u nich prawdopodobnie znacznie większa przy tej samej ilości promieniowania.

H. S. W. Massey, F. R. S.

Przewodniczący

H. R. Allan

Honorowy Sekretarz Generalny

LISTA CZŁONKÓW RADIATION HAZARDS COMMITTEE

Profesor J. Rotblat, D. Sc., F. Inst. P. — przewodniczący

J. W. Boag, D. Sc., F. Inst. P.

profesor A. Haddow, M. D., D. Sc.

W. M. Levitt, M. D., F. R. C. P., F. F. R., D. M. R. E.

Patricia J. Lindop, B. Sc., M. B., B. S., M. R. C. P.

S. B. Osborn, B. Sc., F. Inst. P.

profesor L. S. Penrose, M. D., F. R. S.

profesor P. A. Sheppard, B. Sc., F. Inst. P.

G. Simon, M. D., F. F. R., D. M. R. E.

A. J. Salmon, Ph. D., A. Inst. P., A. M. I. E. E.

PRZYPIS

Oszacowanie szkodliwości strontu 90 oparte na założeniu liniowej zależności pomiędzy dawką a tworzeniem się guzów kostnych.

1. Pomiarы zawartości strontu 90 w kościach ludzkich wykonane w naszym kraju przez pracowników UKAEA [1] wykazały, że do początku roku 1956 średnia zawartość we wszystkich grupach wieku od 10 lat wzwyż wynosiła około 0,2 S.U. (1 S.U. = 10^{-12} curie strontu 90 na gram wapnia).

2. Po porównaniu tej liczby z danymi światowych pomiarów strontu 90, wykonanych przez grupę Lamonta [2] wnioskujemy, że stężenie strontu 90 wynikające ze wszystkich próbnych wybuchów przeprowadzonych do jesieni 1956 r. będzie wynosiło w roku 1970 około 4 S.U. Wartość ta jest zgodna z szacunkowym wynikiem 4—10 S.U. otrzymanym przez Libby'ego [3] dla USA.

3. Całkowita wydajność rozszczepień z próbnych wybuchów przeprowadzonych do jesieni 1956 r. została oszacowana [2] jako równoważna 50 megatonom. Na jedną nominalną wysoko wydajną bombę (według definicji podanej w publikacji rządu indyjskiego [4] : 20 megaton z wysoką wydajnością rozszczepień) eksplodu-

jąco wysoko w atmosferze można więc oczekiwać wzrostu stężenia w kościach wynoszących około 1,6 S.U.

4. Na podstawie wykonanych przez Hasterlika [5] pomiarów mięsaka kości u ludzi przeciążonych dawkami radu szacujemy, że 0,1 mikrocurie radu daje 0,5% prawdopodobieństwa wystąpienia mięsaka kości. (Uwzględniono współczynnik 2 dla możliwej domieszki mezotoru do radu).

5. Ponieważ przyjęto [6], że 0,1 mikrocurie radu jest równoważne 1000 S.U., więc stosując podaną wielkość prawdopodobieństwa do ludności całej kuli ziemskiej ($2,5 \cdot 10^9$ ludzi) otrzymujemy, że ilość przypadków mięsaka kości będących wynikiem jednego nominalnego wysoko wydajnego próbnego wybuchu wynosi na całym świecie około 20 000 ($2,5 \cdot 10^9 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-3}$).

6. Rad normalnie zawarty w ciele i zewnętrzne promieniowanie pochodzące ze źródeł naturalnych dostarcza do kości dawkę równoważną 45 S.U., albo 9 S.U. — jeśli uwzględnimy niejednorodną koncentrację strontu w kościach (Spiers [7]). Oznacza to, że dawka pochodząca od strontu w kościach będzie wynosiła 4/45 lub 4/9 dawki pochodzącej od normalnego tła.

Literatura

1. R. J. Bryant, A. C. Chamberlain, A. Morgan, G. S. Spicer, A. E. R. E. HP/R 2056 (1956).
2. J. L. Kulp, W. R. Eckelmann, A. R. Schuler, *Science*, **125**, 219 (1957).
3. W. F. Libby, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **42**, 945 (1956).
4. *Nuclear Explosions*, Government of India, 1956.
5. R. J. Hasterlik, *Geneva Conference*, **11**, 149.
6. *Recommendations of Int. Comm. Rad. Protct. B. J. R. Suppl. No 6* (1955).
7. F. W. Spiers, *Brit. J. Radiol.*, **29**, 409 (1956).

KILKA UWAG O PRACACH POLSKICH W ZAKRESIE KINETYKI CHEMICZNEJ

W związku z artykułem dyskusyjnym prof. dra M. Śmiałowskiego, sekretarza Wydz. III PAN, nasuwa się kilka uwag dotyczących badań z dziedziny kinetyki chemicznej w Polsce. Poczuję się do obowiązku zabrania głosu w tej sprawie, ponieważ w Zakładzie Badań Strukturalnych Instytutu Chemii Fizycznej PAN prowadzone są od kilku lat prace w tej dziedzinie.

Przegląd dorobku chemików polskich, publikowanego w okresie wojennym w dwu periodykach *Roczniki Chemii* i *Biuletyn Polskiej Akademii Nauk*, wykazuje w kinetyce chemicznej następujące pozycje:

1. St. Witekowska — „Kinetyka reakcji między kwasem arsenowym a jodem na granicy faz woda — rozpuszczalnik organiczny“, *Roczn. Chemii* **25**, 3 (1951).
2. A. Ulińska — „Kataliza jonowa w roztworach wodnych“, *Roczn. Chemii* **25**, 69 (1951).
3. W. Kemula, E. Rauchfleisch — „Szybkość i wydajność kwantowa fotopolimeryzacji acetyleny“, *Roczn. Chemii* **26**, 225 (1952).
4. St. Bretsznajder — „Katalityczne utlenianie dwutlenku siarki zaabsorbowanego w roztworze zasadowego siarczanu glinowego“, *Roczn. Chemii* **29**, 227 (1955).
5. A. Kotarski, Z. Błaszczkowska — „Metoda kinetycznego kolorymetrowania. Oznaczanie m- i p-krezolu w ich mieszaninach“, *Roczn. Chemii* **29**, 849 (1955).
6. W. Kemula, S. Siekierski, K. E. Siekierska — „Polarograficzne badania kinetyki powstawania jonu $[Mn/CN/_{6}]^{4-}$ “, *Roczn. Chemii* **29**, 966 (1955).
7. J. Kroh — „Kinetyka utleniania lucygeniny w świetle pomiarów polarograficznych“, *Roczn. Chemii* **29**, 1053 (1955).
8. J. Schroeder — „Badania nad wpływem różnych chlorków na kinetykę azotowania węgla wapniowego“, *Roczn. Chem.* **30**, 991 (1956).
9. St. Bretsznajder, W. Kotowska — „Związki siarczanu żelazowego z dwutlenkiem siarki“, *Roczn. Chemii* **30**, 697 (1956).
10. St. Weychert, J. Leyko — „Synteza i rozkład siarczanu wanadylu w procesie kontaktowego utlenienia dwutlenku siarki“, *Roczn. Chemii* **30**, 291 (1956).
11. B. Jeżowska-Trzebiatowska, J. Nawojcka, M. Wrońska — „Kinetyka i mechanizm reakcji następczych w redukcji $Mn^{VII} \rightarrow Mn^{IV}$ jonami OH^{-} “, *Roczn. Chemii* **29**, 259 (1955).

12. B. Jeżowska - Trzebiatowska, J. Nawojcka, M. Wrońska — „Kinetics of Permanganate Reduction by OH^- Ions“, *Bull. Acad. Pol. Sc. Cl. III*, **2**, 447 (1954).
13. B. Jeżowska - Trzebiatowska, J. Nawojcka, M. Wrońska — „The Mechanism of Reduction of KMnO_4 by concentrated KOH Solution“, *Bull. Acad. Pol. Sc. Cl. III*, **1**, 311 (1953) ¹.
14. J. Kroh — „Kinetyka polimeryzacji metakrylanu metylu“, *Roczn. Chemii* **31**, 175 (1957).
15. A. Kryszeński — „Fotopolimeryzacja bromku winylu“, *Roczn. Chemii* **31**, 147 (1957).
16. A. Krause, J. Pawełkiewicz — „O szybkości niektórych reakcji katalitycznych w sprzężonych układach redukcyjno-oksydacyjnych“, *Roczn. Chemii* **28**, 317 (1954).

Jak z powyższego niewątpliwie niekompletnego spisu wynika, kinetyka chemiczna obejmuje w okresie powojennym co najmniej 16 pozycji. Dalsze prace z zakresu kinetyki, znane ze sprawozdania rocznego Instytutu Chemii Fizycznej, są następujące:

1. B. Jeżowska - Trzebiatowska i M. Wrońska — „The decomposition of potassium ferrate (VI) in concentrated KOH solution“, *Biul. Acad. Pol. Sc.* w druku, por. „Sprawozdanie z działalności Instytutu Chemii Fizycznej PAN za rok 1956“, str. 8, w. 1-10.
2. B. Jeżowska - Trzebiatowska i H. Przywarska — „Kinetyka reakcji powstawania związków nadtlenowych renu (IV)“, tamże str. 9, w. 2-4.
3. W. Trzebiatowski i J. Damm — „Kinetyka rozkładu anhydrytu w fazie stałej“, tamże str. 7, w. 1-12.

Jest słuszną rzeczą podkreślenie przez prof. Śmiałowskiego ważności badań kinetycznych, odgrywają one bowiem zasadniczą rolę dla rozpoznania mechanizmu procesów chemicznych. Trudno jednak na podstawie powyższego, a na pewno niekompletnego spisu prac pogodzić się z tezą, że badania takie nie zostały nawet zapoczątkowane w Polsce, co więcej należy stwierdzić, że badania takie mają w Polsce swoją tradycję i są nadal kontynuowane.

W okresie międzywojennym kinetykę polską reprezentowały dwie szkoły: prof. J. Zawadzkiego, zmarłego w 1930 r., autora monografii *pt. Kinetyka chemiczna*, wydanej w 1931 r. przez Komitet Uczczenia Pamięci tego wybitnego chemika. Monografia ta należała w owym czasie do nielicznych opracowań światowych z tej dziedziny. Druga szkoła kinetyczna pracowała pod kierunkiem prof. dra J. Zawadzkiego. Jego prace wspólne z prof. Bretsznajdrem nad kinetyką rozkładu węglanu wapniowego stanowią do obecnej chwili trwały dorobek w tej dziedzinie. Już w okresie powojennym prof. Zawadzki wykorzystując wyniki swoich dawniejszych badań ogłosił drukiem poważną pracę dotyczącą mechanizmu utleniania amoniaku (*Discussion Faraday Soc.* **8**, 140 (1950)). Prace prof. J. Zawadzkiego kontynuował też jego uczeń prof. dr E. Józefowicz, obecnie na Politechnice Łódzkiej, w którego Zakładzie są one nadal prowadzone.

¹ Praca referowana była na posiedzeniu Wydziału III PAN w dniu 12.I.1953 r.

Nie ma potrzeby szczegółowo podawać udziału Zakładu Badań Strukturalnych I. Ch. F. PAN w pracach w dziedzinie kinetyki chemicznej, gdyż był on omawiany już na łamach niniejszego czasopisma².

Przedmiotem dyskusji może więc być tylko kwestia, czy nie można prowadzić badań kinetycznych w większym rozmiarze. Należy wyrazić nadzieję, że zmienione obecnie korzystnie poglądy na rolę i znaczenie prac podstawowych w zakresie chemii nie tylko zachęcą nowych pracowników do rozszerzenia ich tematyki w tym kierunku, ale także umożliwią uzyskanie środków na ten cel.

² W. Trzebiatowski — *Rozwój chemii nieorganicznej we Wrocławiu*, „Kosmos“ B 1, 348 (1955).

Wiktor Wawrzyczek

ŻYCIE I DZIAŁALNOŚĆ HENRYKA MOISSANA

(W 50 rocznicę śmierci)

W bieżącym roku mija 50 lat od chwili zgonu Henryka Moissana, jednego z największych chemików ubiegłego stulecia.

Urodził się w Paryżu w roku 1852 i tam też zmarł w roku 1907.

Moissan wykonał olbrzymią liczbę prac eksperymentalnych w dziedzinie chemii nieorganicznej. Oprócz tego napisał również 400-stronicową pracę pt. *Le Fluor électrique* oraz poważne, pięknym stylem napisane 5-tomowe dzieło pt. *Traité de chimie minérale*.

Ojciec Moissana był urzędnikiem kolejowym w Tuluzie. W latach szkolnych cała rodzina przeniosła się do małego miasteczka Meaux, należącego do departamentu Sekwany i Marny. Tutaj młody Henryk uczęszczał do szkoły miejskiej. Nauczyciel jego, dostrzegłszy wybitne zdolności ucznia, udzielał mu bezpłatnych lekcji z matematyki i nauk przyrodniczych, przez co udało mu się wzbudzić u niego zamiłowanie do chemii. W roku 1870 Moissan udał się do Paryża, gdyż pragnął być blisko ośrodków naukowych, a zwłaszcza laboratoriów chemicznych. Początkowo pracował w drogerii, a pod koniec 1872 r. — w laboratorium Muzeum Historii Naturalnej pod kierunkiem E. Frémy'ego. W dwa lata później kontynuował swe studia w sąsiednim laboratorium profesora fizjologii roślin P. P. Déhéraina, u którego też złożył egzamin magisterski, a w r. 1877 otrzymał tytuł „licencié des sciences”. Pierwsza praca badawcza Moissana, wykonana wspólnie z Déhérainem, dotyczyła problemu pobierania tlenu i wydzielania dwutlenku węgla przez rośliny w ciemności.

W pierwszych latach bytności w Paryżu Moissanowi wiodło się kiepsko. Nie otrzymując prawie żadnej pomocy z domu, zmuszony był udzielać korepetycji. Pragnął dostać się do przemysłu, w którym ludzie za swą pracę włożoną w produkcję wyrobów bezpośredniego użytku byli lepiej wynagradzani niż pracownicy naukowci, ale nie udało mu się to. Po skończonych studiach Moissan odbył służbę wojskową w Lille. W tym okresie brał żywy udział w dyskusjach wieczorowych, jakie odbywały się w kółku lekarzy i znawców sztuki, z których wielu pozostało jego dożgonnymi przyjaciółmi. Moissan trudnił się wówczas pisaniem sztuki teatralnej i to w dodatku wierszem.

Po ukończeniu służby wojskowej i zdaniu egzaminu farmaceuty I klasy w roku 1879 Moissan został kierownikiem zakładu chemii praktycznej w Wyższej Szkole Farmacji, w której spędził większość swych lat pracy badawczej. Ubocznie pracował także jako repetytor fi-

zyki w Instytucie Agronomicznym. W następnym roku (1880) na podstawie pracy o tlenkach żelaza otrzymał tytuł doktora nauk fizycznych. W r. 1882 ożenił się z córką aptekarza w mieście Meaux. Ojciec jej zapewnił młodej parze środki na utrzymanie, dzięki czemu Moissan mógł beztrudno poświęcić się pracy badawczej. Prócz tego żona jego okazała się nie tylko dobrą gospodynią, lecz także wierną współpracownicą, a życie ich płynęło w rzadko spotykanej harmonii. W roku zaślubin Moissan przystąpił do pracy konkursowej z dziedziny chemii cyjanu, na podstawie której otrzymał tytuł profesora nadzwyczajnego nauk fizycznych. W tym też czasie władze uczelni przeznaczyły odpowiednie pomieszczenia na laboratorium w jednym z budynków Sorbony. Od tego czasu rozpoczyna się właściwa działalność naukowa Moissana, uwieńczona wspaniałymi sukcesami. Pod koniec 1900 r. Moissan został się ze Szkołą Farmacji i objął stanowisko profesora chemii uniwersytetu paryskiego. Laboratorium, jakie odziedziczył po L. J. Troos'cie (1825—1911), było znacznie lepiej wyposażone i w krótkim czasie zamieniło się na najlepszy ośrodek nauk chemicznych ówczesnej Francji. Tutaj kształcili się nie tylko chemicy francuscy, ale także cudzoziemcy, których oczarowała jego osoba. Moissan wymagał od swych uczniów skrupulatnego porządku i czystości. Również jako mówca zdobył sobie uznanie. Po pracownicy spędzonych miesiącach szukał odprężenia w sztuce i podróżach. Wiosną, często z całą rodziną, spędzał na południu, lato natomiast w Alpach lub Pirenejach. Lubił także odwiedzać swoich kolegów w innych krajach, szczególnie niemieckich i amerykańskich.

Moissan, jak to już zaznaczono, zajmował się głównie badaniami z dziedziny chemii nieorganicznej. Pierwszym rewelacyjnym jego sukcesem było otrzymanie fluoru. W r. 1886 Moissan zauważył, że bezwodny fluorowódor w obecności kwaśnego fluorku potasowego przewodzi prąd elektryczny. Roztwór w ten sposób przyrządzony poddawał elektrolizie w U-rurce platynowej przy równoczesnym jej chłodzeniu do temperatury -55° za pomocą ciekłego chlorku metylowego. Jako źródło prądu zastosował baterię złożoną z 50 ogniw Bunsena. U-rurkę zatykał korkami z fluorytu, przez które przechodziły druty platynowe. W wyniku elektrolizy stwierdził, że na katodzie zbiera się wodór, w przeciwnym ramieniu rurki, z elektrodą dodatnią — gaz bezbarwny, który dopiero w grubszych warstwach przybiera zabarwienie jasnożółte. Dalsze jednak próby upewniły go, że otrzymany gaz jest czystym fluorem, gdyż w obecności żelaza nie wydziela wodoru. Wiadomość o odkryciu fluoru rozeszła się głośnym echem w całym świecie chemicznym. Za odkrycie to otrzymał nagrodę La Caze w wysokości 10 000 franków. Moissan prawie pięć lat pracy badawczej poświęcił temu niebezpiecznemu pierwiastkowi, mimo że zdawał sobie sprawę z tego, że „Le fluor aura raccourci ma vie de dix ans“ („Fluor skróci moje życie o dziesięć lat“). W wyniku tych badań Moissan stwierdził, że krystaliczny krzem w gazowym fluorze ulega spaleni, dając fluorek krzemu. Podobnie, lecz nieco trudniej, reaguje bor, tworząc fluorek boru. W wyniku reakcji fluoru z wodą tworzy się fluorowódor z równoczesnym wydzielaniem ozonu. Ciekawe spostrzeżenia Moissana dotyczą również wpływu fluoru na miedź, która w tych warunkach pokrywa się cienką warstwą (fluorkiem miedziowym), a która zabezpiecza miedź przed dalszym atakowaniem przez fluor. Ze zjawiska tego skorzystał W. L. Argo, który

pierwszy zbudował elektrolizer z miedzi do otrzymywania fluoru. Podobnie, jak to wykazał Ch. L. Jones w r. 1929, zachowuje się magnez względem fluoru. W końcu Moissan stwierdził, że sadza rozzarza się w gazowym fluorze, a w jego nadmiarze daje czterofluorek węgla, związek analogiczny do czterochloroku węgla otrzymanego wcześniej przez chemika niemieckiego H. Kolbego z dwusiarczku węgla i chloru.

Fluor został wprawdzie późno odkryty (ostatni z chlorowców), mamy jednak o nim już wzmianki w latach wcześniejszych. Słynny mineralog i hutnik G. Agricola (1494—1555) wspomina o minerale zwanym fluorytem. Znany mineralog i analityk szwedzki A. F. Cronstedt (1702—1765) znał fluoryt pod nazwą „Fluss“ i „Flusspat“. W r. 1764 chemik niemiecki A. Z. Marggraf (1709—1782) po raz pierwszy przeprowadził destylację sproszkowanego fluorytu z kwasem siarkowym, a siedem lat później chemik szwedzki K. Scheele (1742—1786) stwierdził, że kwas siarkowy uwalnia z fluorytu nie znany mu kwas. Wybitny chemik francuski A. Lavoisier (1743—1794) w swym klasycznym podręczniku chemii (1789) pisał już o kwasie tego pierwiastka, lecz mylnie go określił jako związek tlenu z nie znanym jeszcze rodnikiem „Fluorium“. W r. 1809 dwaj uczeni francuscy, J. L. Gay-Lussac i L. J. Thenard, otrzymali po raz pierwszy czysty fluorowódor przez destylację fluorytu z kwasem siarkowym w retortach ołowianych i srebrnych, wykazując równocześnie szkodliwy wpływ tego związku na organizm ludzki. Około 1810 r. chemik angielski H. Davy (1778—1829) opublikował pracę o chlorze i jego związkach. Praca ta dostała się do rąk znakomitego fizyka i matematyka francuskiego A. M. Ampère'a (1775—1836). Uczony ten w okresie 1810—1812 wysłał do Davy'ego dwa listy, podkreślając w nich analogię pomiędzy kwasem chlorowodorowym a kwasem fluorowodorowym. Ampère zaproponował również nazwę „fluor“ dla nie znanego jeszcze w stanie wolnym pierwiastka wchodzącego w skład HF. W tym to czasie prawie nikt nie wątpił o istnieniu nowego, jakkolwiek dotąd nie wyodrębnionego pierwiastka. Wielu uczonych prowadziło badania nad związkami fluoru, lecz nikomu z nich nie udało się wyodrębnić fluoru w stanie wolnym. Uskutecznił to dopiero Moissan.

Innym sukcesem Moissana było otrzymanie sztucznych diamentów. Opierając się na hipotezie głoszącej, że diamenty powstają w głębi ziemi w warunkach wysokiej temperatury i wielkiego ciśnienia, jak również na fakcie występowania ich w meteorytach żelazistych, opracował metodę sztucznego otrzymywania diamentów. W tym celu wypełniał on naczynia żelazne stopionym szarym surowcem żelaznym, nasyconym węglem, a następnie ochładzał go raptownie przez zanurzenie w zimnej wodzie. Gdy zawartość naczyń całkowicie ostygła, rozpuszczał ją w kwasie solnym. Po rozpuszczeniu żelaza na dnie naczynia znalazł znikomo małe, bo zaledwie 0,7 mm długości diamenty, podobne do tych, jakie znalazł poprzednio (1886) chemik rosyjski P. Łaczinow w wielkim meteorycie, który spadł w r. 1886 w Rosji, w guberni penzeńskiej. Pomyślny wynik Moissana odbił się głośnym echem w prasie.

Mniej znane od prób Moissana są wcześniejsze doświadczenia chemika angielskiego J. B. Hannaya, który w latach 1879—1880 pracował w swym prywatnym laboratorium w Glasgow nad syntezą diamentu. Hannay ogrzewał w zatopionych rurach żelaznych metale: lit,

sód lub potas z olejem parafinowym i olejem kostnym. Grubościenne rury, wiercone w metalu jak lufy armatnie, zatopione na końcach, ogrzewał w piecu do czerwonego żaru przez kilkanaście godzin. Po ostrożnym otwarciu rury wydzielaly się wielkie ilości gazów; w pozostałości zaś, przypominającej masę węglową, H a n n a y spodziewał się obecności diamentów. Po kilku nieudanych próbach H a n n a y otrzymał wreszcie drobne kryształki o własnościach diamentu. Odtąd przeprowadzał on próbę po próbie. Kosztowne rury stalowe miękły, pękały lub wybuchały pod ciśnieniem gazów. Piec kilka razy został rozbity eksplozjami. Pracownicy H a n n a y a, niejednokrotnie ranni, ryzykowali życie. H a n n a y wyczerpany nerwowo ciągłymi niepowodzeniami, straciwszy na doświadczeniach cały majątek, zmuszony był je przerwać. W ciągu dwu lat przeprowadził 80 doświadczeń, z których tylko trzy się udały. Część otrzymanych maleńkich kryształków H a n n a y przesłał do zbadania ekspertom British Museum, którzy uznali je za diament.

W r. 1892 M o i s s a n opracował ekonomiczną metodę otrzymywania karbidu z tlenku wapniowego i koksu w piecu elektrycznym własnej konstrukcji, przez co utorował drogę do taniego źródła acetylenu. Acetylen odgrywał kiedyś ważną rolę jako gaz oświetleniowy, który spalano w wąskich, szczelinowych palnikach. Oświetleniowa rola acetylenu skończyła się z momentem wynalezienia siatek żarowych K. Auera. Przez pewien czas wydawało się, że acetylen zwołna straci zupełnie znaczenie wobec wprowadzenia na coraz szerszą skalę spawania elektrycznego. Z początkiem jednak XX wieku, nie mówiąc o latach ostatnich, rozpoczął się stopniowy nawrót do acetylenu, w którym odkryto surowiec chemiczny dający rozległe możliwości wielorakich syntez. Nawrót ten przerodził się wkrótce w renesans acetylenu, który stał się ważnym surowcem wielkiego przemysłu organicznego, chociażby tylko wymienić syntezę aldehydu i kwasu octowego, acetonu, gliceryny, trójchloroetylenu, kwasu chlorooctowego czy też przeróżnych tworzyw sztucznych.

Oprócz karbidu M o i s s a n otrzymał i inne węgliki, jak np. węglik boru, cyrkonu i niklu. Posługując się piecem elektrycznym udało mu się w r. 1893 stopić większe ilości krzemionki, dzięki czemu utorował drogę do technicznego otrzymywania szkła kwarcowego, stosowanego później w coraz to większej ilości do wyrobu naczyń używanych w laboratoriach chemicznych. Znacznie wcześniej, bo w r. 1865, uczony francuski M. A. A. G a u d i n stopił kwarc w płomieniu dmuchawki wodorowej i otrzymał prawdziwe szkło kwarcowe.

Piec elektryczny M o i s s a n a oddał wielkie usługi zarówno w pracach laboratoryjnych, jak i przemysłowych. Dużym sukcesem było otrzymanie węgliku krzemu przez E. G. A c h e s o n a w r. 1895. Otrzymał go przez ogrzewanie węgla z gliną w łuku elektrycznym i nazwał „Carborundum“, gdyż uważał otrzymany produkt za połączenie węgla z korundem. Wprawdzie w niedługim czasie pomyłka została wyjaśniona, nazwa jednak do dnia dzisiejszego się utrzymała.

Podobnie w dalszych swych doświadczeniach M o i s s a n stwierdził, że krzemionka w wysokiej temperaturze reaguje z innymi pierwiastkami, szczególnie metalicznymi, dając odpowiednie krzemki, podobne do węglików metali. Krzemki te, zwłaszcza magnezu, wyżyłkał następnie chemik niemiecki Alfred S t o c k do otrzymywania krzemowodorów (np. SiH_4 , Si_2H_6) działając na nie kwasem solnym. W r. 1894 M o i s s a n

podał metodę otrzymywania metanu z węgla glinowego i wody. W dalszych rozległych badaniach uczony ten wykazał, że także węgliki innych metali, jak toru, berylu, uranu i manganu, pod wpływem wody wydzielają metan a także nieznaczne ilości acetyleny i etyleny. Opierając się na tym bogatym materiale doświadczalnym, Moissan był zwolennikiem hipotezy D. Mendelejewa i M. Berthelota o nieorganicznym pochodzeniu ropy naftowej. W r. 1896 wspólnie z innym chemikiem francuskim, Ch. Moureu (1863—1929), wykazał, że acetylen ulega polimeryzacji dając obok benzenu i jego homologów także wodór i węgiel.

Osobnym zagadnieniem, które Moissan w wielu wypadkach rozwiązał — to sprawa techniki otrzymywania metali. W r. 1899 opracował metodę otrzymywania sodu metalicznego przez redukcję chlorku sodowego za pomocą wapnia w temperaturze czerwonego żaru. Prócz tego opracował metodę otrzymywania innych metali, jak np. uranu, molibden, wanadu i chromu. Żywo też interesował się problemem otrzymywania czystego argonu z powietrza. W tym celu zastosował metaliczny wapń do wiązania azotu, który w wyższej temperaturze tworzy z nim azotek wapniowy, podobnie jak to daje magnez, zastosowany do tego samego celu przez M. Bodensteina (1871—1942).

W pogoni za wyodrębnieniem wolnych rodników Moissan usiłował otrzymać rodnik amonowy NH_4 , który był od dawna bezskutecznie poszukiwany przez chemików. Dosyć trwałą amalgamat amonu otrzymał on przez elektrolizę roztworu chlorku amonowego w ciekłym amoniaku w temperaturze -35° przy zastosowaniu rtęci jako katody. Znacznie trwalsze od wolnego rodnika amonowego są jego pochodne metaliczne otrzymane przez chemika francuskiego J. A. Joannisa. Badacz ten otrzymał je działając potasowcami na ciekły, bezwodny amoniak, w wyniku czego otrzymał: NH_3Li , NH_3Na i NH_3K . Pochodne te jednak już przy nieznacznym podniesieniu temperatury rozkładają się na wolny amoniak i odpowiedni metal. Ze związków tego typu Moissan otrzymał jednometaliczne acetylenki o wzorach: CHCNa , CHCCs i CHCRb .

Henryk Moissan odznaczał się wyjątkowymi zaletami charakteru. Skromny niemal do przesady uważał za cel swego życia pracę naukową, której starał się wszystko podporządkować. Bezinteresowne umiłowanie dociekań i badań naukowych cechowało całą jego twórczość badawczą. Jego zasługi z dziedziny odkryć i wynalazków zostały należycie ocenione. Był on członkiem niemal wszystkich towarzystw chemicznych i pokrewnych w całym świecie, w r. 1906 zaś Szwedzka Akademia Nauk przyznała mu najwyższą nagrodę — nagrodę Nobla.

W lutym 1907 r. Moissan zachorował na zapalenie wyrostka robaczkowego. Gdy atak, po przejściowej poprawie, powtórzył się po raz drugi, poddał się operacji. Operacja się udała, nastąpiło jednak osłabienie czynności serca tak dalece, że kilka miesięcy później Moissan zakończył swe pracowite życie.

ENERGIA JĄDROWA A ASTRONAUTYKA

Nikt dziś poważnie nie zaprzecza możliwości realizacji podróży kosmicznych. Wiadomo również, że jedynym napędem, jaki umożliwi podbój przestrzeni międzyplanetarnych, a w dalszej przyszłości — międzygwiazdnych, jest napęd raketowy. On bowiem jedynie jest niezależny od atmosfery, dzięki czemu silnik działać może nawet w pustce kosmicznej, i on pozwala na osiągnięcie owych fantastycznych szybkości, koniecznych do praktycznej realizacji podróży na inne ciała niebieskie.

Uzyskanie takich szybkości, wynoszących co najmniej ponad 11 km/sek, tuż przy powierzchni ziemi wiąże się nieodłącznie z problemem wydatkowania ogromnych ilości energii. Opuszczenie Ziemi jest możliwe jedynie w tym wypadku, gdy ilość energii, przypadająca na każdy gram masy rakiety, jest większa od pewnego minimum, wynoszącego dla zwykłej podróży na Księżyc bez możliwości powrotu — 15 tysięcy kalorii/g ma-

Tablica I

Ciepła spalania paliw raketowych, chemicznych, najbardziej zasobnych w energię i zapotrzebowanie energii w podróży na księżyc

	ciepło spalania mieszaniny cal/g	ilość energii przy- padająca na 1 g masy rakiety cal/g
alkohol etylowy + tlen	2270	ok. 1700*
benzyna + ozon	3000	ok. 2250*
wodór + fluor	3200	ok. 2400*
wodór + tlen	3210	ok. 2400*
borowodory** + tlen	ok. 4400***	ok. 3000*
borowodory** + ozon	ok. 5000***	ok. 3750*
podróż na Księżyc (bez hamowania przy upadku na jego powierzchnię)	—	15000
podróż na Księżyc i z powrotem na Zie- mię, z uwzględnieniem lądowania na obu ciałach niebieskich		ok. 50000

* jeśli stosunek masy rakiety w chwili startu do masy rakiety po wyczerpaniu paliwa wynosi ok. 4 (podobnie jak w raketach Viking)

** tzw. „zip-fuels”

*** przy założeniu wartości opałowej ok. 18000 kcal/kg

sy. Rzut oka na tabl. 1 pozwala bez trudu na zorientowanie się, że najlepsze paliwa chemiczne nie mogą sprostać takiemu zadaniu. Istnieje wprawdzie możliwość konstruowania tzw. rakiet wielostopniowych. W takim wypadku mamy do czynienia z zespołem rakiet połączonych ze sobą w jedną całość. W pierwszej fazie lotu działa silnik najniższej rakiety. Po zużyciu paliwa rakietą ta odpada, a uruchomiony zostaje silnik następnej z kolei rakiety itd. Dzięki temu kolejne stopnie, z wyjątkiem podstawowego, startują nie z prędkością zerową, ale z pewnymi dużymi prędkościami początkowymi — prędkości te kolejno dodają się do siebie.

Obliczenia wykazują, że rakiety wielostopniowe na paliwo chemiczne są zdolne do opuszczenia Ziemi i do osiągnięcia najbliższych ciał niebieskich, a z całą pewnością Księżyca. Masy tych rakiet, wynoszące w chwili startu wiele tysięcy ton, wydają się jednak nierealne zarówno z punktu widzenia konstrukcji mechanicznej, jak i możliwości finansowych największych nawet państw.

Na szczęście, w ostatnich latach uzyskaliśmy nowe źródło energii, której dostarcza wnętrze jąder atomowych. Ta właśnie energia ma dla astronautyki znaczenie zasadnicze. Jej bowiem stężenie, a więc ilość tej energii przypadająca na gram masy, jest znacznie większe niż w paliwach chemicznych (p. tabl. 2). Dlatego energia jądrowa nie tylko pozwoli na

Tablica 2

Stężenie energii zawartej w różnych paliwach

benzyna (oktan) z tlenem	$2,4 \cdot 10^3$	kcal/kg
uran (rozszczepienie całkowite)	$1,7 \cdot 10^{10}$	„ „
izotopy wodoru* (reakcje termojądrowe)	$2,3 \cdot 10^{10} - 1,1 \cdot 10^{11}$	„ „

* Prot H, deuter D i tryt T.

wykonywanie regularnych lotów kosmicznych, lecz również umożliwi przeprowadzanie ich z odpowiednio wielkimi prędkościami. Dzięki temu podróże na sąsiednie planety trwać będą nie lata, a jedynie miesiące. Z punktu widzenia odporności psychicznej człowieka problem ten ma znaczenie zasadnicze.

ŹRÓDŁO ENERGII JĄDROWEJ

Jedynym obecnie dostępnym źródłem energii jądrowej jest rozszczepienie ciężkich jąder — uranu czy plutonu. Praktyczna realizacja tego procesu zachodzi w urządzeniach zwanych reaktorami jądrowymi.

Nawet pobieżne obliczenia wykazują, że reaktory takie będą nadawać się do napędu wielkich jedynie rakiet, o masach przekraczających 100 ton. Zgodnie z oceną prof. Hsue-Szen Tsien a moce tych urządzeń muszą wynosić co najmniej 10^5 megawatów. Warto zaznaczyć, że moce największych reaktorów przemysłowych osiągają obecnie 10^3 megawatów.

Co więcej, dla uzyskania rozsądnej sprawności termodynamicznej trzeba pracować w obszarze temperatur znacznie wyższych od dotychczas stosowanych. Osobiście sędzę, że obszar ten dla rakiet kosmicznych zawarty jest w granicach od 2500° do 3500° . W związku z tym wyłania się

pilna potrzeba opracowania nowych materiałów konstrukcyjnych, odpornych na działanie wysokich temperatur oraz promieniowań jądrowych. W grę wchodzi w szczególności węgliki (węglik tytanu), tlenki itp.

Sama konstrukcja reaktora napędowego musi być zwarta, zajmować mało miejsca. Dlatego największe prawdopodobnie znaczenie zdobędą w astronautyce reaktory prężne, czyli wykorzystujące neutrony prężne. W urządzeniach takich paliwem jest, jak wiadomo, czysty izotop U-235 czy U-233 lub Pu-239, a brak spowalniacza. Dzięki temu masa reaktora, bez osłon, dla wspomnianych mocy nie będzie większa od kilku ton.

Nie można oczywiście wykluczyć zastosowania reaktorów termicznych, w których wykorzystuje się neutrony ciepłe. Masy tych urządzeń będą, niestety, znacznie większe niż odpowiednich reaktorów prężnych o takiej samej mocy. Reaktory termiczne są jednak znacznie lepiej znane od wszelkich innych typów, prostsze i bezpieczniejsze w działaniu.

Wszystkie te urządzenia wymagają, niestety, stosowania osłon biologicznych, chroniących istoty żywe przed promieniowaniami jądrowymi. Zgodnie z różnymi ocenami masa tych osłon nie może być mniejsza od 50 ton.

Należy również pamiętać o samozatrutowaniu się paliwa jądrowego produktami rozszczepienia, nagromadzającymi się w miarę upływu czasu. Produkty te wychwytyją bowiem neutrony potrzebne do podtrzymania reakcji łańcuchowej rozszczepienia i zmniejszają aktualną moc reaktora.

Praktyczne ilości energii można jednak wyzwolić nie tylko podczas procesu rozszczepienia najcięższych jąder atomowych, ale również w czasie łączenia najlżejszych. Żeby takie łączenie urzeczywistnić, trzeba jądro (które silnie się przecież odpycha na skutek zawartości jednoimiennych, dodatnich ładunków elektrycznych) nadać odpowiednio wielką energię kinetyczną. Energię taką uzyskują one po nadaniu im odpowiednio dużej prędkości, a więc np. po ogrzaniu do temperatury wielu milionów stopni. Przeprowadzenie reakcji łączenia jąder np. deuteru na skalę praktyczną wymaga temperatury wyższej od 100 milionów stopni. Dlatego reakcje takie nazywamy termojądrowymi.

Na razie realizacja reakcji termojądrowych na skalę praktyczną zachodzi jedynie w czasie wybuchów bomb wodorowych.

W Stanach Zjednoczonych, w Wielkiej Brytanii i w Związku Radzieckim prowadzi się jednak intensywne badania nad możliwością przeprowadzania kontrolowanych reakcji termojądrowych, w czasie których energia wyzwalałaby się w sposób zależny od woli człowieka¹. Zasadniczą trudność stanowi wytworzenie i podtrzymanie dostatecznie wysokiej temperatury bez zniszczenia komory reakcyjnej oraz realizacja reakcji łańcuchowej termojądrowej w tych warunkach.

Zgodnie z oceną prof. Bhabhy, budowa działającego reaktora termojądrowego jest sprawą najbliższych 13 lat. W urządzeniu tym wykorzystywać się będzie przede wszystkim izotopy wodoru, w szczególności deuter i tryt oraz, być może, lit. Reaktor taki wymagać będzie praw-

¹ Szczegóły — p. seria artykułów I. W. Kurczatowa i in. w *Atomnaja Energia* 1, 65-106 (1956) oraz opracowanie monograficzne R. F. Posta w *Reviews of Modern Physics* 28, 338-362 (1956).

dopodobnie dość dużego wyposażenia pomocniczego, takiego jak elektromagnesy, zespoły pomp, zbiorniki paliwa jądrowego. Dlatego też nadebrać się on będzie jedynie do napędu wielkich raket, których masa, podobnie jak w wypadku reaktorów jądrowych, przekraczać będzie 100 ton. Również ocena koniecznych mocy napędowych pozostaje taka sama jak dla reaktorów jądrowych. Moce te wynosić będą setki tysięcy megawatów.

Jest rzeczą oczywistą, że chociaż w małym obszarze samej reakcji termojądrowej temperatura osiągnie co najmniej dziesiątki milionów stopni, mieszanina gazów wylotowych uzyska temperaturę znacznie niższą. Podobnie jak w wypadku reaktorów jądrowych jako wartości użytkowe należy przyjąć przedział 2500° do 3500°. Ze sprawą tą wiąże się więc znów konieczność opracowania nowych materiałów żaroodpornych.

W wypadku stosowania deuteru i trytu należy liczyć się z intensywnym promieniowaniem neutronowym. Wymaga to znów stosowania ciężkich osłon biologicznych, o masie rzędu co najmniej 50 ton. Trudności tej można by uniknąć stosując jako paliwo izotop He-3. Wtedy jednak minimalna temperatura, potrzebna do zapoczątkowania i podtrzymania reakcji, jest znacznie wyższa od 100 milionów stopni.

Tablica 3
Typy rakiet o napędzie jądrowym

Typ	Rodzaj	Sposób wykorzystania energii jądrowej
rozszczeniowe	1. jądrowe cieplne	wykorzystują energię pod postacią ciepła do rozpędzania masy odrzutowej — strumienia gazów
	2. jonowe	wykorzystują energię do rozpędzania masy odrzutowej — wiązki jonów
	3. proste jądrowe	wykorzystują energię rozpędzonych produktów reakcji jako masy odrzutowej
termojądrowe	1. jądrowe cieplne	jw.
	2. jonowe	jw.
	3. proste jądrowe	jw.
	4. fotonowe: a) diabatyyczne	wykorzystują jedynie część energii, zawartej w paliwie, do wytwarzania strumienia fotonów jako masy odrzutowej
	b) adiabatyczne	wykorzystują całą energię, zawartą w paliwie, do wytwarzania strumienia fotonów jako masy odrzutowej.

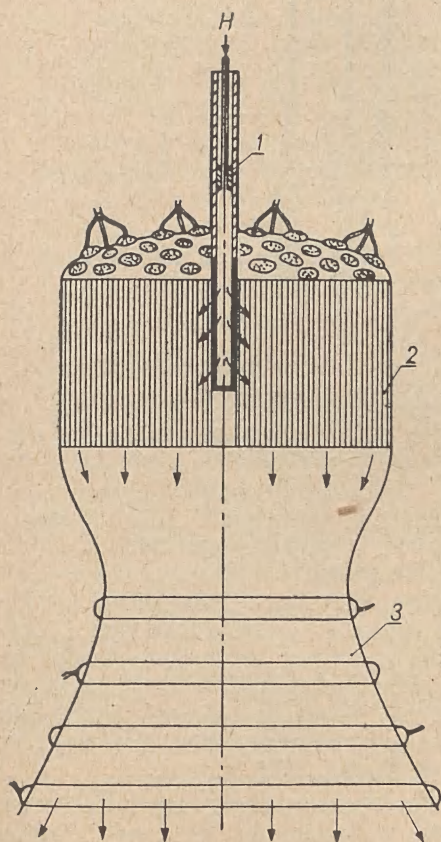
Zgodnie z oceną Amerykańskiej Komisji Energii Atomowej reaktory termojądrowe odznaczać się będą wrodzonym bezpieczeństwem działania, zarówno ze względu na nieznaczną ilość paliwa w samej komorze reakcyjnej, jak i z uwagi na brak promieniotwórczych produktów reakcji (przeciwnie niż w reaktorach jądrowych z materiałem rozszczepialnym).

DROGI REALIZACJI NAPĘDU JĄDROWEGO RAKIET

Jakkolwiek rakiety o napędzie jądrowym nie zostały dotychczas zrealizowane, ogłoszono już wiele prac teoretycznych na ten temat. Na podstawie tych prac można już sobie wyrobić pewien pogląd na przyszłe drogi rozwojowe tych rakiet. Wszelkie teoretycznie możliwe ich typy zostały zebrane w tabl. 3.

RAKIETY ROZSZCZEPIONIOWE

Najprostszym sposobem realizacji rakiety jądrowej wydaje się w chwili obecnej wykorzystanie w jej silniku klasycznego reaktora na neutrony termiczne. W reaktorze takim szybkość rozszczepiania paliwa regulowana jest wygodnie za pomocą zespołu odpowiednich prętów ste-



Rys. 1. Schematyczny przekrój przez tylną część rakiety jądrowej ciepłej (rozszczepieniowej) wg projektu prof. Hsue-Szen Tsiena (wg Coodman, *The Science and Engineering of Nuclear Power*, str. 185, rys. 11-5)

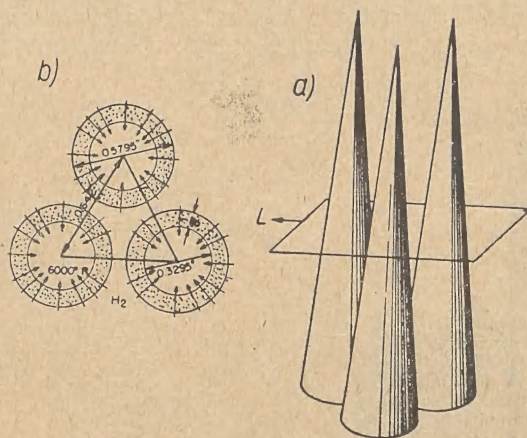
1 — pręt sterujący, którego wnętrzem płynie chłodziwo — gazowy wodór H_2 (strzałki wskazują kierunek przepływu gazu).

2 — reaktor jądrowy

3 — dysza wylotowa

rujących. Cały materiał rozszczepialny znajduje się stale w „komorze spalania”. Regulacji podlega jedynie szybkość „spalania”. Wytworzone ciepło zostaje przekazane odpowiedniemu płynowi roboczemu, który w tym wypadku stanowi masę odrzutową rakiety.

Z istniejących obecnie bardzo wielu projektów koncepcyjnych rakiet z reaktorami jądrowymi, opracowanych przez prof. Ducroq'a (Francja), dra Shelperda i Cleavera (Wielka Brytania), prof. Alvareza (USA), prof. Hsue-Szen Tsiena (obecnie Chiny), ostatni wyróżnia się pod względem technicznym. W rakiecie proponowanej przez uczonego chińskiego masę odrzutową stanowi wodór. Zgodnie z prawem zachowania pędu jego atomy, jako posiadające najmniejszą masę ze wszystkich atomów w ogóle, uzyskują największą prędkość wylotową. Wodór ten wnika do reaktora, umieszczonego w tylnej części statku, przez rurę kadmową, stanowiącą jeden z prętów sterujących. Rura zaopatrzona jest w ogromną ilość porów, którymi wodór przedostaje się do wnętrza reaktora. Po odebraniu pewnej ilości



Rys. 2. Szczegół wewnętrznej budowy reaktora z rys. 1.: stożkowe rury uranowo-grafitowe o porowatych ściankach: a. widok ogólny kilku sąsiadujących rur; b. przekrój sąsiadujących rur w płaszczyźnie L wg. jw. — rys. 11-6).

ciepła gorący strumień tego gazu wypływa do dyszy wylotowej, a stamtąd wylatuje na zewnątrz, nadając rakiecie potężny odrzut.

Sam reaktor składa się z wielu stożkowatych rur o porowatych ściankach. Ścianki te wykonane są z węgliku uranu, zawierającego uran i węgiel w odpowiednim stosunku (uran stanowi paliwo, a węgiel — spowalniacz). Grubość ścianek wynosi około 3 mm. Dzięki porowatości, a zatem dzięki ogromnej powierzchni wewnętrznej reaktora wodór może skutecznie odbierać ciepło wyzwalane w reakcji rozszczepienia. We wnętrzu stożkowatych rur osiąga on temperaturę bliską 3000 stopni.

Najważniejsze dane charakterystyczne rakiety prof. Hsue-Szen Tsiena dla paliw o różnym stopniu wzbogacenia w rzadki izotop U-235 zestawione zostały w tabl. 4.

Tablica 4

Porównanie danych charakterystycznych rakiety jądrowej cieplnej prof. Hsue-Szen Tsiena z danymi rakiety A-4(V-2)

		A4 (V-2)	Rakiety jądrowe	
			U-235:U-238=1:10	U-235:U-238= = 1:1
masa całkowita	t	12,7	1560	751
masa reaktora	t	—	33,6	16,3
masa paliwa	t	8,75 (tlen + alkohol)	0,59 (uran)	0,17 (uran)
masa odrzutowa	t	8,75 (gazy spalinowe)	1246 (wodór)	601 (wodór)
prędkość wylotowa gazów	km/sek	2,1	7,4	—
prędkość końcowa rakiety	km/sek	1,56	8,4	8,4
moc reaktora	MW	—	1,6.105	7,7.104

Jak widać, przytoczone dane odnoszą się do rakiet, które mogłyby się stać sztucznymi satelitami Ziemi. Nie byłyby one jednak zdolne nawet do jednokierunkowego lotu na Księżyc, gdyż w tym wypadku najmniejsza prędkość, jaką musi uzyskać statek, aby pokonać pole grawitacyjne naszej planety, wynosi 11,2 km/sek blisko powierzchni naszej planety.

Z tabl. 4 wynika również, że wielkość krytyczna rakiety kosmiczowej z reaktorem jądrowym byłaby dość znaczna. Redukcja koniecznej masy odrzutowej mogłaby nastąpić jedynie w tym wypadku, gdyby zmniejszyć masę pozostałych części rakiety, przede wszystkim — reaktora. Mogłoby to nastąpić dzięki zastosowaniu paliwa jądrowego znacznie wzbogaconego w materiał rozszczepialny, np. uranu w izotop U-235. W tym wypadku zwiększyłoby się prawdopodobieństwo schwytania neutronów swobodnych przez jądra rozszczepialne ze względu na znaczniejsze ich stężenie w paliwie.

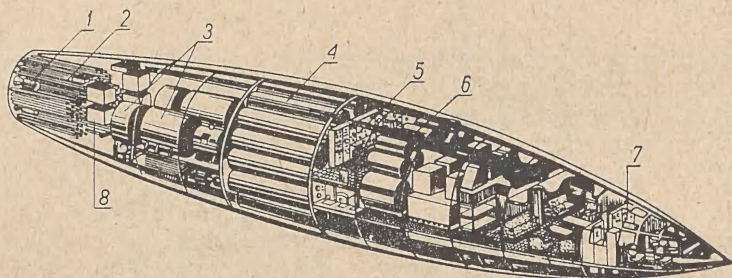
Skuteczne wykorzystanie tych neutronów w reaktorze zależy również od rozmiarów pasożytniczego wychwyty przez materiały reaktora. Prawdopodobieństwo takiego wychwyty maleje w miarę wzrostu prędkości neutronów. Dlatego najbardziej opłacalne jest wykorzystywanie neutronów prędkich. Zagadnienie redukcji rozmiarów reaktora i jego masy łączy się więc nieodłącznie z problemem zastosowania reaktorów prędkich lub przynajmniej — pośrednich.

Można ocenić, że na tej drodze uda się zmniejszenie masy rakiety do około 200 ton. Jest to wielkość, z którą inżynierowie-konstruktorzy będą mogli bez trudu zgodzić się w niedalekiej już przyszłości. Przy masie wodoru rzędu 160 ton i średnicy rakiety 10 metrów, długość jej wyniesie tylko około 40 metrów.

W rakietach jonowych masę odrzutową stanowią jony. Dla nadania rakiecie dostatecznie dużej siły ciągu konieczne jest, by jony miały możliwie wielką masę i dostatecznie dużą prędkość. Prędkość tę muszą one uzyskać kosztem energii odpowiednich pól elektrycznych, wytwarzanych w znanych fizykom urządzeniach — akceleratorach. Do napędu rakiet szczególnie nadają się tzw. akceleratory liniowe — rury, których wnętrzem przelatują jony, nabierając stopniowo coraz większej prędkości.

Do wytwarzania jonów, a zwłaszcza do ich przyspieszania konieczne jest źródło poważnej energii. W niezbyt wielkich odległościach od gwiazd, np. w obrębie części naszego układu planetarnego, sięgającego aż po orbitę Marsa, źródłem takim może być promieniowanie słoneczne. W dalszych jednak podróżach kosmicznych, a zwłaszcza w lotach do krańców układu słonecznego, rakieta zdana będzie na własne zasoby energii.

W tym wypadku szczególnie cenne okażą się różne źródła energii jądrowej. Istnieje obecnie bardzo wiele koncepcji wykorzystania reaktorów w rakietach o napędzie jonowym, zarówno na bardzo okólnej drodze pośredniej, jak i bezpośrednio. D. C. Romick (USA) proponuje np. konstrukcję rakiety zaopatrzonej w elektrownię jądrową o mocy



Rys. 3. Szkic rakiety jonowej D.C. Romicka (wg „Bericht über den V. Internationalen Astronautischen Kongress“, str. 99, rys. 9)

- 1 — silniki rakietowe, pomocnicze
- 2 — akceleratory liniowe
- 3 — elektrownia
- 4 — paliwo pomocnicze
- 5 — rozdzielnia
- 6 — magazyny
- 7 — kabiny pasażerskie i pracownie
- 8 — reaktory jądrowe

około 1200 megawatów. Uzyskana energia elektryczna służyłaby do wytwarzania i przyspieszania jonów azotu, które wylatywałyby z dyszy rakiety z prędkością 620 km/sek. Dane charakterystyczne tej rakiety zostały podane w tabl. 5.

Rakieta Romicka byłaby zdolna do odbycia podróży na Jowisza i z powrotem w ciągu niecałych 3 lat.

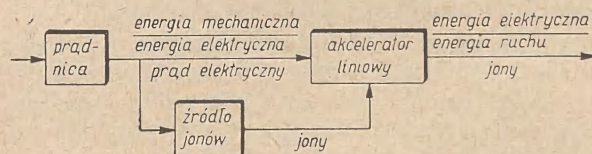
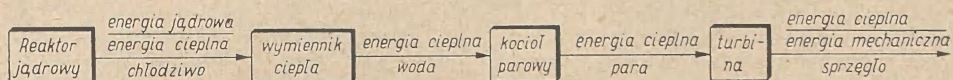
Gdyby udało się poważnie zmniejszyć kłopotliwą masę silnika, wówczas oczywiście statek o napędzie jonowym mógłby osiągnąć nawet 10-krotnie większe prędkości. Przy zastosowaniu silnika o takiej samej mocy jak w rakiecie Romicka trzeba by było zabrać wtedy odpowiednio większy zapas masy odrzutowej i paliwa, ale rozpędzanie do prędkości

Tablica 5

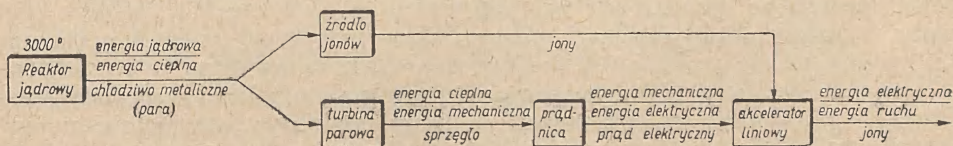
Dane charakterystyczne rakiety jądrowej jonowej dra Romicka

masa całkowita rakiety t	1000
w tym: silnik t	818
(reaktor, akcelerator i urządzenia pomocnicze)	
paliwo (uran) t	ok. 2
masa odrzutowa (azot) t	70
moc cieplna reaktora MW	1200
moc łączna akceleratorów liniowych i źródeł jonów MW	270
ilość łączna akceleratorów liniowych w wiązce szt.	5000
natężenie strumienia jonów A	0,5 A : 5000 = 2500
prędkość wylotowa jonów km/sek	620
prędkość końcowa rakiety km/sek	21

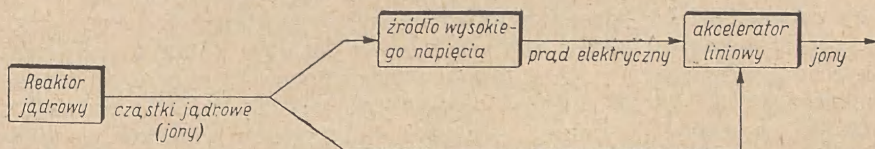
maksymalnej i cała podróż trwałaby kilkadziesiąt lat. Taka byłaby cena za możliwość osiągnięcia dalekich krańców naszego układu słonecznego — orbit Neptuna czy Plutona. Jedyne znaczne zwiększenie mocy silnika, bez wydatnego zwiększenia jego masy, pozwoliłoby na uzyskanie wspomnianych wielkich prędkości w rozsądnym okresie niewiele lat. Wtedy właśnie loty do kresu naszego układu planetarnego mogłyby stać się rzeczywistością.



a. metoda pośrednia



b. uproszczona metoda pośrednia



c. metoda bezpośrednia

Rys. 4. Schematy wykorzystania energii jądrowej do napędu jonowej rakiet

Zmniejszenie masy silnika musiałoby nastąpić na drodze uproszczenia konstrukcji. Pierwszym krokiem w tym kierunku byłoby wyeliminowanie wymiennika ciepła i obiegu wodnego. Chłodziwo metaliczne za-

mieniałoby się w reaktorze od razu w parę, która napędzałaby turbiny elektrowni. To samo gorące chłodziwo, o temperaturze wyższej od 1000 stopni, byłoby wykorzystywane do jonizacji atomów masy odrzutowej na drodze termicznej.

Dalsze uproszczenia polegałyby na bezpośredniej jonizacji i chłodziwa w reaktorze. Otrzymany strumień jonów mógłby częściowo być wyzyskany do zasilania akceleratorów, a częściowo — jako masa odrzutowa — przyspieszana w tych akceleratorach.

W skrajnym wreszcie wypadku samo paliwo jądrowe mogłoby być źródłem jonów (w czasie reakcji jądrowych materia występuje przecież w postaci zjonizowanej), które służyłyby do zasilania akceleratorów i stanowiłyby jednocześnie masę odrzutową. Statki z takim napędem stanowiłyby typ przejściowy, bardzo zbliżony już do prostszych rakiet jądrowych.

*
* *

Najprostszym, ale jednocześnie skrajnym sposobem wykorzystania energii jądrowej do napędu rakiet wydaje się wyzyskanie nagłych procesów jądrowych, takich jak lawinowe rozszczepienie ciężkich jąder. Przy tego rodzaju przemianach prędkość produktów reakcji zbliża się do prędkości światła. Zgodnie z wzorem Einsteina mamy wówczas do czynienia z relatywistycznym przyrostem masy. Teoria rakiet przybiera wtedy postać inną od klasycznej, a jej równania stają się bardziej skomplikowane. Opracował ją znany fizyk szwajcarski — A c k e r e t.

Niestety, żadne ciało materialne, a zatem i cząstki jądrowe nie mogą poruszać się z prędkością światła. Zgodnie z wzorem Einsteina masa ich musiałaby wtedy wzrosnąć nieskończenie. W praktyce więc prędkość cząstek zawsze będzie mniejsza od prędkości światła. Co więcej, do napędu będzie można wyzyskać jedynie ułamek energii zmagazynowanej w paliwie. Załóżmy, że ułamek ten równoważny jest 5‰ masy początkowej paliwa. Z wzorów Ackereta wynika, iż maksymalna prędkość rakiety wyniesie około 48 000 km/sek. Ilość wyzwalanej energii przewyższa jednak wtedy prawie 500 tysięcy razy ilość wyzwalaną w czasie procesów chemicznych. W takim samym stosunku musiałaby wzrosnąć temperatura w silniku w porównaniu z temperaturami panującymi w komorze spalania współczesnych rakiet. Ze względu na stosowane materiały konstrukcyjne jest to oczywiście zupełną niemożliwością.

Gdyby nawet, dzięki jakimś nadzwyczajnym rozwiązaniom konstrukcyjnym, udało się zwiększyć temperaturę w silniku rakiety jądrowej 10-krotnie w porównaniu z dotychczas stosowanymi, to wówczas stosunek mas rakiety w chwili startu i rakiety po zużyciu paliwa musiałby wzrosnąć do zupełnie nierealnej wartości 400 tysięcy! Zgodnie z wzorami Ackereta prędkość końcowa osiągnęłaby wtedy zaledwie 1/40 wartości optymalnej. Istnieje więc konieczność szukania rozwiązania na innej drodze.

Jeśli jednak w dalekiej przyszłości uda się techniczna realizacja prostych rakiet jądrowych, staną się one jednym z najdoskonalszych typów statków kosmicznych. Będą one mogły bowiem uzyskiwać prędkości rzędu tysięcy i dziesiątków tysięcy kilometrów na sekundę. To z kolei

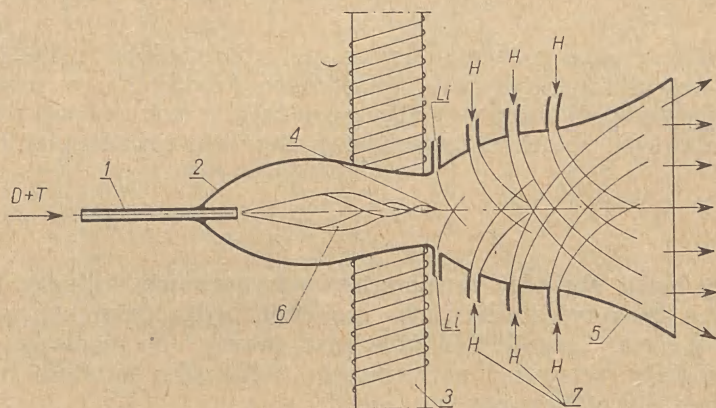
pozwoły na przemierzanie naszego układu słonecznego w ciągu niewielu dni. Pomimo znacznych strat masy odrzutowej rakiety takie nadawałyby się również do komunikacji międzygwiazdnej.

NAPĘD TERMOJĄDROWY RAKIET

Ilość energii wyzwalaanej w reakcjach termojądrowych jest kilkakrotnie większa, przy danej masie paliwa, niż w przypadku rozszczepiania ciężkich jąder. Fakt ten pozwala rokować nadzieje na dalsze zmniejszenie rozmiarów i masy rakiet w porównaniu z rakietami rozszczepieniowymi. Trudno w chwili obecnej podać jakieś **k o n k r e t n e** pomysły takich statków. Niemniej jednak można snuć bardzo ogólnikowe projekty rakiet termojądrowych.

Osobiście jestem przekonany, że rakiety takie będą znacznie prostsze i tańsze od rozszczepieniowych. One to właśnie otworzą przed nami szlaki kosmiczne, zastępując zasłużone, ale mało praktyczne rakiety chemiczne. Statki tego rodzaju będą zdolne do odbywania podróży aż po krańce naszego układu słonecznego, a nawet (rakiety fotonowe) — do dalekich gwiazd.

W rakietach termojądrowych cieplnych, podobnie jak w analogicznych rakietach rozszczepieniowych, masę odrzutową stanowiłyby zwykły wodor. Gaz ten byłby ogrzewany przez ciepło wyzwalaane w czasie reakcji termojądrowych w reaktorze. Reaktor taki byłby więc zasadniczą częścią silnika statku. Można sobie, w naiwny zresztą sposób, wyobrazić wewnętrzną jego budowę. Do kontroli reakcji wykorzystywałoby się



Rys. 5. Schemat reaktora termojądrowego z zapłonem elektrycznym, do napędu rakiet

- 1 — rurka metalowa, doprowadzająca mieszaninę deuteru (D) z trytem (T), stanowiąca jednocześnie jedną z elektrod
- 2 — komora reakcyjna
- 3 — bieguny elektromagnesu
- 4 — druga elektroda — zawieszina sproszkowanego litu (Li)
- 5 — dysza wylotowa
- 6 — paliwo, w którym przebiega reakcja termojądrowa, skręcone pod wpływem pola magnetycznego elektromagnesu w sznurek
- 7 — wloty wodoru zwykłego (H)

zewewnętrzne pole magnetyczne, które przeciwdziałałoby ekspansji reagującej plazmy².

Zasadnicza część takiego reaktora termojądrowego, komora reakcyjna, musi się więc znajdować między biegunami potężnego elektromagnesu. Do komory nieustannie doprowadza się mieszaninę paliwa: gazowych izotopów wodoru — trytu T i deuteru D. Mieszanina wlatuje przez rurę metalową, która stanowi jednocześnie jedną z elektrod. Druga elektroda potrzebna jest jedynie do zapoczątkowania reakcji termojądrowej. Elektrode tę wytwarza się w razie potrzeby, wdmuchując do przeciwnieległego wylotu komory reakcyjnej zawieszinę sproszkowanego metalu — litu Li.

Do obu elektrod przykładana się napięcie, dzięki któremu przez strumień gazowego paliwa przepływa potężny prąd elektryczny o natężeniu wielu milionów amperów. Strumień ogrzewa się do kilkudziesięciu milionów stopni. W tych warunkach nie istnieją już atomy, a jedynie mieszanina jąder i elektronów — plazma. Jądra reagują ze sobą — z wodoru tworzy się hel i wyzwala się ogromna ilość energii.

Z tą chwilą dalszy zewnętrzny zapłon elektryczny staje się zbędny. W rozpalonej plazmie reagują coraz to nowe, świeżo nadpływające porcje paliwa. Utworzony hel, wraz z pewną ilością nie zużytego deuteru i trytu, wpada do dyszy wylotowej. Tam gorące gazy mieszają się ze zwykłym wodorem. Cała ta mieszanina wylatuje dyszą na zewnątrz nadając rakiiecie potężny odrzut.

*
* *

Oczywiście reaktory termojądrowe, po odpowiednim przystosowaniu, można by również wykorzystać w raketach jonowych i w prostych raketach jądrowych. W tym wypadku pozostają w mocy uwagi poczynione odnośnie obu tych ostatnich typów przy napędzie rozszczepieniowym.

*
* *

Osobną klasę statków termojądrowych stanowią rakiety fotonowe. W raketach tych masę odrzutową stanowić będą, zgodnie z propozycją dra S ä n g e r a, „cząstki“ światła, czyli fotony. Jak wiadomo, prędkość rakiety mogłaby wzrosnąć wówczas do niebywalej wartości wielu tysięcy kilometrów na sekundę (p. tabl. 6).

Dr S ä n g e r zaproponował budowę tzw. rakiety d i a b a t y c z n e j, w której jedynie część materii paliwa ulega przemianie w promieniowanie. Dzięki temu temperatura silnika będzie mogła być utrzymana w rozsądnych granicach. Sprawą dalekiej przyszłości są natomiast rakiety fotonowe a d i a b a t y c z n e, w których cała masa paliwa ulegałaby przekształceniu w promieniowanie.

² W reaktorze wykorzystywano by więc zjawisko tzw. skurczu (*pinch-effect*) — por. odsyłacz 1.

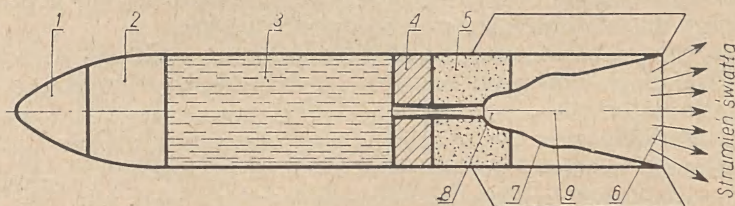
Tablica 6

Prędkości osiągalne przez rakiety różnych typów (wartości teoretyczne).

L. p.	Typ rakiety	Prędkość maksymalna w km/sek	
		$m_k/m_o^* = 0,9$	$m_k/m_o = 0,01$
1	chemiczna	0,3	18
2	jądrowa cieplna	3	90
3	jonowa	12	300
4	fotonowa adiabatyczna	90	3000
5	prosta jądrowa	2100	90000
6	fotonowa adiabatyczna	30000	ok. 300000

* m_k — masa końcowa rakiety, m_o — masa początkowa rakiety.

Silnik rakiety fotonowej dra Sängera stanowić ma tzw. lampa jądrowa. W lampie tej przebiegać będą kontrolowane reakcje termojądrowe stając się źródłem mnóstwa cząstek, obdarzonych ogromnymi energiami kinetycznymi. Cząstki zderzają się następnie z atomami gazu wypełniającego lampę. W czasie tych zderzeń oddają one znaczną część swej energii, pobudzając atomy do świecenia, a więc do wysyłania fotonów.



Rys. 6. Szkic rakiety fotonowej dra Sängera

- 1 — kabiny pasażerskie i pracownie
- 2 — magazyny
- 3 — zbiornik wodoru
- 4 — osłony przed promieniowaniem
- 5 — urządzenie służące do kontroli reakcji termojądrowej
- 6 — ściana przepuszczająca światło
- 7 — ściany odbijające światło
- 8 — komora reakcyjna (5 i 8 stanowią razem reaktor termojądrowy)
- 9 — lampa jądrowa

W taki sposób lampa jądrowa stanowi ogromny transformator energii, przekształcając wielkie jej porcje, wyzwalamy w reakcjach termojądrowych, w drobne, unoszone przez promienie światła.

Reakcje łączenia się jąder izotopów wodoru zachodzą skutecznie w temperaturze kilkudziesięciu do kilkuset milionów stopni. Tworzące się przy tym głównie jądra helu uzyskują prędkości równe 12% prędkości światła, a więc 37 tysięcy km/sek. Inne cząstki uzyskują podobne prędkości. Wspomniane jądra helu w gazie pod ciśnieniem 1 atmosfery posiadają zasięg kilku decymetrów. Mają one tak wielką energię kine-

tyczną, że mogą pobudzić do świecenia na skutek zderzeń kilka milionów atomów gazu.

Dr S ä n g e r ocenia, że tylko niewielka ilość energii wyzwolonej ulegnie przekształceniu w promieniowanie cieplne. Dzięki odpowiedniej kontroli reakcji termojądrowych świecący gaz, wypełniający lampę, znajdować się będzie na ogół w stanie spoczynku, praktycznie nie ogrzewając ścian lampy jądrowej.

Lampa ta jednak, dla zapobieżenia ulatnianiu się gazu, stanowić musi oczywiście zamknięte naczynie. Z tego powodu jego ściany odznaczać się powinny szczególnymi własnościami optycznymi. Jedną z tych ścian, znajdująca się w miejscu dawnej dyszy wylotowej rakiet, musi posiadać nadzwyczaj wielką przezroczystość, miliony razy doskonalszą od zwykłego szkła. Tylko wtedy potężny strumień świetlny zdolny będzie do uchodzenia w przestrzeń nie niszcząc ścian lampy. Pozostałe ściany natomiast muszą doskonale odbijać światło, gdyż w przeciwnym razie i im groziłoby zniszczenie.

Takie rygorystyczne warunki wymagają znacznego jeszcze postępu techniki. Trzeba pamiętać, że ciśnienie promieniowania zwykłych żarówek jest rzędu 10^{-10} atmosfery tuż przy powierzchni żarówki. Tymczasem ciśnienie promieniowania w lampie jądrowej osiągnie wartość dziesiątek atmosfer. Energia tego promieniowania jest tak potężna, że jego stożek, wychodzący z rakiety fotonowej o masie 100 ton, z odległości jeszcze 1000 kilometrów zapaliłby lasy i osiedla na obszarze 8000 km². W odległości 50 km w ciągu kilku sekund topiłby on metalowe płyty. Nawet doskonale wypolerowane, srebrne zwierciadło wyparowałoby pod uderzeniem tego strumienia przy odległości 10 km.

Sprawą rakiet fotonowych prawie-adiabatycznych zajął się ostatnio W. P e s c h k a. Rakiety jego mają osiągać prędkości różniące się od prędkości światła zaledwie o kilka promille. W tym wypadku stosunki mas rakiety w chwili startu do rakiety po wyczerpaniu paliwa m_o/m_k uzyskają niezwykle wartości od 100 do 3600 przy podróżach na najbliższe gwiazdy — Syriusza i Węgę. Całkowity czas podróży na Syriusza wyniosłby 19 lat, w odniesieniu jednak do rakiety — tylko 6 lat. Przy locie na Węgę odpowiednie wartości wyniosłyby 57 i 8 lat. Zgodnie z wnioskami wypływającymi z teorii względności załoga ludzka w czasie takich podróży wolniej by się starzała niż człowiek przebywający np. na Ziemi. Oczywiście ze względu na relatywistyczny przyrost masy tok reakcji chemicznych i przemiany materii w żywych organizmach uległby znacznemu zwolnieniu. Pociągnęłoby to za sobą prawdopodobnie pewien stan letargu czy odrętwienia, z którego załoga wyszłaby po odpowiedniej utracie prędkości w toku automatycznie sterowanego hamowania przy dolatywaniu do celu.

WIELKOŚCI GWIAZDOWE

WIELKOŚCI WIZUALNE

Do wyrażania widomego natężenia światła gwiazd w wielkościach gwiazdowych jesteśmy do tego stopnia przyzwyczajeni, że nie zawsze zdajemy sobie sprawę z tego, z ilu trudnościami astronom spotyka się, by móc tę charakterystykę gwiazdy poprawnie wyznaczyć. Wielkość gwiazdowa jest niewątpliwie najstarszym parametrem fizycznym stosowanym do gwiazd, bo datuje się jeszcze od czasów Ptolemeusza. Oparta była pierwotnie na subiektywnym wrażeniu światła doznawanym przez oko przy wpatrywaniu się w gwiazdy i może to spowodowało stosunkowo powolny postęp w dziedzinie fotometrii gwiazdowej, jak również stało się przyczyną tego, że dotychczas nie osiągnięto zadowalającej jednorodności w tej dziedzinie badań astronomicznych.

Do połowy XIX wieku wielkości gwiazdowe, podawane przez różnych astronomów, miały charakter całkowicie subiektywny. Każdy obserwator podawał wielkości według swej osobistej oceny, przytaczając przeważnie wielkości podane przez Ptolemeusza. Dopiero Flamsteed (XVIII w.) w dziele *Historia Coelestis Britannica* starał się powiązać w jeden system oceny natężenia światła 2913 gwiazd wykonywane gołym okiem i przez lunetę, a stosunkowo najdokładniej uczynił to Argelander w dziele *Bonner Durchmusterung* opracowanym w drugiej połowie XIX stulecia.

Po roku 1850 wprowadzona została do badań astronomicznych skala Pogsona polegająca na założeniu, że różnicy o 5 wielkości odpowiada stosunek natężeń równy 100, co doprowadziło do znanego wzoru fotometrycznego:

$$m - m_0 = -2,5 \log \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

gdzie m i m_0 są wielkościami gwiazdowymi odpowiadającymi natężeniom światła I i I_0 . Powstała wtedy nowa dyscyplina astronomiczna — fotometria gwiazdowa, zaczęto konstruować instrumenty przeznaczone do pomiarów wielkości gwiazdowych i rozwijano metody badawcze. Pierwszy katalog fotometryczny, zawierający wielkości 208 gwiazd, ogłosił w 1862 r. L. Seidel w Monachium w wyniku pomiarów wykonanych za pomocą wizualnego fotometru typu Steinheila i powyższą datę należy uważać za początek nowoczesnej fotometrii gwiazdowej. Po dziele Seidla opracowano w XIX w. inne katalogi fotometryczne, oparte na obserwacjach różnymi fotometrami wizualnymi. Z nich najważniejsze były katalogi harwardzkie (*Revised Harvard Photometry* — w skrócie *RHP*) i katalog poczdamski (*Potsdamer Durchmusterung* —

w skrócie PD). Oba te katalogi stanowią dotychczas podstawowe źródło informacji naszych o wielkościach gwiazdowych. Katalog *RHP* oparty jest na obserwacjach wykonywanych w latach 1879—1906 za pomocą tzw. polaryzacyjnych fotometrów południkowych zaprojektowanych przez Edwarda Pickeringa, obejmuje około 46 000 wielkości gwiazd różnej jasności na całym niebie. Katalog ten zajął naczelne stanowisko w fotometrii gwiazdowej ze względu na wielki zasięg objęty nim, choć dokładność jego jest stosunkowo niewielka. Znacznie dokładniejszy katalog zawierający wielkości przeszło 14 000 gwiazd utworzony został w obserwatorium astrofizycznym w Poczdamie przez Müllera i Kempffa na podstawie obserwacji wykonywanych przez tych obserwatorów w latach 1886—1905 za pomocą fotometrów polaryzacyjnych; zbadano przy tym i uwzględniono różnice systematyczne wynikające ze stosowania różnych fotometrów przez różnych obserwatorów. Katalog zawiera wielkości gwiazd północnej półkuli nieba do 7^m, 5, mimo jednak swej wysokiej dokładności i starannego uwzględnienia różnic systematycznych nie znalazł tak szerokiego zastosowania jak *RHP*. Wpłynęła na to okoliczność, że katalogi harwardzkie objęły całe niebo, a katalog poczdamski zawiera gwiazdy tylko północnej półkuli.

Nie będę tu omawiał metod obserwacyjnych i nie będę szczegółowo opisywał zagadnień wiążących się z wyznaczaniem wielkości gwiazdowych metodą wizualną. Czytelnik znajdzie wiadomości o tym w podręcznikach astrofizyki, szczególnie dawniejszych. Wspomnę tylko o zasadniczym problemie, który do dziś nie znalazł należytego rozwiązania, a mianowicie o punkcie zerowym fotometrii. Punkt zerowy jest to ta umowna wielkość, od której liczymy wielkości gwiazdowe. Opiera się on na zasadzie Ptolemeusza, według której najjaśniejsze gwiazdy zalicza się do 1 wielkości, a najsłabsze widoczne gołym okiem do 6^m. Tej zasady trzymali się astronomowie również w czasach nowożytnych z tą różnicą, że po wprowadzeniu prawa Pogsona wielkości gwiazdowe mogą być wyrażane liczbami nie tylko całkowitymi i ułamkowymi, lecz również ujemnymi. Punkt zerowy, stosowany dotychczas w fotometrii gwiazdowej, jest w zasadzie oparty na ocenach wielkości gwiazdowych wziętych z katalogu *BD*. Przy układaniu katalogu poczdamskiego postąpiono w ten sposób, że średnia wielkość 144 gwiazd fundamentalnych tego katalogu przyjęta została jako równa średniej ich wielkości według katalogu *BD*. W fotometrii harwardzkiej postąpiono nieco inaczej, bo wszystkie obserwacje odnoszono do jednej z trzech gwiazd przy biegunie północnym bądź południowym, a mianowicie na północnej półkuli do α i λ *Ursae Minoris*, a na południowej do σ *Octantis*, dla których przyjęte wielkości oparto również o średnie wielkości wybranych gwiazd *BD*. Okazało się jednak potem, że gwiazda α *UMi* jest zmienną, a λ *UMi* — gwiazdą czerwoną klasy *M* ze zmienną prędkością radialną, a więc wybór przez astronomów harwardzkich podstawowych gwiazd określających punkt zerowy skali nie był fortunny.

WIELKOŚCI FOTOGRAFICZNE I FOTOELEKTRYCZNE

Już w 1857 r. Bond i Whipple w USA sfotografowali kilka jasnych gwiazd, a Bond w następnym roku wykrył pierwsze prawa fotograficznej fotometrii gwiazdowej.

Prawa te zasadniczo sprowadzają się do dwóch twierdzeń: 1) zaczerńnienie obrazów gwiazd jest na zdjęciach pozaogniskowych tym większe, im więcej światła pada na kliszę fotograficzną, 2) obrazy gwiazd na zdjęciach ogniskowych mają tym większą średnicę, im gwiazdy są jaśniejsze. W fotometrii fotograficznej istotne znaczenie ma tzw. ilość światła padającego na kliszę, wywołująca jednakowe zaczerńnienie. Pierwotnie sądzono, że zaczerńnienie obrazu gwiazdy jest funkcją iloczynu $I \cdot t$, gdzie I jest natężeniem widomym światła gwiazdy, a t czasem ekspozycji. Oznaczałoby to, że w razie spełnienia dla dwóch gwiazd warunku

$$I_1 \cdot t_1 = I \cdot t_2 \quad (2)$$

zaczerńnienia ich obrazów na kliszy byłyby jednakowe. Okazało się jednak, głównie dzięki pracom K. S c h w a r z s c h i l d a wykonanym na początku XX stulecia, że tego rodzaju prosta zależność nie zachodzi, aby bowiem uzyskać zaczerńnienie takie samo dla gwiazdy wielkości $m + 1$ jak i dla gwiazdy wielkości m , należy powiększyć czas ekspozycji nie około $2^{1/2}$ raza, jak to wynika z prawa Pogsona, lecz około 3 razy. Zależność zaczerńnienia obrazów gwiazd od czasu ekspozycji okazała się bardzo złożona i nie daje się wyrazić dokładnie za pomocą prostego wyrażenia matematycznego. S c h w a r z s c h i l d uważał zaczerńnienie jako funkcję iloczynu It^p , gdzie wykładnik p dla klisz stosowanych przez Schwarzschilda miał wartość 0,8. Zależność ta jednak okazała się tylko z grubsza przybliżona i wskutek tego skala fotometryczna w fotometrii fotograficznej nie opiera się zasadniczo na zdjęciach z różnym czasem ekspozycji, lecz na zdjęciach o tym samym czasie ekspozycji, przy stosowaniu osłabiania źródeł światła w znanym stosunku.

Właściwy rozwój fotometrii fotograficznej należy odnieść do bieżącego stulecia, a zapoczątkowały je pionierskie prace K. S c h w a r z s c h i l d a w Wiedniu i E. S. K i n g a w Harvardzkim Obserwatorium. Dziełem S c h w a r z s c h i l d a było utworzenie w latach 1900—1910 w Getyndze pierwszego podstawowego katalogu wielkości fotograficznych 3522 gwiazd jaśniejszych od $7^m,5$ blisko równika ($0^\circ < \delta < +20^\circ$) (*Göttinger Actinometry*, w skrócie GA). W tych samych prawie latach P a r k h u r s t w Obserwatorium Yerkesa ogłosił katalog około 700 gwiazd jaśniejszych od $7^m,5$ w sąsiedztwie bieguna (na północ od $\delta = +73^\circ$), znany pod nazwą *Yerkes Actinometry* (w skrócie YA). Katalog Parkhursta zawierał bardzo ważną innowację w porównaniu z GA. Otóż w YA po raz pierwszy ogłoszono obok zwykłych wielkości gwiazdowych noszących nazwę fotograficznych (pg), otrzymanych ze zdjęć na zwykłych kliszach bromosrebrnych, również tzw. wielkości fotowizualne (pv), otrzymane ze zdjęć na kliszach ortochromatycznych przez żółty filtr. W ten sposób podstawową charakterystykę gwiazdową, jaką jest wielkość, uzupełniono jeszcze tzw. wskaźnikiem barwy, który obecnie określamy jako różnicę między wielkością fotograficzną i fotowizualną.

Fotometria fotograficzna wyparła prawie całkowicie fotometrię wizualną ze względu na trzy zasadnicze jej zalety: 1) możliwość uzyskiwania w tym samym czasie zdjęć wielu gwiazd na dość znacznym obszarze nieba, 2) możliwość obserwowania gwiazd słabych przy odpowiednio długim czasie ekspozycji i 3) charakter dokumentalny obserwacji, dający możliwość

mierzenia negatywów w czasie dowolnym i powtarzania tych pomiarów dowolną ilość razy. Dzięki pracom *Searesa*, *Hertzsprunga* i innych astronomów fotometria fotograficzna gwiazd w latach 1920—1940 rozwijała się bardzo szybko i osiągnano bardzo duże postępy. W szczególności przez stosowanie różnego rodzaju filtrów barwnych zakres badań fotograficznych rozciągnięto na różne dziedziny promieniowania gwiazd, a więc około 1935 r. powstała fotometria czerwona, a były nawet udane próby wyznaczania wielkości gwiazdowych w podczerwieni metodami fotograficznymi.

Dla zapewnienia jednorodności skali i punktu zerowego wielkości fotograficznych i fotowizualnych utworzony został przy północnym biegunie ciąg wielkości gwiazdowych, tak zwany Północny Ciąg Biegunowy (NPS), obejmujący gwiazdy od 2^m do 20^m . Wielkości tych gwiazd otrzymały nazwę międzynarodowych, bo system fotograficzny (*Ipg*) i fotowizualny (*Ipv*) Północnego Ciągu Biegunowego przyjęty został za standardowy na I Kongresie Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Rzymie w 1922 r.

Jednakże zasadniczego celu fotometrii — jednorodności skali i punktu zerowego na całym niebie — nie osiągnięto. Wpływała na to złożona zależność zaczernienia obrazów gwiazdowych od natężenia oświetlenia i czasu ekspozycji, a przede wszystkim trudne do należytego uwzględnienia osłabienie światła gwiazd w atmosferze ziemskiej.

A przed fotometrią stało i nadal stoi bardzo istotne zadanie dostarczania wolnych od błędów systematycznych wielkości zarówno gwiazd słabych, jak i jasnych. Wielkości gwiazd słabych są potrzebne do sondowania odległych dziedzin wszechświata, z gwiazdami zaś jasnymi wiąże się wiele zagadnień astrofizycznych, wśród nich bardzo ważne miejsce zajmowało i nadal zajmuje wyznaczenie wielkości absolutnej Słońca.

Od 1913 r. zaczęła się rozwijać nowa gałąź fotometrii gwiazdowej — fotometria fotoelektryczna. Wielka dokładność osiągnana za pomocą fotometrów fotoelektrycznych, a przede wszystkim to, że natężenie prądu powstającego w komorze fotoelektrycznej pod wpływem światła jest proporcjonalne do natężenia strumienia świetlnego, usunęły wiele trudności występujących w fotometrii fotograficznej. Przed wszystkim rozwiązany został problem skali fotometrycznej, bo otrzymuje się ją bezpośrednio z pomiarów galwanometrem. Gdy jeszcze po 1941 weszły do praktyki astronomicznej antymonowo-cezowe powielacze elektronowe, a potem zaczęto stosować liczenie fotonów, zakres fotometrii fotoelektrycznej rozszerzył się bardzo znacznie aż do gwiazd 24^m , które są niedostępne do badań metodami fotometrii fotograficznej nawet za pomocą największych teleskopów. Jednym z doniosłych wyników badań fotoelektrycznych okazało się to, że w podstawowym systemie fotometrycznym, jakim miał się stać NPS, wykryto bardzo istotne błędy systematyczne, szczególnie w wielkościach gwiazd jasnych, co sprawiło, że znaczenie NPS jako zbioru podstawowych standardów fotometrycznych uległo znacznemu zmniejszeniu. Przed astronomami stało przeto bardzo ważne zagadnienie dokonania rewizji standardów fotometrycznych. Do rozwiązania tego zadania przystąpić należałoby za pomocą metod fotoelektrycznych, jako najbardziej obiektywnych i najdokładniejszych.

PODSTAWOWE ZAGADNIENIA NOWOCZESNEJ FOTOMETRII GWIAZDOWEJ

Byłoby zapewne najbardziej pożądane powiązać fotometrię gwiazdową z fotometrią laboratoryjną, to jest móc wyrażać natężenie światła gwiazd w jednostkach energetycznych, np. w kaloriach lub ergach na jednostkę powierzchni w jednostce czasu. W chwili obecnej jednak jest to jeszcze niewykonalne, bo z jednej strony nie rozporządzamy dostatecznie czułymi odbiornikami energii świetlnej, jednakowo czułymi na cały zakres promieniowania, aby można było mierzyć całą energię dochodzącą do nas od gwiazd, a po drugie wielką przeszkodę stanowi tu zmienna i niełatwa do poznania ekstynkcja atmosferyczna. Z tych powodów integralna fotometria gwiazdowa, odnosząca się do szerokiego pasma spektralnego promieniowania gwiazd, opierać się musi na obserwacjach wykonywanych za pomocą selektywnych odbiorników, takich jak klisza fotograficzna lub komórka fotoelektryczna.

Wielkość gwiazdowa jest bardzo złożoną funkcją rozkładu natężenia I promieniowania w widmie gwiazdy, selektywnej przepuszczalności światła w optycznych częściach lunety (T), czułości spektralnej odbiornika światła (S) i przepuszczalności naszej atmosfery (p). Wyrażenia matematyczne na te funkcje długości fali nie są nam na ogół znane, a wiadomości o nich musimy zdobywać na drodze empirycznej. Ogólnie wielkość gwiazdową możemy napisać w postaci całki

$$m = -2.5 \log \int_0^{\infty} J(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot p(\lambda) d\lambda + K \quad (3)$$

gdzie K jest umowną wielkością określającą punkt zerowy skali fotometrycznej. Stosunkowo najłatwiej jest zbadać liczbowo funkcję $T(\lambda)$ i $S(\lambda)$, bo to może być wykonane za pomocą metod laboratoryjnych. Natomiast poznanie funkcji $I(\lambda)$ i $p(\lambda)$ jest bardzo trudne i wymaga złożonych badań. Nie będziemy się tu zajmowali zagadnieniem rozkładu natężenia promieniowania w widmie gwiazdy, jako należącym raczej do spektrofotometrii gwiazdowej niż do fotometrii, a natomiast większą uwagę zwrócimy na bardzo istotne dla badań fotometrycznych zagadnienie ekstynkcji atmosferycznej.

EKSTYNKCJA ATMOSFERYCZNA

Wiemy, że atmosfera ziemska bardzo zniekształca wyniki obserwacji astronomicznych przez załamywanie światła przechodzącego przez nią oraz jego pochłanianie i rozpraszanie. Jeżeli chodzi o fotometrię gwiazdową, to wpływ atmosfery ziemskiej polega głównie na rozpraszaniu światła przez cząsteczki gazu, drobny pył złożony z cząstek stałych oraz kropelki wody zawieszone w atmosferze. Najwybitniej oddziaływa na światło w ten sposób dolne piętro atmosfery, zwane troposferą, w którym zmiany w stanie fizycznym odbywają się bardzo szybko. Nowoczesne obserwacje fotoelektryczne prowadzą do wyrażania wielkości gwiazdowych z trzema znakami po przecinku, to jest do 0,^m001. Z taką więc dokładnością powinni obserwatorowie znać stopień osłabienia światła gwiazd w atmosferze ziemskiej. Ekstynkcja atmosferyczna jest tym większa, im dłuższą drogę światło przebywa w atmosferze ziemskiej.

Z dostateczną dokładnością przyjmować możemy, że droga ta jest proporcjonalna do $\sec z$, gdzie z jest odległością zenitalną gwiazdy.

Przy stosunkowo niewielkiej dokładności, jaką miały metody fotometrii wizualnej, ekstynkcję uwzględniano najczęściej w ten sposób, że sprowadzano pomiary fotometryczne do zenitu, to jest ekstynkcję wyrażano wzorem

$$E = K \cdot (\sec z - 1), \quad (4)$$

gdzie na K przyjmowano zwykle wartość stałą dla wszystkich nocy pogodnych.

Czy jednak takie założenie było słuszne? Oczywiście, że nie, powszechnie bowiem wiadomo, że pogodne noce nie mają jednakowej przejrzystości. Podczas jednych gwiazdy widzimy wyraźniej, podczas innych gorzej. A poza tym światło gwiazd ma różny skład spektralny. Gorące gwiazdy są bogate w krótkofalowe promieniowanie, bardzo silnie rozpraszane przez naszą atmosferę, a gwiazdy chłodne są w takie promieniowanie względnie ubogie, wskutek czego ich światło jest mniej przez atmosferę ziemską rozpraszane niż światło gwiazd gorących. A więc współczynnik K dla gwiazd różnych klas widmowych będzie różny i różna będzie ekstynkcja ich w zenicie. Z obu tych przyczyn stosowanie średniej ekstynkcji, przy obecnych wymaganiach stawianych obserwatorom, jest nie wystarczające i potrzebna jest znajomość ekstynkcji chwilowej. Uzyskać to możemy jedynie przez znajomość pozaatmosferycznych wielkości odniesionych do pewnego określonego standardu świetlnego. Taki standard może być stosowany w fotometrach fotoelektrycznych w postaci luminoforów z preparatów radioaktywnych. Jeżeli bowiem znamy pozaatmosferyczną wielkość jakiegokolwiek gwiazdy m_e i wielkość widomą m , to między tymi wielkościami zachodzi zależność

$$m = m_e + K(t) \sec z, \quad (5)$$

gdzie $K(t)$ jest wartością współczynnika ekstynkcji w momencie t . Zagadnienie wyznaczania ekstynkcji sprowadza się przeto do znajomości pozaatmosferycznych wielkości gwiazdowych, a znajomość ta może służyć do wyznaczania chwilowego współczynnika ekstynkcji. Wartości takie obliczano często metodą Bouguera, która polega na tym, że obserwuje się jedną i tę samą gwiazdę w różnych wysokościach w ciągu jednej nocy. Z dostatecznie długiej serii obserwacji trwającej wiele godzin, upływających od położenia gwiazdy nisko nad horyzontem do osiągnięcia położenia blisko zenitu, wyprowadza się z zależności liniowej (5) współczynnik ekstynkcji, przy założeniu, że przejrzystość powietrza w ciągu nocy nie ulega zmianie.

Metoda Bouguera, choć szeroko stosowana, budzi obecnie wiele zastrzeżeń. Przede wszystkim założenie, że w ciągu nocy obserwacyjnej, nawet przy ładnej pogodzie, przejrzystość powietrza się nie zmienia, jest bardzo grubym przybliżeniem. Zapewne bardzo trudno jest uwzględnić szybkie zmiany w przezroczystości powietrza, lecz powolne zmiany w ciągu wielu godzin da się uwzględnić i należy to czynić. Może do tego celu służyć np. metoda zaproponowana przez autora w 1951 r. W metodzie tej służącej do wyznaczania wielkości pozaatmosferycznych gwiazd należy obserwować gwiazdy zenitalne o deklinacji bliskiej szerokości geograficznej i gwiazdy w pobliżu bieguna.

Obie gwiazdy powinny być tak dobrane, aby ich wskaźniki barwy były prawie jednakowe i aby wskutek tego można było przyjąć dla nich jednakowy współczynnik ekstynkcji. Niech m_1 oznacza wielkość gwiazdy zenitalnej obserwowanej nisko nad horyzontem (odległ. zen. = z) zmierzoną w chwili t_1 , względem luminoforu, a m jej wielkość pozaatmosferyczną i niech w tej samej chwili zaobserwowana wielkość wybranej gwiazdy blisko bieguna również w stosunku do luminoforu będzie m_{p1} , a jej wielkość pozaatmosferyczna m_p . Wtedy otrzymamy dwa równania

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= m + K_1 \cdot \sec z \\ m_{p1} &= m_p + K_1 \sec z_{p1} \end{aligned} \right\} t_1 \quad (6)$$

z trzema niewiadomymi, m , m_p i K_1 .

Jeżeli w kilka godzin później w czasie t_2 zaobserwujemy w ten sam sposób tę samą parę gwiazd, z której pierwsza będzie już blisko zenitu w odległości zenitalnej z_0 , a druga w odległości z_{p2} (niewiele różniącej się od z_p), to otrzymamy nową parę równań:

$$\left. \begin{aligned} m_2 &= m + K_2 \cdot \sec z_0 \\ m_{p2} &= m_p + K_2 \sec z_{p2} \end{aligned} \right\} t_2 \quad (7)$$

Przybyła tu czwarta niewiadoma w postaci zmienionego współczynnika ekstynkcji K_2 dla momentu t_2 . Cztery te równania wystarczają, by znaleźć wszystkie cztery niewiadome (m , m_p , K_1 , K_2).

Oczywiście obserwacje możemy i powinniśmy wykonywać z gwiazdami z obu stron południka, a więc również zaczynać od obserwacji gwiazdy blisko zenitu, a kończyć na jej obserwacji nisko nad horyzontem. Tego rodzaju obserwacje, wykonywane w ciągu szeregu wieczorów z różnymi gwiazdami zenitalnymi, powinny dać dokładną wartość wielkości pozaatmosferycznych wybranej gwiazdy biegunowej. Oczywiście należy wybrać nie jedną, lecz co najmniej dwie gwiazdy biegunowe, np. jedną gwiazdę białą klasy A, a drugą — czerwoną klasy K, jak również obserwować gwiazdy przez różne filtry, by uzyskać nie tylko pozaatmosferyczne wielkości gwiazd, ale również także wskaźniki barwy, jak również współczynniki ekstynkcji dla gwiazd różnej barwy.

PUNKT ZEROWY FOTOMETRII

Możność wyznaczania chwilowej ekstynkcji w dowolnym obszarze nieba niezmiernie ułatwia należyte rozwiązywanie zagadnienia punktu zerowego, które dotychczas sprawia astronomom dużo trudności. Najczęściej punkt zerowy na zdjęciach fotograficznych bywa określany w ten sposób, że na danej kliszy fotografuje się obok badanego obszaru również obszar bieguna, aby na podstawie znanych wielkości gwiazd północnego ciągu biegunowego, jako zasadniczego standardu fotometrycznego, wyznaczyć punkt zerowy skali fotometrycznej badanego obszaru nieba. W taki np. sposób był zasadniczo wyznaczany punkt zerowy w tzw. wybranych polach Kapteyna. Taką nazwę noszą stosunkowo niewielkie obszary równomiernie rozmieszczone na niebie, średnio w odległości 15° jeden obszar od drugiego. Obszarów takich jest 206. Wybór ich nastąpił na propozycję Kapteyna w 1906 r. i został podyktowany niemożliwością indywidualnego zbadania podstawowych parametrów

(pozycje, wielkości gwiazdowe, ruchy własne, paralaksy itd.) wszystkich dostępnych do obserwacji gwiazd z uwagi na wielką ich liczbę. Pola te stanowią rodzaj próbek zaczerpniętych ze świata gwiazdowego, dokładne zaś zbadanie różnych parametrów gwiazdowych w tych polach ma dać materiał statystyczny, który stanowiłby podstawę do wyciągania wniosków dotyczących budowy układu Drogi Mlecznej. Środki pól Kapteyna są rozmieszczone na równoleżnikach $+75^{\circ}$ (6 pól), $+60^{\circ}$ (12 pól), $+45^{\circ}$ (24 pola) itd. Wielkości fotograficzne gwiazd w wybranych polach od 1 do 139 (pasy deklinacyjne od $+90^{\circ}$ do -15°) były wyznaczone przez Searesa, van Rhijna i Kapteyna i ogłoszone w 1930 r. Służyły one i nadal służą jako standardy fotometryczne, szczególnie korzystają z nich obserwatorowie gwiazd zmiennych, a poza tym wielkości podawane w nich stanowią podstawowy materiał do licznych badań statystycznych w astronomii gwiazdowej. Jednakże ten materiał okazał się bardzo niejednorodny, przede wszystkim zaś ujawnione zostały poważne błędy systematyczne w skali i w punkcie zerowym. Choć wielkości gwiazd w polach Kapteyna we wspomnianym katalogu zostały podane z dokładnością do $0,^m01$, to jednak badania fotoelektryczne wykazały, że wielkości te są obarczone błędami wyrażającymi się w dziesiątych częściach wielkości i dochodzącymi w niektórych przypadkach do $0,^m7$. Stąd wynika, że rewizja tych wielkości gwiazdowych jest sprawą bardzo istotną.

Również i wielkości gwiazd północnego ciągu biegunowego, wyznaczone za pomocą metod fotograficznych, choć należą do najdokładniejszych standardów fotometrycznych, wykazały poważne błędy w szczególności wśród gwiazd jasnych od 4^m do 6^m . Na przykład wielkość fotograficzna gwiazdy opatrzonej numerem 1 w tym ciągu (4^m) jest błędna o $0^m,2$ w stosunku do wielkości wyrażonej fotoelektrycznie, zgodnie z pomiarami fotoelektrycznymi wykonanymi w wielu obserwatoriach. Błąd tego rodzaju u gwiazd jasnych NPS wywołany jest nie znaną nam jeszcze przyczyną.

Problem więc punktu zerowego w fotometrii gwiazdowej wymaga obecnie badań od podstaw, przy tym standardy gwiazdowe wyznaczone tylko w jednym obszarze nieba nie wystarczają do tego celu i należałoby wyznaczyć standardy fotometryczne na całym niebie. Byłoby słuszne, aby standardy te mogły być wyznaczone blisko pól Kapteyna, a to w celu ułatwienia rewizji punktu zerowego wielkości gwiazdowych w tych polach. Wychodząc przeto z tych założeń autor zaproponował w 1951 r.; aby w sąsiedztwie każdego z pól Kapteyna wybrać po dwie gwiazdy 6^m , jedną klasy A, drugą klasy K, i dla tych gwiazd wyznaczyć pozaatmosferyczne wielkości gwiazdowe w dwóch barwach, przy czym filtry powinny być tak dobrane, by wielkości gwiazdowe były dostatecznie bliskie do międzynarodowych wielkości fotograficznych i fotowizualnych. Wyboru takich gwiazd do deklinacji $+15^{\circ}$ (Pola Kapteyna od 1—91) dokonano w Obserwatorium Wrocławskim, przy tym pominięto gwiazdy zmienne, gwiazdy podwójne i gwiazdy ze zmienną prędkością radialną, jako wykazujące lub mogące wykazywać zmiany blasku. W latach 1951—53 były wykonane przez autora we Wrocławiu obserwacje w pierwszych 19 polach. Wyniki tych obserwacji, zawierające katalog wielkości 38 gwiazd, są w druku. Wielkości te mogą służyć do kontroli punktu ze-

rowego i chwilowej ekstynkcji dla obszaru nieba na obszarze od deklinacji $+50^{\circ}$ do bieguna północnego.

W latach 1953—55 ukazały się w druku dwa bardzo ważne katalogi gwiazdowe opracowane przez astronomów amerykańskich, oparte na pomiarach fotoelektrycznych. Pierwszy z nich, ogłoszony przez H. L. Johnsona i W. W. Morgana, zawiera wielkości 290 gwiazd w układzie oznaczonym przez tych autorów trzema literami: *U* (*ultra-violet*) *B* (*blue*) i *V* (*visual*). System *UBV* został uznany na kongresie Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Dublinie w 1955 r. za jeden z podstawowych systemów fotometrycznych. Drugi katalog wielkości fotoelektrycznych w dwóch barwach, zbliżonych do *I_{pg}* i *I_{pv}*, ogłosił Olin J. Eggen w 1955 r. Obejmuje on wielkości 833 gwiazd. Jednak oba te katalogi są jeszcze niewystarczające do przenoszenia punktu zerowego w myśl zasad wyżej sformułowanych, bo zawierają zbyt mało gwiazd 6^m klasy A, a te, które wchodzą do katalogu, są zbyt nierównomiernie rozmieszczone na niebie.

GWIAZDY JASNE

Jedno z naczelných miejsc w fundamentalnej fotometrii gwiazdowej zajmuje problem wielkości gwiazd jasnych. Do chwili obecnej główne wiadomości o tych gwiazdach pochodzą z katalogów harwardzkich i z katalogu poczdamskiego (*PD*). Wiemy jednak, że katalogi te, szczególnie katalogi harwardzkie, są obciążone znacznymi błędami systematycznymi, nieuniknionymi dla wszystkich katalogów wizualnych. Jakie zaś rozbieżności są w wielkościach gwiazdowych jasnych gwiazd, niech służy przykład Syriusza. W katalogu harwardzkim wielkość ta wynosi — 1^m,58 i przeważnie taka figuruje w spisach gwiazd. Wyznaczana wielokrotnie wielkość ta dawała różne znaczenia, które po sprowadzeniu ich do systemu *I_{pv}* przez *Vaucouleurs'a* (1949) wykazują różnice rzędu 0^m,3 (od — 1^m,16 do 1^m,44). A przecież na wielkościach najjaśniejszych gwiazd oparta jest wielkość absolutna Słońca, tak ważna dla wielu zagadnień astronomii gwiazdowej i astrofizyki.

Podobne zagadnienie występuje w wielkościach cefeid, które są podawane różnie przez różnych obserwatorów. Dotyczy to właściwie wszystkich gwiazd zmiennych, najdotkliwiej wszakże odczuwa się tę niejednorodność przy cefeidach, gdzie szczególnie jest potrzebna znajomość nie tylko amplitud zmienności, ale i skrajnych wielkości w jednorodnym systemie fotometrycznym przy zachowaniu tego samego punktu zerowego. Wyznaczenie przeto skrajnych wielkości cefeid w jednorodnym systemie fotometrycznym stanowi ważny problem obserwacyjny, który należałoby zalecać obserwatorom rozporządzającym fotometrami fotoelektrycznymi.

UWAGI KOŃCOWE

Problemów aktualnych fotometrii fotoelektrycznej jest tak wiele, że nie byłoby celowe wyliczanie ich w jednym artykule. Z ogólnych problemów jednym z najistotniejszych jest ujednorodnienie skali i punktu zerowego w istniejących systemach fotometrycznych. Wymagać to będzie wielkiego nakładu pracy obserwacyjnej, sytuacja jednak staje się coraz

bardziej ułatwiona przez to, że fotometria fotoelektryczna jest teraz dostępna dla niewielkich, a więc i dla miłośniczych lunet. Są więc możliwości rozszerzenia programów obserwacyjnych również na obserwatoria miłośnicze. Dotyczy to przede wszystkim fotometrii gwiazd jasnych, w szczególności gwiazd zmiennych.

Niewątpliwie przed astronomami od wielu lat stoi niezmiennie doniosłe zagadnienie fizycznej interpretacji tego, co się mierzy, w szczególności — znajomość całkowitej energii dochodzącej do nas od gwiazd. Wielu astronomów nad tym zagadnieniem pracowało i nadal pracuje. Na ostatnim posiedzeniu komisji fotometrii gwiazdowej Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Dublinie w 1955 r. P. Fellgett wysunął propozycję, by wielkość gwiazdowa była określana jako liczba fotonów padająca na zewnątrz atmosfery ziemskiej na 1 cm^2 w ciągu sekundy w określonej dziedzinie widmowej. Byłoby to niewątpliwie bardzo słuszne powiązanie fotometrii gwiazdowej z fizyką, napotykałyśmy tu jednak na duże trudności, których usunąć jeszcze nie umiemy. Trudności te wywołane są głównie zmiennością przejrzystości naszej atmosfery. Być może sieć podstawowych wielkości gwiazdowych umożliwiającą wyznaczanie chwilowej lokalnej ekstynkcji przybliży nas nieco do rozwiązania tego bardzo istotnego problemu fotometrycznego.

Roman Teisseyre

WYPRAWA GEOFIZYCZNA DO VIETNAMU

(Szkic programu i wyniki rekonesansu)

Już prawie rok minął od czasu oficjalnego zgłoszenia do Komitetu Specjalnego MRG 57—58 (CSAGI) Polskiej Wyprawy Naukowej do Republiki Demokratycznej Vietnamu. Wyprawa ma za zadanie zorganizowanie i prowadzenie stacji geofizycznej w czasie zbliżającego się Roku Geofizycznego. Będzie ona jeszcze jednym ogniwem w wielkiej sieci punktów badawczych na naszym globie. Znaczenie i miejsce, jakie wyprawa zajmie w tej sieci, zależy zasadniczo od dwóch czynników: 1) efektywnego programu badawczego, 2) położenia stacji.

Zacznijmy od sprawy drugiej.

Ogólne zalecenia dotyczące potrzeb i miejsc dla organizowania stacji były przedmiotem licznych dyskusji i rezolucji na konferencjach przygotowawczych do MRG. Wynika to z podstawowych wymagań przy prowadzeniu badań geofizycznych, jakimi są korelacje przestrzenne i czasowe przebiegów różnych elementów geofizycznych. Kompleksowość badań z jednej strony oraz ich korelatywność w czasie i przestrzeni stanowią niewątpliwą drogę poznawczą w dziedzinie badań nad naszą planetą.

Zalecenia odnośnie lokalizowania nowych stacji płynęły z dwu przesłanek, prowadzących nie bez przyczyny do podobnych wniosków. Pierwszą z nich były obszary o szczególnym nasileniu i znaczeniu procesów geofizycznych, drugą — obszary o niedostatecznej sieci stacji i obserwatoriów geofizycznych. W ten sposób wyróżniono strefy polarne oraz strefę tropikalną. Zaznaczyć przy tym warto, że w tej sytuacji strefy polarne znalazły się w nieco lepszym położeniu przede wszystkim ze względu na bogate tradycje badawcze i doświadczenia nabyte w dziesiątkach ekspedycji polarnych. Pas tropikalny będzie miał w nadchodzącym MRG wciąż jeszcze niewspółmiernie rzadką sieć obserwatoriów w porównaniu nawet ze strefami polarnymi. Między innymi rezolucje CSAGI zwracają narodom uwagę na obszar Półwyspu Indochińskiego, apelując o organizowanie podstawowych badań geofizycznych na tym terenie.

Polska Stacja organizowana w północnym Vietnamie będzie w wielu podstawowych dziedzinach geofizyki jedynym punktem badawczym w północnej części, a nawet i w całych Indochinach.

Należy jeszcze podkreślić, że omawiana stacja leży w tzw. pasie południka 110°E. CSAGI wyróżnił kilka takich południków celem poznania przekroju południkowego wielu elementów geofizycznych, w szczególności cyrkulacji atmosferycznej i bilansu energii oraz innych.

W ten sposób już samo położenie stacji nadaje jej duże znaczenie, a wyniki badań z podstawowych kierunków geofizycznych powinny stanowić poważny wkład w ogólnej skali MRG. Nie można pominąć przy tym znaczenia tych badań dla samego Vietnamu. Badania zjawisk i rejestracje elementów geofizycznych są konieczne dla wielkiej liczby zagadnień gospodarczych i komunikacyjnych.

Należy jeszcze podkreślić wielkie znaczenie wyprawy geofizycznej dla rozwoju naszych prac w tym zakresie jak i dla osobistego podniesienia kwalifikacji i horyzontów naukowych uczestników wyprawy.



Rys. 1. Grupa rekonesansu do Vietnamu przed odjazdem z Moskwy. Żegna nas przedstawiciel Ambasady PRL



Rys. 2. Byłe Obserwatorium Centralne Indochin, Phu-Lien. Tutaj uruchomiona zostanie nasza stacja

W przypadku nauk geofizycznych traktujących o całej planecie ma to szczególnie wyraźne znaczenie.

Wspomnieliśmy już, że program Stacji Polskiej w Vietnamie obejmuje wiele podstawowych kierunków.

Badania aerologiczne obejmują radiosondaż, pilotaż oraz w uzupełnieniu obserwacje chmur wizualne, fotograficzne, nefoskopowe i telemetryczne. Radiosondaż prowadzony będzie przy użyciu aparatury typu Väisälä i obejmować będzie pomiary temperatury, ciśnienia i wilgotności, nadawane z radiosondy, oraz pomiary szybkości i kierunku wiatru przy pomocy radioteodolitu. Radioteodolit Väisälä różni się od dobrze znanych radioteodolitów Metox. Składa się on z 7 anten i właściwego odbiornika. Zasada pomiaru polega na określeniu położenia radiosondy z różnic fazowych na poszczególnych parach anten. Dodamy, że w Chinach południowych stosowany jest radiosondaż również przy użyciu radiosond Väisälä. Program badań przewiduje 4-krotne sondowanie w czasie dni światowych oraz w czasie specjalnych interwałów meteorologicznych (okresy wybrane przez CSAGI dla szczególnej intensyfikacji badań). W pozostałe dni prowadzony będzie pilotaż optyczny (4 razy dziennie).

Prowadzone będą również specjalnie szczegółowe badania wybranych chmur z uwzględnieniem ich rozwoju i charakterystyki poprzez obserwacje wizualne i telemetryczne oraz dokumentację fotograficzną.

Do sporadycznych badań zaliczyć trzeba ponadto obserwacje tajfunów (częstotliwość 1—2 razy do roku).

Badania aktynometryczne mają na celu określenie dopływu energii promieniowania słonecznego bezpośredniego i rozprosz-

nego w atmosferze w zależności od stanu pogody oraz badania przezroczystości atmosfery. Rozważana jest wciąż jeszcze możliwość prowadzenia pełnych badań aktynometrycznych i na ich podstawie obliczenie bilansu energii.

Podstawowe pomiary i rejestracje elementów meteorologicznych stanowić będą bazę dla wymienionych wyżej badań. Są to badania: temperatury, ciśnienia, wilgotności, prędkości i kierunku wiatrów, temperatur gruntowych, pomiary opadów i parowania. Badania te uzupełnione będą pomiarami zawartości CO₂ w powietrzu. Przygotowujemy się jeszcze do uzupełnienia tego kierunku podstawowymi pomiarami elektryczności atmosferycznej, przede wszystkim poprzez badania radiotrzasków.

Badania magnetyczne oparte będą na normalnej rejestracji D, H, Z przy pomocy wariografu typu Askania. Typ ten stosowany jest zarówno w krajach tropikalnych, jak i polarnych. Posiada on termostat regulowany na różne temperatury.

Wartości absolutne uzyskane będą przy pomocy teodolitu magnetycznego przenośnego i induktora ziemskiego.

Badania sejsmologiczne oparte będą na rejestracji przy pomocy sejsmografów elektromagnetycznych zbudowanych w Zakładzie Geofizyki PAN. Charakterystyka tych aparatów jest zbliżona do charakterystyki aparatów typu Kirnosa. Program obejmuje oprócz badań trzęsień ziemi badania aktywności mikrosejsmicznej. Badania trzęsień nabierają wielkiego znaczenia ze względu na bliskość największych i najsilniejszych obszarów sejsmicznie czynnych. Zjawiska zachodzące w pobliżu wielkich rowów oceanicznych i łuków wysp mają fundamentalne znaczenie dla sejsmologii i prowadzą bezpośrednio do podstawowych problemów budowy i ruchów skorupy ziemi.

Uzupełnieniem programu będą badania jonosferyczne, polegające na prostych pomiarach przewodnictwa i tras przy użyciu 2 radiostacji nadawczo-odbiorczych.

Przygotowania do realizacji naszego programu badawczego trwają już od czerwca ub. r. Przygotowania te obejmują pracę nad skompletowaniem i przystosowaniem aparatury naukowej oraz prace nad techniczno-gospodarczym zapleczem stacji. Te ostatnie mogły być dopiero w pełni zaprojektowane i wykonane po powrocie rekonesansu z Vietnamu, tj. po 10.XII.1956 r. — obecnie są one na ukończeniu.

Rekonesans naukowy w składzie: prof. dr S. Z. Różycki (przewodniczący), doc. K. Chomicz (meteorolog), mgr R. Teisseyre (geofizyk), dr P. Czerski (lekarz), wykonał bardzo obszerne zadania, jak mianowicie: omówienie z władzami Republiki Demokratycznej Vietnamu spraw związanych z organizacją stacji geofizycznej, nawiązanie kontaktów naukowych z Uniwersytetem w Hanoi i Wietnamską Służbą



Rys. 3. Cha-Pa. Coline de la résidence supérieure. W tym miejscu po rozbiorze ruin zainstalowany będzie radioteodolit aerologiczny

Meteorologiczną (Meteo), ustalenie rodzaju i zakresu współpracy naukowej i technicznej, a dalej zlokalizowanie miejsca na stację geofizyczną oraz rozwiązywanie wielu zagadnień techniczno-organizacyjnych dla organizowanej wyprawy (sprawy łączności, transportu, żywienia, zakwaterowania, zabezpieczenia sanitarnego itp.). W czasie podróży ustalono ponadto współpracę i nawiązano bliskie kontakty z uczonymi chińskimi.

Trzeba w tym miejscu z całym naciskiem podkreślić, że większość naszych decyzji w Vietnamie oraz cała koncepcja wyprawy podjęte zostały przy szerokiej współpracy i pomocy władz vietnamskich i liczного grona ludzi z Uniwersytetu i Służby Meteorologicznej z jej dyrektorem min. *Xien* na czele.

Oprócz pomocy doraźnej otrzymaliśmy zapewnienie pomocy i współpracy ze strony vietnamskiej dla organizowanej wyprawy. W skrócie dotyczą one:

- 1) współpracy naukowo-technicznej przy badaniach poprzez dostarczenie personelu pomocniczego i technicznego (Meteo) oraz kilku młodych pracowników nauki (Uniwersytet),
- 2) prowadzenie kuchni (Organizacja Recepcji Cudzoziemców),
- 3) wykonawstwa robót ziemnych i prac budowlanych dla wyprawy z wyłączeniem spraw związanych z instalacją wewnętrzną, sanitarną i elektryczną (Min. Budownictwa).

Zakończymy niniejsze omówieniem lokalizacji stacji i bazy wyprawy.

W grę wchodziły tu dwie miejscowości: projektowana początkowo górską miejscowość Cha-Pa, miejsce dawnej stacji klimatycznej, oraz słynne Phu-Lien, byłe obserwatorium centralne Indochin koło Kien-An. Oba wymienione miejsca bardzo ucierpiały od działań wojennych — jednak zorganizowanie stacji geofizycznej było zasadniczo możliwe. Ostatecznie wybrano kompromisowo Cha-Pa jako miejsce zasadniczej bazy wyprawy z programem aerologicznym i magnetycznym oraz Phu-Lien jako miejsce dla badań sejsmologicznych (ustawienie aparatów w ocalałej od działań wojennych piwnicy sejsmologicznej) i dla badań aktywnometrycznych (lepsze warunki pogodowe). Niektóre elementy pomiarów aktywnometrycznych prowadzone będą również w Cha-Pa. Łączność pomiędzy obu punktami zapewniona będzie przez radiostację, z których jedna o większej mocy (Phu-Lien) przekazywać będzie materiał badawczy dla kraju i ośrodków zbiorczych MRG. Odległość pomiędzy Cha-Pa a Phu-Lien wynosi 250 km. Dojazd zapewnia kolej wąskotorowa do podnóża gór, skąd można dojechać do samego Cha-Pa samochodem.

Po wyjeździe naszego rekonesansu z Vietnamu dowiedzieliśmy się, że utworzono tam Komitet Narodowy Międzynarodowego Roku Geofizycznego z przewodniczącym min. *Xien* i sekretarzem naukowym drem *Tuan* na czele. Członkami Komitetu zostali nasi dobrzy znajomi, profesorowie z Uniwersytetu i pracownicy naukowcy z Meteo. Współpraca z Komitetem Vietnamskim MRG będzie dla nas wielkim ułatwieniem w naszych zadaniach, a wszelka pomoc, którą my będziemy mogli okazać Komitetowi Vietnamskiemu MRG, będzie wyrazem naszej wdzięczności za życzliwość, jaką okazywali dla nas i całego naszego narodu przyjaciele z Vietnamu.

ZAGADNIENIE OSTATNIEGO ZŁODOWACENIA W POLSCE

WSTĘP

W badaniu form i osadów polodowcowych szczególnie zainteresowanie budzi obszar ostatniego na Niżu zlodowacenia. Młody krajobraz polodowcowy, stosunkowo mało przekształcony przez niwelujące późnoglacialne procesy peryglacialne i rzeźbiącą działalność holocenów wód płynących, daje pełną okazję — w oparciu o studium zespołu świeżych form i mało przemieszczonych osadów glacialnych i fluwioglacialnych — dokładnej rekonstrukcji przebiegu deglacjacji, a więc rozpadu i zniknięcia lądolodu skandynawskiego i ustalenia ogólnych prawideł dotyczących geologicznych i morfologicznych następstw zlodowacenia niżowego. Zdobyte na tym terenie doświadczenie staje się cenną pomocą w rozpoznawaniu zniszczonych w czasie okresów interglacialnych i peryglacialnych form oraz przeobrażonych przez procesy wietrzeniowe i denudacyjne osadów glacialnych na pozostałym obszarze polodowcowym. Zatem studium obszaru ostatniego zlodowacenia posiada kluczowe znaczenie dla poznania i wyjaśnienia genezy rzeźby całego obszaru objętego plejstocенskim zlodowaceniem.

Ostatnie na ziemiach polskich zlodowacenie z punktu widzenia stratygraficznego reprezentowane jest przez zespół pokładów glin morenowych wraz z przedzielającymi je utworami fluwioglacialnymi w postaci warstwowanych piasków i żwirów oraz osadami zastoiskowymi w postaci iłłów wstęgowych i mułków. Zdarzają się także utwory interstadialne. Ilość pokładów morenowych w następstwie przestrzennie zróżnicowanej działalności akumulacyjnej i egzaracyjnej lądolodu jest zmienna, a miąższość całego kompleksu osadów ostatniego zlodowacenia dochodząca niewątpliwie do kilkudziesięciu metrów — jak dotąd — nie jest dokładnie znana. Ostatnie to stwierdzenie wynika z istniejących trudności ustalenia dolnej granicy tych utworów i oddzielenia ich od podobnych osadów starszych zlodowaceń. Tylko w nielicznych miejscach zdołano stwierdzić florę kopalną z ostatniego interglacjału pod utworami morenowymi ostatniego zlodowacenia (Rusinowo koło Świebodzina, Śmielin koło Nakła, okolice Poznania). Większość profilów interglacialnych z florą kopalną tego okresu znajduje się poza zasięgiem ostatniego zlodowacenia i jest jedynie przykryta ekstraglacialnymi osadami rzecznyymi (np. Kalisz lub Żoliborz)¹ albo lessem (Trzebnica). Jak wykazała A. K a l n i e t [16], takich ekstraglacialnych stanowisk interglacialnych, w postaci zafornionych niecek jeziernych przykrytych piaskami, jest bardzo dużo.

¹ Por. m. in. przeglądowe ujęcie tych zagadnień w artykułach i rozprawach W. Szafera [41] i E. Rühlego [39].

Co prawda na dolnym Powiślu występują w licznych miejscach jako osady międzymorenowe przybrzeżne utwory morza eemskiego, odpowiadające zdaniem większości badaczy ostatniemu interglacjowi. Osady te występują jednak prawdopodobnie w kilku poziomach (na wtórnym złożu?), co w znacznym stopniu podważa ich pozycję stratygraficzną².

Utwory ostatniego zlodowacenia z wyżej podanych względów są szczególnym obiektem badań morfologicznych. Lecz nie tylko chęć poznania w świetle świeżych form przebiegu zlodowacenia i jego zanikania, lecz także szczupłość danych paleontologicznych, mogących wyjaśnić zagadnienie maksymalnego zasięgu ostatniego zlodowacenia oraz ilości zasięgu poszczególnych jego stadiów recesyjno-oscylacyjnych, wreszcie zmienność stratygraficzna osadów glacialnych czynią z rzeźby terenu główne w tych zagadnieniach kryterium poznawcze.

Morfologia obszaru ostatniego zlodowacenia zrobiła szczególnie duże postępy w okresie powojennym. Pierwszą okazją do bliższego zainteresowania się krajobrazem ostatniego zlodowacenia było opracowanie *Przeglądowej mapy geologicznej Polski* w skali 1 : 300 000³, opartej w znacznym stopniu na przeglądowym zdjęciu terenowym. W powiązaniu z tą mapą wykonano następnie liczne studia szczegółowe, dotyczące poszczególnych moren czołowych, sandrów, teras dolinnych itp. Podobną rolę twórczą odegrały przeglądowe mapy morfologiczne Polski [20, 38]. Jednak podstawowe znaczenie dla poznania rzeźby obszaru ostatniego zlodowacenia ma rozpoczęte w r. 1950 szczegółowe kartowanie geomorfologiczne (w skali 1 : 25 000 wzgl. 1 : 50 000), któremu towarzyszyły studia specjalne, monograficzne lub przeglądy zagadnień geomorfologicznych na wybranych obszarach (patrz załączoną literaturę).

Posiadany materiał kartograficzny i opisowy zebrany z prac i studiów licznych autorów daje wystarczającą podstawę do naszkicowania syntetycznego obrazu przebiegu ostatniego zlodowacenia na ziemiach polskich. Zadanie to spełniają równolegle załączona mapa morfologiczna zestawiona przez L. Roszkównę jak i niniejsze rozważania.

ZAGADNIENIA ZASIĘGU OSTATNIEGO ZLODOWACENIA

Zagadnienie to ma swoją bogatą historię sięgającą początku tego wieku⁴. Według dawniejszych poglądów obszar ostatniego zlodowacenia pokrywa się z zasięgiem młodych nadbałtyckich pojezierzy, natomiast autorzy nowszych prac przesuwają tę granicę bardziej na południe, przy czym niektórzy z nich (np. R. Grahmann) utożsamiają ją nawet z zasięgiem tzw. stadium Warty.

Właściwą podstawę wyjściową do rozwiązania powyższego zagadnienia uzyskano przez zastosowanie kryterium występowania jezior jako charakterystycznej cechy obszaru ostatniego zlodowacenia. Pierwszy zwrócił na to uwagę Tietze, a w pełni wykorzystał je m. in. P. Wold-

² Zagadnienie to posiada niezwykle bogatą literaturę, przy czym zachodzi duża rozbieżność poglądów na temat pozycji stratygraficznej osadów interglacialnego morza eemskiego, jak również pobliskich ilów yoldiowych. Nowe fakty i poglądy oraz aktualną dyskusję na ten temat zawierają artykuły B. Halickiego [13], R. Galona [4] i E. Rühlega [39].

³ Wydane przez Państwowy Instytut Geologiczny w latach 1947—1952.

⁴ Rozwój poglądowy na temat zasięgu ostatniego zlodowacenia na obszarze Polski podaje m.in. St. Majdanowski [27].

stedt w swych licznych pracach dotyczących zasięgu zlodowaceń na Nizinie Niemieckiej i Polskiej. Przez niego podany zasięg ostatniego zlodowacenia jako granica, oddzielająca młode formy polodowcowe od starych, zdenudowanych form, został powszechnie przyjęty.

W ostatnich latach podjął to zagadnienie St. Majdanowski [26, 27]. Stwierdził on, że nie tyle jeziora, ile rynny jeziernie jako formy nadrzędne w stosunku do jezior, są najlepszym morfologicznym kryterium dla rozgraniczenia krajobrazu młodego od starego. Są one doskonałym wyrazem dynamiki krajobrazowej, a poza tym „ich genetyczne powiązanie z ciągami moren czołowych i sandrami ułatwia interpretację granicy ostatniego zlodowacenia we właściwym pojęciu strefy marginalnej lodowca“ [27, str. 111]. Granica ostatniego zlodowacenia, wyznaczona przez powyższego autora, potwierdza w zasadniczych zarysach linię zasięgu tego zlodowacenia według Woldstedta. Majdanowski wydobyl jednak pewne dotąd nie znane szczegóły w przebiegu tej linii granicznej, jak np. interlobalne zagłębienie w okolicy Wrześni, stanowiącej inicjalną granicę pomiędzy lobem wiślanym a lobem odrzańskim.

Jednak dyskusja na temat zasięgu ostatniego zlodowacenia trwa nadal, podtrzymywana na terenie Polski głównie przez geologów i paleobotaników. Już Wunderlich [46] zauważył, że na południe od granicy jezior, charakterystycznych dla obszaru ostatniego zlodowacenia, występują liczne, płaskie, bezodpływowe zagłębienia, przekraczające nawet w niewielu wypadkach zasięg stadium Warty. Jessen i Milthers [15] stwierdzili, że zagłębienia te reprezentują niekiedy jeziorne pochodzące z poprzedniego zlodowacenia i wypełnione torfem i piaskiem soliflukcyjnym. Ostatnio A. Kalniet [16] podała rozmieszczenie tych kopalnych jezior na terenie Polski. Woldstedt, mając na uwadze fakt występowania licznych zagłębień na pd. od zasięgu ostatniego zlodowacenia, uważał pierwotnie stadium Warty za odrębne zlodowacenie, a R. Grahamann [10] — jak już podano — widział nawet w stadium Warty najdalszy zasięg ostatniego zlodowacenia.

Zagadnienie stosunku stadium Warty do zasięgu ostatniego zlodowacenia wymaga bliższego omówienia. Istnieją trzy koncepcje: 1) zasięg ostatniego zlodowacenia pokrywa się z południową granicą występowania jezior czy rynien jeziernych, a stadium Warty jest jedynie częścią przedostatniego zlodowacenia;

- 2) stadium Warty oznacza najdalszy zasięg ostatniego zlodowacenia;
- 3) stadium Warty stanowi odrębne zlodowacenie.

Za trzecią koncepcją wypowiedział się w nowszych czasach Milthers [29]. Na podstawie południowego zasięgu brunatnego porfiru bałtyckiego wyróżnił on na terenie Polski i Niemiec osobne zlodowacenie Warty, starsze od zlodowacenia Wisły (= Würm), a młodsze od zlodowacenia Sali (= Mindel). Jednak na terenie Polski granica zasięgu owego porfiru nie pokrywa się ani z morenami stadium Warty, ani z morenami zlodowacenia środkowo-polskiego, przebiegając przeważnie pomiędzy nimi, zatem nie ma żadnego uzasadnienia morfologicznego⁵.

Większość badaczy podtrzymuje pierwszą koncepcję. Nawet B. Halicki [11], pomimo wyróżnienia dla obszaru Polski większej ilości zlodowaceń, nie znalazł podstaw dla przyjęcia osobnego zlodowacenia War-

⁵ Por. w tej sprawie artykuł R. Galona [9].

ty. Stadium Warty uważa on za stadium recesyjne zlodowacenia środkowo-polskiego. Zatem stadium Warty oddzielone jest od maksymalnego stadium przedostatniego zlodowacenia interstadią, natomiast od ostatniego zlodowacenia interglacją. Taki pogląd wyraża m. in. Woldstedt [45], przy czym dodaje on, że stadium to musiało mieć nieco odrębny charakter.

Natomiast W. Szafer [40] zajął w swej syntezie plejstocenu Polski, opartej na florze kopalnej z 266 miejscowości, stanowisko odmienne, zbliżając się do zwolenników koncepcji drugiej (patrz wyżej). Rozważa on zagadnienie ważnego z punktu widzenia prehistorycznego interstadiu oryniackiego. Jego zdaniem interstadią ten, o klimacie chłodnym, nie posiada faz, które by świadczyły o dalekiej recesji łądolodu. Interstadią oryniacki oddziela według Szafera stadium Warty jako najstarsze stadium ostatniego zlodowacenia od stadium brandenburskiego. Ostatnio także radziecki badacz A. N. Mazarewicz [28] dochodzi do wniosku, że moreny czołowe stadium Fläming i Warty trzeba uznać za odpowiednik moren Kalinin—Orsza—Mińsk, które stanowią niewątpliwie najstarsze stadium ostatniego zlodowacenia.

Badacz niemiecki J. Hessemann⁶ wyraża podobny pogląd na podstawie podobieństwa składu petrograficznego moren czołowych stadium brandenburskiego i stadium Warty (na terenie Brandenburgii). Zamiast skał południowo-szwedzkich, charakterystycznych dla przedostatniego zlodowacenia, moreny stadium Warty zawierają dobrze wymieszany materiał skalny wschodnio-fennoskandzki, środkowo-szwedzki i południowo-szwedzki. Słusznie jednak Woldstedt podkreśla [45, str. 359], że to podobieństwo petrograficzne świadczy jedynie o podobieństwie czaszy lodowej i kierunkach ruchu łądolodu podczas stadium Warty i podczas ostatniego zlodowacenia, w każdym razie nie przeczy ono jeszcze przynależności stadium Warty do zlodowacenia Sali. E. Rühle [39] po rozpatrzeniu wszystkich powojennych prac dotyczących stratygrafii plejstocenu w Polsce dochodzi do wniosku, że sytuacja stratygraficzna stadium Warty — jak dotąd — nie jest wyjaśniona. Przypuszcza jednak, że stadium Warty należy do przedostatniego zlodowacenia.

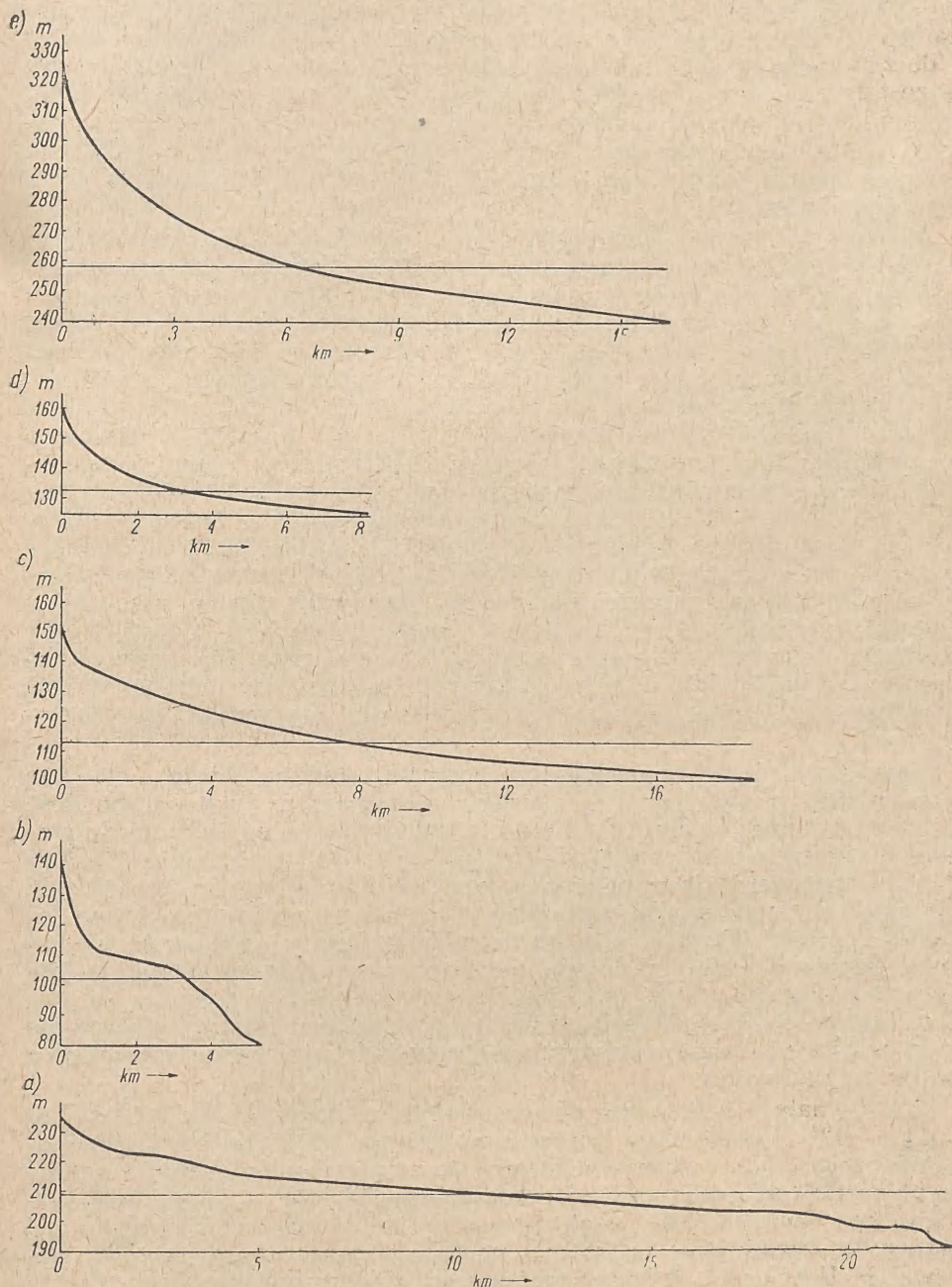
Rozpatrzmy z kolei zagadnienia wieku stadium Warty w świetle kryteriów morfologicznych. Niewątpliwie charakter morfologiczny moren czołowych stadium Warty zadecydował o próbach włączenia tego stadium do ostatniego zlodowacenia. Moreny czołowe tworzą na ogół zwartą strefę o wyraźnych formach, przypominających moreny czołowe stadium pomorskiego. Znaczenie morfologiczne tych moren wzrasta przez to, że zbiegają się one ze wzniesieniami podłoża, na które moreny te zostały nasadzone (Kocie Góry, Wzgórza Ostrzeszowskie). Zarówno moreny czołowe, jak i wzniesienia podłoża wykazują liczne struktury glaciotektoniczne. Należy także przypomnieć, że w obrębie stadium Warty występują liczne zasypane niecki pojezierne, zarejestrowane przez A. Kalniet [16]. Jedynie w niewielu wypadkach, w szczególności na wsch. od Wisły zagłębienia te przekraczają zasięg tego stadium⁷. Równocześnie jednak łatwo zauważyć, że wzgórza morenowe mają zbocza na ogół łagodne, zdenudowane oraz że zachowały się one najlepiej na działach wod-

⁶ Por. artykuł sprawozdawczy J. Mojskiego [30].

⁷ Fakt ten powinien zachęcać do ew. rewizji w wyznaczeniu granicy stadium Warty na terenie położonym na wsch. od Wisły.







Rys. 1. Krzywe hipsograficzne wybranych moren czołowych ostatniego zlodowacenia i stadium Warty: a) stadium Warty; b) stadium Ileszczyńskie; c) stadium poznańskie; d) morena czołowa węgoborska; e) stadium pomorskie.

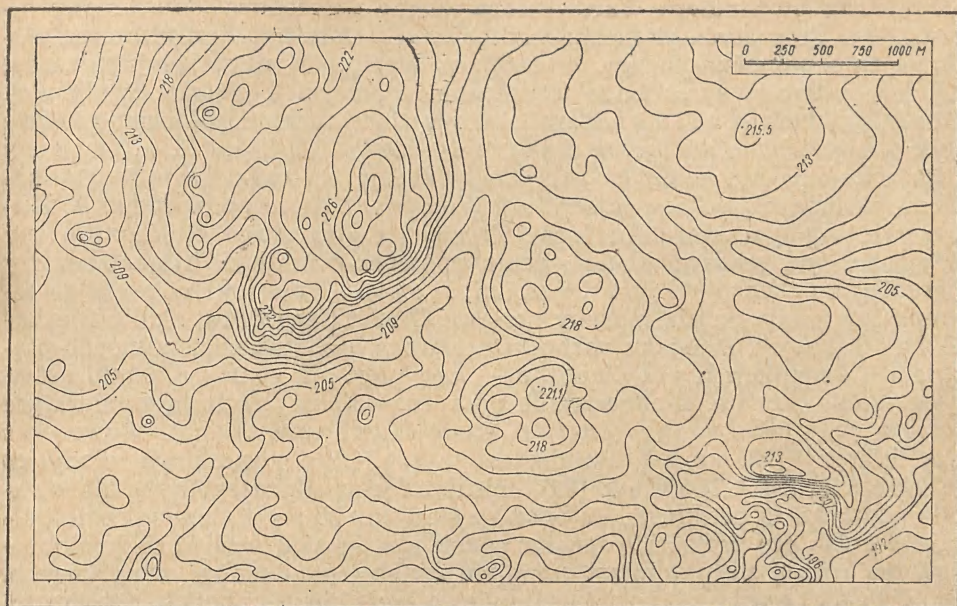
nych. Z licznych studiów J. Dylika [2] i jego współpracowników, przeprowadzonych w okolicach Łodzi wiemy, że moreny czołowe stadium Warty zostały silnie przeobrażone w warunkach klimatu peryglacialnego w czasie ostatniego zlodowacenia. Denudacja form doprowadziła do znacznego złagodzenia rzeźby, przy czym wszelkie formy pozytywne zostały obniżone o wartość dochodzącą do 10 m, a zagłębienia odpowiednio wypełnione. Zachowane w tym zrównanym krajobrazie wzniesienia mają przeważnie charakter ostańców, a tu i ówdzie widoczna stromość zboczy, pochodzenia erozyjnego, sugeruje istnienie młodych form polodowcowych.

Dla porównywania dynamiki form czołowo-morenowych stadium Warty z dynamiką form marginalnych stadiów głównych ostatniego zlodowacenia opracowano krzywe hipsograficzne dla wybranych fragmentów głównych stref czołowo-morenowych, poczynawszy od stadium Warty a skończywszy na stadium pomorskim. Równocześnie wykonano specjalne szkice hipsometryczne wybranych fragmentów moren czołowych⁸. Dla stadium Warty wybrano okolice Tuszyna (rys. 1a, 2a), a dla stadium brandenburskiego okolice Osiecznej (rys. 1b, 2b). Różnica w dynamice form obu stadiów jest bardzo wyraźna. Z załączonego szkicu hipsometrycznego dla fragmentu strefy moren czołowych stadium Warty wynika, że jest to w pełni krajobraz erozyjno-denudacyjny o płaskich wzniesieniach i wyraźnych, regularnych spadkach, pozbawiony charakterystycznych form akumulacji lodowcowej. Natomiast morena czołowa Grodzisko pod Osieczną reprezentuje dobrze zachowaną formę akumulacji czołowej lądolodu o licznych drobnych wyniosłościach i niejednorodnych spadkach. Podwójne załamanie krzywej hipsograficznej tej moreny czołowej wiąże się z położeniem jej na krawędzi wysoczyzny morenowej nad rozległym obniżeniem pojeziernym pochodzenia erozyjnego (fluwioglacjalnego).

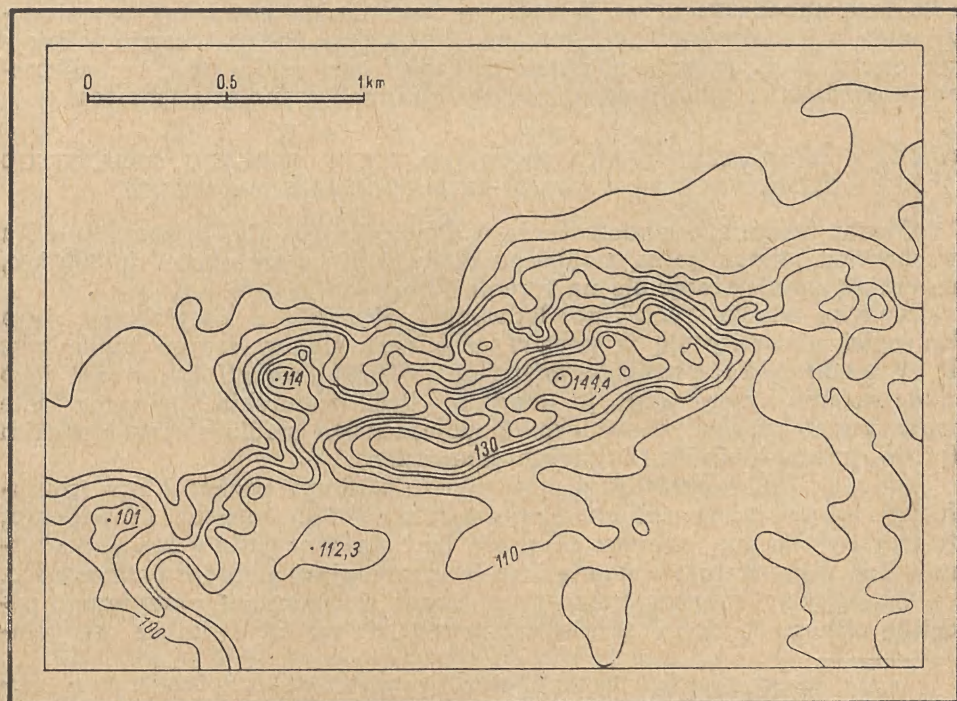
Zasadnicza różnica morfologiczna pomiędzy stadium Warty a stadium brandenburskim wynika także z przebiegu diagramów ilustrujących ilość zagłębień bezodpływowych w kierunku południowym od Bałtyku do stadium Warty łącznie, opracowanych w 1938 r. przez R. Galona [3]. Diagramy te potwierdzają w pełni odrębność stadium Warty w stosunku do ostatniego zlodowacenia, a wykazany w nich kontrast morfologiczny pomiędzy stadium Warty a stadium brandenburskim znalazł swoje wyjaśnienie dopiero w ostatnich latach, gdy rozpoznano charakterystyczne formy rzeźby peryglacialnej występującej powszechnie na południu od stadium brandenburskiego, czyli od najdalszego zasięgu ostatniego zlodowacenia, w czasie którego wytworzyła się w sąsiedztwie czaszy lodowej owa rzeźba peryglacialna.

Z kolei należy kilka słów poświęcić wyróżnionemu przez B. Halickiego [12] zlodowaceniowi północno-polskiemu (wzgl. północno-polskiemu), którego osady i formy zachowały się na powierzchni jedynie w Polsce północno-wschodniej, gdyż na pozostałym obszarze — zdaniem jego — osady tego zlodowacenia zostały przykryte przez utwory ostatniego zlodowacenia. Zagadnienie to jest dla naszych rozważań bardzo ważne, ponieważ B. Halicki w swym schemacie 6 zlodowaceń uważa moreny te

⁸ Waśkowska A., *Krzywe hipsograficzne wybranych moren czołowych* (praca magisterska w rękopisie), Toruń 1955.



Rys 2a. Krajobraz morenowo-czołowy stadium Warty (okolica Tuszyna)



Rys. 2b. Morena czołowa stadium leszczyńskiego (Grodzisko pod Osieczną)

za młodsze od stadium Warty, które włącza do zlodowacenia środkowo-polskiego. Co prawda pierwotnie autor ten skłonny był identyfikować zlodowacenie północno-polskie ze stadium Warty, wyznaczając jego zasięg zgodnie z Woldstedtem w kierunku Podlasia i Polski Środkowej. Obecnie jednak Halicki, parabelizując zlodowacenie północno-poleskie (obecnie północno-polskie) ze stadium moskiewskim, które N. Sokółow uważa za odrębne, przedostatnie zlodowacenie prowadzi granicę jego zasięgu bardziej na północ od stadium Warty (i stadium podlaskiego B. Zaborzkiego) w kierunku górnej Narwi i Białegostoku. Stadium Warty kryje się pod osadami zlodowacenia północno-polskiego, którego dalszy przebieg ku zachodowi jest nie znany. Halicki nie wyklucza, że do tego zlodowacenia należą moreny czołowe Czerwonego Boru, okolic Ciechanowa i Mławy⁹. Dalej ku zachodowi utwory zlodowacenia północno-polskiego — zdaniem Halickiego — kryją się z kolei pod osadami ostatniego zlodowacenia. Zlodowacenie północno-polskie „cechują zamierające jeziora reliktowe, rynny jezienne, liczne zagłębienia bezodpływowe oraz ozy dolinne“ [12, str. 98]. Zatem jest to krajobraz stosunkowo młody, co także stwierdza J. Nowak [32], opisując formy poszczególnych zlodowaceń. Autorka ta podkreśla, że obszary stadium Warty i zlodowacenia północno-polskiego wykazują pewne podobieństwo pod względem krajobrazowym, różnią się natomiast stopniem zwietrzenia osadów morenowych. St. Pietkiewicz¹⁰ na podstawie szczegółowych badań potwierdza charakterystykę krajobrazu zlodowacenia północno-polskiego, podaną przez B. Halickiego i J. Nowak, lecz określa je zgodnie z poglądami radzieckich dyluwialistów jako stadium zlodowacenia środkowo-polskiego (przedostatniego). W żadnym razie nie jest ono jakąś fazą zlodowacenia bałtyckiego (ostatniego). St. Pietkiewicz proponuje w miejsce nazwy zlodowacenia północno-polskiego określenia „stadium północno-wschodnie“, a to z uwagi na zasięg i kierunek nasunięcia lodowca.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA MORFOLOGICZNA OBSZARU OSTATNIEGO ZLODOWACENIA. ZAGADNIENIE PODZIAŁU NA STADIA

Obszar ostatniego zlodowacenia w Polsce zwęża się bardzo silnie ku wschodowi, stanowiąc na zachód od Wisły strefę o szerokości do 300 km, natomiast zmniejszając się na terenie Mazur do 50—70 km.

Kolejne stadia recesyjne łądolodu połączone z oscylacjami jego krawędzi utrwały się w postaci większych ciągów moren czołowych. P. Woldstedt wyróżniał pierwotnie (1929) trzy główne stadia tego zlodowacenia, nazywając je stadium brandenburskim (równocześnie maksymalny zasięg ostatniego zlodowacenia), stadium frankfurckim (pierwotnie poznańskim) i stadium pomorskim.

Później (1931) wyróżnił on na zapleczu stadium poznańskiego (frankfurckiego) jeszcze fazę chodzieską, a ostatnio (1950) dochodzi do wniosku, że moreny czołowe, ciągnące się przez Tucholę, Wąbrzeźno, Iławę, Szczytno i Elk, reprezentują wstępną fazę (transgresyjną) stadium pomorskiego.

Czy istnieje stratygraficzno-florystyczne uzasadnienie powyższego podziału ostatniego zlodowacenia, zatem czy istnieją odpowiednie osady in-

⁹ Warto tu przypomnieć, że P. Woldstedt ostatnio [45, str. 259] zalicza moreny czołowe okolic Ciechanowa i Mławy do stadium Warty.

¹⁰ Informacja listowna z grudnia 1955 r.

terstadialne? K. Bitner [1] znalazł nad Bugiem w pobliżu Mielnika organogeniczne osady ostatniego interglacjału przykryte mulastymi utworami dwóch faz chłodniejszych, które — być może — odpowiadają dwom stadiom ostatniego zlodowacenia. Z nowszych jednak badań wynika, że osady interstadiału mazurskiego przynajmniej częściowo pochodzą z późnego glacjału. W każdym razie — co zresztą P. Woldstedt przyznaje — sytuacja stratygraficzna tych utworów jest niejasna. Zatem kryteria stratygraficzne — jak dotąd — nie wyjaśniają w sposób niewątpliwy zagadnienia ilości stadiów ostatniego zlodowacenia. Powróćmy więc do kryteriów morfologicznych.

Czy w świetle przedstawionego obrazu morfologicznego przyjęcie tylko trzech stadiów recesyjnych lądolodu jest słuszne? Analizujemy kolejno fazy postępu lądolodu od jego maksymalnego zasięgu do momentu zniknięcia z obszaru Polski.

OPIS SZCZEGÓŁOWY KOLEJNYCH STADIÓW OSTATNIEGO ZLODOWACENIA

A. Stadium leszczyńskie (brandenburskie), oznaczające maksymalny zasięg ostatniego zlodowacenia, wyznacza ciąg morenowy, prowadzący przez Zieloną Górę, Wschowę, Leszno, Żerków, Wrześnię, Konin, Babiak, Gostynin, Wzgórza morenowe w okolicy Konina (Złota Góra), Koła i Turka należą już do starszego zlodowacenia. Wyraźny na ogół ciąg morenowy wykazuje liczne zagięcia swego przebiegu, wysuwając się na pd., np. w górę doliny Nysy lub w obniżeniu Odry, a zatrzymując się nad wałem Zielono-górskim. W okolicy Wrześni zaznacza się w przebiegu granicy stadium leszczyńskiego głęboka zatoka, stwierdzona przez St. Majdanowskiego (patrz wyżej) i będąca początkiem rozdziału lądolodu na lob odrzański i lob wiślany. W pobliżu doliny Wisły moreny czołowe tego stadium zanikają. Przypuszcza się, że zostały one zniszczone lub przykryte przez utwory morenowe w czasie ruchu oscylacyjnego lądolodu podczas stadium poznańskiego. Marginalne formy stadium leszczyńskiego, a tym samym maksymalnego zasięgu ostatniego zlodowacenia, pojawiają się dopiero daleko na wschód od doliny Wisły, na terenie wielkiego sandru mazurskiego (wzgl. kurpiowskiego), tu i ówdzie wyzierając spod przykrycia sandrowego. Także liczne jeziora rynnowe, wstępujące wśród piasków sandrowych, wskazują tu zasięg ostatniego zlodowacenia.

Moreny czołowe stadium leszczyńskiego wykazują formy świeże i typowe dla akumulacji lodowcowej, stosunkowo mało przekształcone przez późniejsze procesy erozyjne i denudacyjne (por. rys. 1b, 2b).

B. Stadium poznańskie (frankfurckie) reprezentuje przede wszystkim główny ciąg moren czołowych, prowadzący przez Sulecin, Poznań, Gniezno, Sompolno, Gostynin do doliny Wisły, a na wschód od Wisły przez Lipno, Górzno, Dabrowno, Szczytno, Ruciane, dotykając jez. Śniardwy od południa. Stadium to posiada charakter oscylacyjny, a nawet transgresyjny. Świadczy o tym nie tylko rozległy lob lodowcowy, który wysunął się w górę obecnej doliny Wisły¹¹, lecz także szereg mniejszych lobów oscylacyjnych utrwalonych przez półkola moren czołowych, jak lob odrzański, lob obrzański, lob mosiński i lob wrzesiński.

¹¹ Pomijam tu oporną kwestię zlodowacenia dolinnego wg poglądów J. Lewińskiego [23] i St. Lencewicza [22].

Także W. Nechey [31] przyjmował, że moreny czołowe ziemi dobrzyńskiej (na wschód od doliny Wisły) są następstwem wielkiej oscylacji lądolodu („oscylacja dobrzyńska“). Formy stadium poznańskiego na obszarze Polski są potężne i typowe. Występują liczne zagłębienia bezodpływowe, świadczące o młodości krajobrazu. Podany przykład form tego stadium z okolic Poznania, mianowicie Moraska Góra (rys. 1c, 2c), nie reprezentuje w pełni charakterystycznej dla tego stadium rzeźby polodowcowej, ponieważ bliskość przełomowej doliny Warty niewątpliwie wpłynęła przyspieszająco na jej przekształcenia denudacyjno-erozyjne.

Stadium poznańskie w świetle kryteriów morfologicznych było niewątpliwie ważnym etapem w przebiegu ostatniego zlodowacenia i nie można się zgodzić z niektórymi badaczami niemieckimi, występującymi przeciw równorzędności stadium poznańskiego z pozostałymi¹². Co praw-



Rys. 2c. Morena czołowa stadium poznańskiego (Moraska Góra pod Poznaniem)

da — jak dotąd — brak dowodu stratygraficznego na istnienie interstadiału pomiędzy stadium leszczyńskim a stadium poznańskim, jednak charakter transgresyjny tego stadium, o czym świadczą liczne półkola morenowe, a zwłaszcza łob wiślany przykrywający poprzednie stadium, oraz rozwinięcie przestrzenne i wysokościowe moren czołowych dowodzą dużej samodzielności stadium poznańskiego.

C. Pomiedzy głównymi ciągami moren czołowych stadium poznańskiego i stadium pomorskiego występuje wiele drobniejszych a także większych ciągów moren czołowych, reprezentujących fazy postępu lądolodu pomiędzy powyższymi stadiami. Formy te zajmują znaczny obszar, zwłaszcza pomiędzy łobem odrzańskim i łobem wiślany stadium pomorskiego. Zachodzi pytanie, czy ważniejsze z tych stref marginalnych odpo-

¹² Por. przeglądowy artykuł J. E. Mojskiego [30, str. 257].

wiadają większym fazom postępu lądolodu, zbliżając się w swym charakterze do poprzednio opisanych stadiów. Zagadnienie to rozważają P. W o l d s t e d t [45], St. P i e t k i e w i c z i R. G a l o n [6]. Załączony obraz kartograficzny przebiegu stref marginalnych jest bardziej szczegółowy dla obszaru położonego na pn. od pradoliny Noteci niż dla terenów położonych po południowej stronie tej pradoliny. Niemniej jednak można wydobyć główne rysy morfogenetyczne dla całości obszaru międzystadialnego.

Na zapleczu głównej strefy moren czołowych stadium poznańskiego, na południe od pradoliny Noteci, zaznacza się kilka ciągów moren czołowych o przebiegu skośnym wzgl. lobalnym. Najważniejszy z nich, przebiegający od ujścia Gwdy do Noteci w kierunku południowo-wschodnim, został określony przez P. W o l d s t e d t a [43, str. 61] jako stadium chodzieskie („Kolmarer Stadium“). Różnym tym formom marginalnym, posiadającym miejscami charakter moren spiętrzonych, odpowiadają po wschodniej stronie doliny Wisły w okolicach Lipna liczne drobne ciągi moren czołowych przeważnie o charakterze lobalnym. Wspomniane strefy marginalne pozostają z jednej strony w związku z rozległym lobem Wisły stadium poznańskiego, a z drugiej strony stanowią obrzeżenie wielkiej kotliny toruńsko-bydgoskiej, która ułatwiła wysunięcie się lądolodu na tym terenie w postaci szerokiego lobu. P. W o l d s t e d t widzi w stadium chodzieskim początek tworzenia się wielkiego lobu wiślanego stadium pomorskiego. Jednolity dotychczas front lodowy uległ powolnemu rozdzieleniu na lob wiślany i lob odrzański. W okolicach Wałcza, sądząc z zagięcia wałów morenowych, znajdował się kontakt międzylobowy. B. K r y g o w s k i¹³ wyróżnia podobny ciąg moren czołowych, prowadząc go na linii: Gorzów — Strzelce Krajeńskie — Czarnków — Gołańcz — Gniezno i nazywając go północno-poznańską moreną czołową.

Przypuszczam, że wyżej opisany ciąg moren czołowych nie ma charakteru stadium w pełnym tego słowa znaczeniu, lecz jest jedynie jakąś większą fazą recesyjno-oscylacyjną po stadium poznańskim. Nie sądzę również, by moreny północno-poznańska (wzgl. stadium chodzieskie) oznaczały początek tworzenia się wielkiego lobu wiślanego stadium pomorskiego. Zresztą z załączonej mapy wynika także, że dalsze fazy recesyjne, zwłaszcza w sąsiedztwie pradoliny Drwęcy i Noteci oraz na północ od tych dolin, przebiegają przeważnie równoleżnikowo. Zatem skośny przebieg stadium chodzieskiego wynika z przyczyn lokalnych (kotlina toruńsko-bydgoska i ew. dolina Wisły w okolicach Włocławka); gdy dalej ku północy przyczyna ta zanika, strefy marginalne przebiegają znowu równoleżnikowo.

Szczególnie ciekawie przedstawiają się strefy marginalne występujące w postaci dwóch rzędów wyniosłych izolowanych wzgórz, towarzyszących po obu stronach pradoliny Noteci, nieraz tak blisko, że stok wzgórza morenowego zlewa się ze stokiem dolinnym, co w efekcie daje rzadko spotykane na Niżu wysokości względne, np. Dębowa Góra 198 m n.p.m., dno doliny Noteci 55 m n.p.m., zatem różnica wysokości wynosi 143 m. Wzniesienia te zawierają jądro plioceńskich ilów, tu i ówdzie ze

¹³ Wg opisu załączonego do jego mapy rękopiśmiennej dotyczącej morfogenezy obszaru Wielkopolski (1955).

śladowi dyslokacji (glacialnej) i są z wierzchu zbudowane z piasków i glin lodowcowych. Geneza tych form dotąd nie została wyjaśniona. Dzięki swej wyniosłości zostały one silnie przeobrażone przez procesy denudacyjno-erozyjne i zamienione we wzniesienia o rzeźbie erozyjnej, zwłaszcza wzgórz położone bezpośrednio nad pradoliną Noteci (np. Dębowa Góra). Ich pierwotny charakter glacialny nie ulega jednak wątpliwości. Prawdopodobnie istniały tu w czasie oscylacji lądolodu wyniosłości podłoża, które zostały jeszcze powiększone przez nacisk lądolodu,



Rys. 2d. Morena czołowa na wsch. od Więcborka

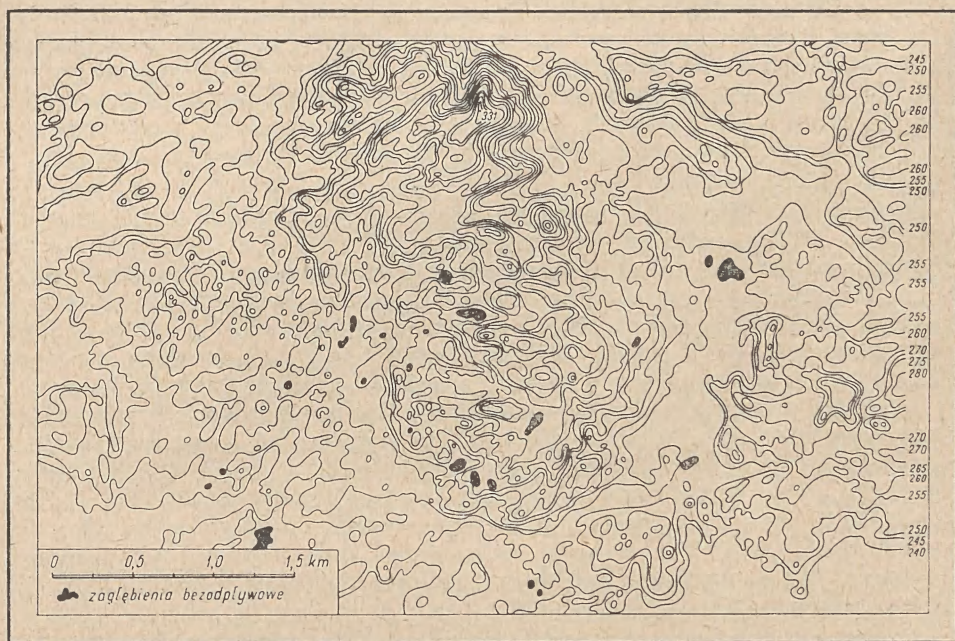
zdyslokowane, a następnie przykryte materiałem glacialnym i fluwioglacialnym. Będące w toku szczegółowe badania potwierdzają tę tezę.

Odtąd w kierunku północnym występują liczne strefy marginalne o przebiegu przeważnie równoleżnikowym z drobnymi zagłębieniami łobowymi, zarówno na zachód, jak i na wschód od doliny dolnej Wisły. Ilustruje to znakomicie załączona mapa geomorfologiczna. Szczególnie wyraźne i liczne ciągi moren czołowych stwierdzono pomiędzy Wisłą i Brdą¹⁴, przy czym w wielu wypadkach potwierdzono ścisłość obserwacji G. Maasa z 1900 roku [25]. R. Galon [6] stwierdził, że na obszarze pomiędzy pradoliną Noteci a stadium pomorskim występuje około 26 stref marginalnych w odstępach średnio co 3,5 km. Także na zachód od doliny dolnej Wisły a na północ od doliny Drwęcy prześledzono wiele ciągów moren czołowych, tu i ówdzie przerywanych przez formy po martwym lodzie [37, 42].

¹⁴ Wg obserwacji F. Wierciszewskiego (praca magisterska, Toruń 1955).

Zachodzi teraz pytanie, czy wśród tych stref marginalnych, rozpościerających się pomiędzy pradolinami Drwęcy i Noteci a stadium pomorskim, nie ma jakiejś strefy o znaczeniu stadialnym. Pytanie to jest w pełni uzasadnione, gdyż badania ostatnich 10 lat wykazały, iż na tym terenie, a zwłaszcza w okolicy Więcborka, istnieją dotychczas nie znane, potężne moreny czołowe o wysokości względnej dochodzącej do 40 m [5]. Na wschód od doliny Wisły odpowiadają im również znaczne moreny czołowe okolic Wąbrzeźna.

Załączony szkic hipsometryczny oraz krzywa hipsograficzna wzgórza morenowego z okolicy Więcborka (rys. 1d, 2d) ilustrują znakomicie cha-



Rys. 2e. Morena czołowa stadium pomorskiego (Wzgórze Szymbarskie Wieżyca)

rakter morfologiczny tej formy, świadczącej wybitnie o świeżości rzeźby polodowcowej. St. Pietkiewicz¹⁵ mówi o stadium krajeńskim (Krajna), natomiast P. Woldstedt [45, str. 364] jest skłonny przyjąć, że ciąg moren czołowych Tuchola — Wąbrzeźno — Iława — Szczytno — Elk oznacza wstępną fazę (oscylacyjną) stadium pomorskiego. Niewątpliwie omawiana strefa marginalna lądolodu odznacza się dużym natężeniem form czołowo-morenowych, nie różniących się od moren stadium pomorskiego (por. rys. 1e, 2e), lecz nie ma podstaw, by uważać je za odrębne stadium ani nawet za wysuniętą fazę stadium pomorskiego. Można raczej mówić o narastającym ku północy natężeniu rzeźby form polodowcowych, o ich wzrastającej świeżości, czyli należy przyjąć dłuższy okres recesyjny trwający aż do stadium pomorskiego i przerywany

¹⁵ Szkic stref krajobrazu polodowcowego w Polsce — nie opublikowany.

licznymi fazami postępu, a nawet drobnymi oscylacjami (np. w okolicy jez. Kramsko na wschód od Człuchowa lub w rejonie Jez. Charzykowskiego na północ od Chojnic), którym towarzyszyły procesy wytapiania się lodu stagnującego i tworzenie się tzw. krajobrazów martwego lodu (np. w okolicach Wąbrzeźna).

D. S t a d i u m p o m o r s k i e morfologicznie nie różni się wiele od poprzednich faz recesyjnych. Jak wykazał R. G a l o n [6] wysokości względne wzgórz morenowych są podobne, a większa wysokość bezwzględna moren czołowych stadium pomorskiego wynika z większej wysokości bezwzględnej wysoczyzny morenowej, która na terenie stadium pomorskiego maksymalnie się dźwiga, przekraczając 200 m. Okazało się także, że główna strefa moren czołowych stadium pomorskiego składa się z licznych, blisko siebie przebiegających ciągów morenowych, innymi słowy — na stadium pomorskie składa się większa ilość faz recesyjnych lub oscylacyjnych, podobnych do tych, które spotykamy na przedpolu, jedynie bardziej skupionych. Czy zatem wolno nam traktować moreny stadium pomorskiego równorzędnie z morenami czołowymi występującymi na jego przedpolu ¹⁶?

Kryterium oddzielającym stadium pomorskie od podobnych starszych form jest przede wszystkim ich kontakt morfologiczny. Ciągi moren czołowych na przedpolu stadium pomorskiego przebiegają w zasadzie równoleżnikowo, natomiast moreny czołowe stadium pomorskiego, wysuwając się półkolisto na obszar starszych moren czołowych, ścinają je w licznych miejscach (por. mapę). Niewątpliwie mamy do czynienia z zasadniczym nasunięciem czaszy lodowej, z nawrotem zlodowacenia, które jako stadium pomorskie ponownie dotknęło tereny poprzednio uwolnione z pokrywy lodowej. Podczas tego nasunięcia lodowiec zniszczył poprzednio usypane moreny czołowe, które przetrwały jedynie w przestrzeni międzylobowej, wyzierając częstokroć spod pokrywy sandrowej. Na tej samej linii równoleżnikowej występują moreny czołowe starszych faz obok moren czołowych nowego nasunięcia, które różnią się od moren starszych faz kierunkiem swego przebiegu, dostosowanym do kształtu lobów lodowcowych [6, str. 56-57].

Powyższa rozbieżność w przebiegu moren czołowych stadium pomorskiego i moren czołowych na przedpolu tego stadium była zapewne wynikiem ruchów tektonicznych, które spowodowały zróżnicowanie powierzchni podlodowcowej w obszarze nadbałtyckim, a przede wszystkim nad dolną Odrą i dolną Wisłą, i wytworzenie się owych wielkich lobów, tak charakterystycznych dla stadium pomorskiego. Zatem powyższe ruchy tektoniczne odbyły się dopiero w czasie oscylacji lądolodu na początku stadium pomorskiego lub w poprzedzającym go interstadiale [por. 6, str. 57].

Zgodnie z powyższymi wywodami najdalszy zasięg stadium pomorskiego na terenie Pomorza określają moreny czołowe lobu odrzańskiego i lobu wiślanego. Wyprzedzają je w kilku miejscach w niewielkim oddaleniu moreny oscylacyjne. W żadnym jednak wypadku oscylacja lądolodu w czasie stadium pomorskiego nie sięgała — jak przyjmuje P. W o l d s t e d t [45] — aż do moren okolic Więcborka, Tucholi i Wąbrzeźna. Jak wyżej wyjaśniono, moreny te są starsze od stadium pomor-

¹⁶ Por. dalsze rozważania na powyższy temat w artykule R. Galona [6].

skiego. Zresztą w znacznej części przypadają one na obszar międzylobowy (pomiędzy lobem Wisły a lobem Odry).

Zasięg stadium pomorskiego jest szczególnie wyraźny wzdłuż zwarłych moren czołowych lobu odrzańskiego. Jest to najdalszy zasięg tego stadium na Niżu Środkowo-europejskim. Ku wschodowi lob odrzański przechodzi w strefę moren czołowych równoległą do wybrzeża, a obejmującą najwyższe kulminacje terenu. Strefa ta składa się z licznych drobnych lobów. Z przebiegu form marginalnych wynika, że lodowiec był tu bardzo ruchliwy. Pod ostrym kątem międzylobowym, któremu odpowiadały strefa szczelinowa w lądolodzie i ożywiona działalność wód roztopowych na jego przedpolu, styka się pomorska strefa moren czołowych z lobem wiślanym. Jest on znacznie mniejszy od lobu odrzańskiego i przy tym mniej wyraźnie wykształcony. Toteż nie zawsze łatwo go odzielić od starszych form morenowych. Zadanie to przeprowadziła L. Roszkówna [37], ustalając m. in. granicę zasięgu lobu wiślanego po wschodniej stronie doliny dolnej Wisły.

Badania tej autorki [36] oraz J. Kondrackiego [19] pozwoliły na dokładne ustalenie zasięgu stadium pomorskiego na wschód od dolnej Wisły. Ostrą granicą międzylobową oddziela się w okolicy Morąga lob Wisły od wyraźnego lobu Łyny, który z kolei kontaktuje się z rozległym, lecz krótkim lobem mazurskim, przypadającym na tzw. dolinę mazurską i dochodzącym do północnego skraju jez. Śniardwy. W okolicy Suwałk rozpoczyna się następny lob. Zatem stadium pomorskie jako stadium transgresyjne zajmuje na terenie Mazur większą część przypadającego tu obszaru ostatniego zlodowacenia. Poprzednie stadia są reprezentowane tylko przez dwa ciągi moren czołowych, przy czym zewnętrzny z nich znika przeważnie wśród piasków sandrowych. W każdym jednak razie moreny czołowe okolic Nidzicy i Szczytna według badań J. Kondrackiego [19] należą do stadium poznańskiego, a nie — jak to przyjmuje P. Woldstedt [45, str. 260] — do wstępnej fazy stadium pomorskiego¹⁷.

Moreny czołowe stadium pomorskiego mają przeważnie typową formę wałów występujących często w kilku szeregach i obfitujących w zagłębienia bezodpływowe różnej wielkości (por. rys. 2e). Obok tych typowych form możemy ogólnie wyróżnić strefy marginalne, morfologicznie mniej przejrzyste. Wszystkie formy marginalne reprezentują albo typ moreny akumulacyjnej (zwałowej i warstwowanej), albo moreny spiętrzonej. Prawie wszędzie moreny czołowe stadium pomorskiego przechodzą w stożki sandrowe, rozwinięte szczególnie silnie na obszarach międzylobowych.

Na zapleczu głównego ciągu moren czołowych względnie odpowiedniej strefy marginalnej, które reprezentują maksymalny zasięg stadium pomorskiego, występują liczne moreny czołowe, odpowiadające drobniejszym fazom postoju lądolodu w czasie trwania stadium lub w czasie regresji lądolodu na obszar Bałtyku. Wnętrze lobu odrzańskiego jest zaskakująco ubogie pod względem form marginalnych. Bardziej znane są

¹⁷ Warto tu przypomnieć, że dawniej (1931) także P. Woldstedt prowadził granicę stadium poznańskiego przez Nidzicę—Szczytno—Ruciane—Orzysz—Elk, a granicę stadium leszczyńskiego wzdłuż pojedynczych wzgórz morenowych występujących już na sandrze, np. w okolicy Wilbarka.

drumliny tam występujące. Wobec braku szczegółowych badań na tym terenie nie jesteśmy jeszcze w stanie zrekonstruować przebiegu procesu zaniku lobu odrzańskiego. Na terenie Pomorza rejestrujemy co najmniej trzy lub cztery większe fazy postoju lądolodu utrwalone w postaci wyraźnych ciągów moren czołowych. Na terenie lobu wiślanego występuje wiele moren czołowych tworzących miejscami półkoliste układy. L. R o s z k ó w n a [36] wyróżniła na wschodniej stronie doliny Wisły dwanaście faz postojowych, połączonych z oscylacjami. Zanik tego lobu odbył się etapami i trwał stosunkowo długo. Wiele drobnych faz postojowych notujemy wewnątrz lobu Łyny. Główna strefa moren czołowych lobu mazurskiego na północ od jez. Śniardwy składa się według J. K o n d r a c k i e g o [19] z dwóch lub trzech ciągów marginalnych. Dalej ku północy występują depresje końcowe, zajęte obecnie przez jeziora i oddzielone od siebie ciągami moren czołowych. W całości można na terenie wielkich jezior mazurskich wyróżnić 8-10 większych faz postoju lądolodu, składających się z kilkudziesięciu drobnych postojów. Ostatnie, najmłodsze, moreny czołowe występują na wybrzeżu Pomorza w okolicy jeziora Gardno. Należą one już do gotiglacjału. Dalsze ciągi moren czołowych można prześledzić na dnie Bałtyku [14]. Z przebiegu ostatnich faz recesyjnych wynika, że lądolód wycofywał się etapami wzdłuż linii równoległej do obecnego wybrzeża Bałtyku przy równoczesnym kurczeniu się charakterystycznych dla stadium pomorskiego lobów lodowcowych.

UWAGI KOŃCOWE

Przedstawiono obraz przebiegu ostatniego zlodowacenia na terenie Polski od chwili osiągnięcia swego maksymalnego zasięgu. Obraz ten, oparty głównie na powojennych polskich badaniach terenowych, w niektórych wypadkach potwierdza dotychczas panujące poglądy badaczy polskich i niemieckich, jednak w większości wypadków oznacza nowe i pełniejsze ujęcie poszczególnych zagadnień dotyczących ostatniego zlodowacenia w Polsce, jak np. zagadnienie drobnych faz postoju lądolodu, lokalnych jego oscylacji, występowania licznych drobnych lobów czy kwestia stosunku stadium Warty do ostatniego zlodowacenia lub samodzielności stadium pomorskiego.

Specjalną uwagę zwrócono na możliwość rekonstrukcji przebiegu ostatniego zlodowacenia w świetle analizy drobnych faz recesyjnych lub oscylacyjnych lądolodu. W dotychczasowych pracach interpretowano poszczególne stadia ostatniego zlodowacenia głównie na podstawie przebiegu skrajnych w danym stadium moren czołowych, mało się interesując drobniejszymi ciągami moren czołowych, wypełniającymi przestrzeń pomiędzy jedną a drugą moreną stadialną. Okazuje się, że dopiero analiza tych licznych drobnych form pozwala na właściwą ocenę morfogenetyczną skrajnych stadialnych moren czołowych i umożliwia szczegółowo rekonstrukcję zróżnicowanego przebiegu deglacjacji na ziemiach polskich.

W niniejszych rozważaniach uwypuklono rolę morfologiczną ciągów morenowych z pominięciem form po martwym lodzie, które przecież na rozpatrywanym obszarze zajmują znaczne obszary. Pominięto także całkowicie kwestie odwodnienia, sandrów i pradolin i ich stosunku do poszczególnych stadiów i faz postoju lądolodu. Zostały one jedynie zarejestrowane na załączonej mapie. Ich szczegółowe omówienie nastąpi przy innej okazji.

Prace badawcze nad przebiegiem stref marginalnych lądolodu na terenie Polski są w pełnym toku. Ich ostatecznym celem jest ustalenie bezwzględnego wieku kolejnych etapów deglacjacji obszaru Polski i podporządkowanie tych faz rytmicznym wahnięciom plejstocénskiego klimatu.

L i t e r a t u r a

1. Bitner K., *Biul. Instyt. Geolog.*, **69** (1954).
2. Dylik J., *O peryglacialnym charakterze rzeźby środkowej Polski*, Łódzkie Tow. Naukowe, 1953.
3. Galon R., *Comptes Rendus du Congr. Intern. de Géogr.*, Amsterdam, 1933, vol. I.
4. Galon R., *Rocznik Polskiego Tow. Geol.*, **21**, nr 3, (1952).
5. Galon R., *Stud. Soc. Tor.*, (1952).
6. Galon R., *Księga Pam. 75-lecia Tow. Nauk. w Toruniu*, 1952.
7. Galon R., *Przegląd Geograficzny* **25**, z. 3, (1953).
8. Galon R., *Czasopismo Geograficzne* **25**, (1954).
9. Galon R. i Roszkówna L., *Przegląd Geograficzny* z. 3, (1953).
10. Grahamann R., *Berichte d. Sächs. Ak. d. Wissensch.*, **80**, (1928).
11. Halicki B., *Acta Geologica Polonica* **1**, (1950).
12. Halicki B., *Acta Geol. Pol.* **2**, (1951).
13. Halicki B., *Rocznik Polskiego Tow. Geol.* **20**, 3, (1951).
14. Hartnack W., *Der Nordosten*, Danzig, 1931.
15. Jessen K., Milthers V., *Danmarks Geol. Undersög.*, II Reakke **48**, Köbenhavn 1948.
16. Kalniet A., *Wiadomości Muzeum Ziemi*, **6**, 2, (1952).
17. Keilhack K., *Geologische Übersichtskarte der Provinz Pommern 1:50.000*, Preuss. Geol. Landesanstalt. Berlin, 1930.
18. Klimaszewski M., *Biul. Państw. Geol.* **65**, (1952).
19. Kondracki J., *Biul. Państw. Inst. Geol.* **65**, (1952).
20. Kondracki J., Czaplicka J., *Atlas Polski, Morfologia*. Warszawa, 1949.
21. Krygowski B., *Monografia Odry*, Instytut Zachodni, Poznań, 1948.
22. Lencewicz St., *Prace Państw. Inst. Geol.* **2**, (1927).
23. Lewiński J., *Sprawozdanie Państw. Inst. Geol.* **2**, (1924).
24. Lewiński J., *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, **6**, (1929).
25. Maas J., *Jahrbuch d. Preuss. Geol. Landesanstalt*, Berlin, 1900.
26. Majdanowski St., *Przegląd Geograficzny*, (1947).
27. Majdanowski St., *Bad. Fizjogr. nad Polską Zachodnią* nr **2**, z. 1, Poznań, 1950.
28. Mazarowicz A. N., *Biul. Komisji po izuczeniu czetwierticznego perioda*, Moskwa, 1951.
29. Milthers V., *Geol. Föreningens i Stockholm Förhandlingar* **72**, 3, (1950).
30. Mojski J. E., *Biul. Inst. Geol.* **70**, (1955).
31. Nechay W., *Sprawozdanie Państw. Inst. Geol.*, (1927).
32. Nowak J., *Wiad. Muzeum Ziemi*, **6**, (1952).
33. Pachucki Cz., *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **65**, (1952).
34. Pawłowski St., *Congr. Intern. de Géogr.*, (1934).
35. Pietkiewicz St., *Przegląd. Geogr.* **8**, z. 3-4, (1928).

36. Roszkówna L., *Stud. Soc. Sc. Tor.*, (1954).
37. Roszkówna L., *Studia Soc. Sc. Tor. Sectio C.*, (1956).
38. Różycki St., *Studium Planu Krajowego GUPP*, Warszawa, 1947.
39. Rühler E., *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **70**, (1955).
40. Szafer Wł., *Rocznik Polsk. Tow. Geol.*, **22**, z. 1, (1953).
41. Szafer Wł., *Biul. Inst. Geol.* **70**, Warszawa (1955).
42. Tywoński W., *Sprawozd. Tow. Nauk. w Toruniu*, 5, (1953).
43. Woldstedt P., *Jahrbuch d. Preuss. Geol. Landesanstalt*, Berlin, 1931.
44. Woldstedt P., *Comptes Rendus du Congr. Intern. de Geogr., Trav. de la Section II.*, Varsovie, 1934.
45. Woldstedt P., *Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter*, Stuttgart, 1950.
46. Wunderlich E., *Geogr. Abhandl.* Berlin, 1947.

KONFERENCJA RADIOCHEMICZNA W LENINGRADZIE

W dniach od 5 do 9 marca br. w Leningradzie odbyła się zorganizowana przez Wydział Nauk Chemicznych Akademii Nauk ZSRR pierwsza wszechzwiązkowa konferencja radiochemiczna. Właściwiej byłoby ją nazwać drugą konferencją tego rodzaju, gdyż już w 1935 roku odbyła się konferencja naukowa poświęcona omówieniu prac chemików, fizykochemików i geochemików radzieckich w dziedzinie promieniotwórczości. W konferencji 1935 roku brali czynny udział wybitni uczeni W. Wernadski, A. Fersman, W. Chłopin, jak również B. Nikitin, A. Polesicki, A. Ratner i inni — wówczas młodzi naukowcy, którzy następnie odegrali poważną rolę w tej dziedzinie badań.

Program obecnej konferencji obejmował niektóre podstawowe zagadnienia radiochemii, w zasadzie zaś wyłączone z niego były zagadnienia zastosowania izotopów promieniotwórczych w badaniach chemicznych. Jak zapowiedział otwierając konferencję członek-korespondent Akademii Nauk ZSRR J. Starik, tym ostatnim zagadnieniom poświęconych będzie szereg specjalnych konferencji w przyszłości. (Pierwsza z nich to odbyta w dniach 4-11 kwietnia br. w Moskwie wszechzwiązkowa konferencja poświęcona zastosowaniu izotopów promieniotwórczych i trwałych oraz promieniowania jądrowego w nauce i technice [p. *Atomnaja energija* 2, 101 (1957)]. W IV kwartale, również w Moskwie, odbędzie się konferencja poświęcona zastosowaniu izotopów promieniotwórczych w chemii analitycznej).

Na każdym posiedzeniu wygłaszany był jeden lub dwa referaty ogólne (40 minut) oraz kilka krótkich komunikatów z prac oryginalnych (10 minut), przeważnie związanych tematycznie z wygłoszonymi referatami, po czym wszyscy referenci udzielali odpowiedzi na zadane im (przeważnie bardzo liczne) pytania oraz następowała dyskusja. Należy stwierdzić, że ta ostatnia należała do najciekawszych stron konferencji, gdyż w jej toku niejednokrotnie poruszano w bardzo kompetentny sposób ogólne i aktualne tematy radiochemii. Np. niezmiernie interesująca była wymiana poglądów już na pierwszym posiedzeniu pomiędzy S. Rogińskim i J. Starikiem w sprawie możliwości pozostania produktu tworzącego się w toku rozpadu promieniotwórczego pierwiastków ciężkich w siatce krystalicznej substancji macierzystej.

Pierwsze posiedzenie (5 marca), któremu przewodniczył członek Akademii Nauk ZSRR A. Winogradow, poświęcone było omówieniu formy, w jakiej znajdują się mikroilości pierwiastków promieniotwórczych w fazach ciekłej i stałej (referat na ten temat wygłosił J. Starik). Jest to problematyka tradycyjna dla radiochemii radzieckiej, gdyż systematyczne prace w tej dziedzinie rozpoczął w trzydziestych latach W. Chłopin i do dziś są one prowadzone przez jego szkołę w Leningradzie (w Instytucie Radowym im. Chłopina Akademii Nauk ZSRR oraz w Katedrze Radiochemii Uniwersytetu Leningradzkiego).

Przypomnijmy, że cechą charakterystyczną bardzo rozcieńczonych roztworów jest to, że znajdujące się w nich w nieznacznym stężeniu substancje wykazują szczególne własności fizykochemiczne, a mianowicie zachowują się jak koloidy. W szczególności w przypadku bardzo rozcieńczonych roztworów, zawierających

wskaźnikowe ilości pierwiastka promieniotwórczego, mówimy o radiokoloidalnym stanie tego pierwiastka. W literaturze naukowej od dawna istnieją dwa odmienne poglądy na temat natury radiokoloidów. Pierwszy z nich reprezentuje H a h n, wyjaśniający tworzenie się radiokoloidów adsorpcją jonów pierwiastka promieniotwórczego na ciałach obcych, znajdujących się w roztworze, głównymi zaś przedstawicielami drugiego poglądu są C h ł o p i n i i jego szkoła (S t a r i k, N i k i t i n) w ZSRR, jak również P a n e t h i H a i s s i n s k y, który procesom adsorpcyjnym przy tworzeniu się radiokoloidów przypisują drugorzędną rolę, radiokoloidy zaś traktują jako cząstki „uformowane” ze znajdującego się w roztworze mikroskładnika (izotopu promieniotwórczego). S t a r i k w swym referacie, jak również jego współpracownicy w kilku zreferowanych pracach przytaczali wiele argumentów przemawiających za słusnością drugiego poglądu. Należy podkreślić, że w ostatnich latach radiochemicy amerykańscy wykonali wiele prac w tej dziedzinie, lecz nie doprowadziły one do ostatecznego wyjaśnienia zagadnienia. Dla prac tych charakterystyczne jest ignorowanie dawnych osiągnięć, w wyniku czego autorzy w latach 50-tych popełniają błędy eksperymentalne, na które dawno już zwrócono uwagę. Np. znane prace K u r b a t o w a i S c h w e i z e r a zawierają zdaniem S t a r i k a, błędne rezultaty.

Dodajmy, że w czasie dyskusji A. F o m i n wysunął ciekawą propozycję zastosowania metod ekstrakcji do badania stanu chemicznego izotopów promieniotwórczych w bardzo rozcieńczonych roztworach. (Metoda ta nie była dotychczas stosowana w tego rodzaju pracach; prace S t a r i k a i współpracowników wykonywane są głównie metodą adsorpcji i desorpcji na szkle oraz ultrafiltracji i przy pomocy wirowania).

Oprócz referatu S t a r i k a na posiedzeniu wygłoszone były następujące komunikaty:

- 1) A. K o s i c y n, *Stan mikroilości Ru i Tl w roztworach*,
- 2) A. K o l a d i n, *Stan mikroilości U w roztworach*,
- 3) Z. S t a r i k, *Stan Zr⁹⁵ w roztworach wodnych*,
- 4) N. R u d n i e w i A. B r a g i n a, *Badania mechanizmu współstrącania kationów na siarczkach różnych metali*,
- 5) J. G e r l i t, *Stan jonów różnych wartościowości Tc w roztworach*,
- 6) W. B a r a n o w, A. B a b i e n k i n i K. Z a b o r e n k o, *O zachowaniu się naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w roztworach*.

W drugim dniu obrad na posiedzeniu przedpołudniowym przewodniczył członek Akademii Nauk ZSRR J. C z e r n i a j e w. Wygłoszone zostały dwa referaty:

- 1) W. G r e b i e n s z c z i k o w a, *Współstrącanie radiopierwiastków na osadach krystalicznych*,
- 2) A. G r i n b e r g, *Rola związków kompleksowych w radiochemii*, oraz cztery komunikaty z prac oryginalnych:
 - 1) A. B r y z g a ł o w a, *Zastosowanie izotopów promieniotwórczych do oznaczenia współczynników współkrystalizacji*,
 - 2) W. B o b r o w a, *Współstrącanie metali o wartościowościach III i IV na K₂SO₄*,
 - 3) A. R a t n e r i L. M a k a r o w, *Badanie termodynamiczne procesu współkrystalizacji w układzie KCl — RbCl — H₂O*,
 - 4) G. G o r s t e i n, *Rozdział składników izomorficznych pomiędzy fazami stałą i ciekłą*.

Problematyka zreferowana przez Grebienszczikow ą stanowi drugi, obok zagadnienia radiokoloidów, dział tradycyjny dla radiochemii radzieckiej, również biorący początek od prac Chłopina i Nikitina. Jak wiadomo, dzięki pracom szkoły Chłopina udało się wykazać, że w pewnych warunkach dla rozdziału substancji pomiędzy fazami krystaliczną i ciekłą stosuje się analogiczne prawo termodynamiczne (prawo Chłopina), jak w przypadku rozdziału pomiędzy fazami gazową i ciekłą (prawo Henry'ego) lub dwiema nie mieszającymi się wzajemnie fazami ciekłymi (prawo Berthelot — Nernsta). Kierując się prawem Chłopina można, przeprowadzając współstrącanie mikroskładnika promieniotwórczego na różnych osadach (makroskładnik), opracować metodę ustalenia wzoru chemicznego związku, w jakim znajduje się pierwiastek promieniotwórczy, gdyż prawo to stosuje się w przypadkach, gdy mikroskładnik i makroskładnik są izomorficzne lub izodimorficzne, tzn. tworzą kryształy mieszane. Przy pracach takich dogodnie jest wyznaczać nie stałą rozdziału, ale współczynnik krystalizacji D , który definiuje się tak:

$$D = \frac{x(100 - y)}{y(100 - x)},$$

gdzie x i y oznaczają odpowiednio część mikro- i makroskładnika, jaka przeszła z roztworu do fazy stałej, wyrażone w procentach (po ustaleniu się w układzie stanu równowagi).

W referacie Grebienszczikowej omówione zostały podstawy teoretyczne i metodyczne takich prac.

W obu tych, tradycyjnych dla radiochemii radzieckiej, kierunkach ośrodek leningradzki prowadzi nadal intensywne prace badawcze.

Członek-korespondent Akademii Nauk ZSRR A. Grinberg, znany specjalista w dziedzinie związków kompleksowych, od wielu lat aktywnie propaguje stosowanie metodyki wskaźników promieniotwórczych w tej dziedzinie chemii. Obecnie postawił przed sobą odwrotne zadanie — w swej ciekawej prelekcji, prowadzonej zresztą w sposób bardzo gawędziarski, licznymi przykładami ilustrował ważną rolę, jaką odgrywają dziś związki kompleksowe w radiochemii. Omówione zostało znaczenie tworzenia się kompleksów w badaniach formy chemicznej izotopów promieniotwórczych w bardzo rozcieńczonych roztworach, rola związków kompleksowych w procesach współstrącania, ekstrakcji i chromatograficznego rozdzielania izotopów promieniotwórczych. Trzeba podkreślić, że poruszone zagadnienie jest bardzo szerokie i tylko ramy czasowe referatu nie pozwoliły prelegentowi na omówienie wielu innych mieszczących się w tym temacie spraw (np. roli związków kompleksowych w reakcji Szilarda-Chalmersa i in.).

Na posiedzeniu popołudniowym drugiego dnia obrad przewodniczył członek-korespondent Akademii Nauk ZSRR S. Roginski. Omawiano bardzo istotne dla radiochemii zagadnienie sorpcji izotopów promieniotwórczych w wymiennicach jonowych. Zostały wygłoszone dwa referaty:

1) B. Nikolski, *Sorpcja radiopierwiałków w wymiennicach jonowych*,

2) J. Tunicki, *Teoria rozdzielania ziem rzadkich metodą chromatografii*.

Ponadto zreferowano następujące prace:

1) W. Paramonowa i S. Barseniew, *Formy występowania Nb w H_2SO_4 i HCl* ,

2) W. Paramonowa i A. Sergiejew, *Tworzenie kompleksów z mikroilościami Zr w roztworze HNO_3* ,

3) L. Gusiewa i L. Filipowa, *Porównanie różnych związków tworzących kompleksy przy rozdziale chromatograficznym*,

4) A. Ławruchina, F. Pawłocka, A. Pozdniakow i I. Grecziszczewa, *Rozdział chromatograficzny ultramałych ilości pierwiastków*,

5) B. Nikolski i A. Subbotina, *Wyznaczanie stałej nietrwałości jonów kompleksowych Y, Ce i La z kwasem mlekowym metodą wymiany jonowej*,

6) M. Seniawini i T. Kołosowa, *O pewnych właściwościach metody chromatograficznej przy pracy z wskaźnikowymi ilościami pierwiastka*.

Podobna tematyka była omawiana na posiedzeniu przedpołudniowym w dniu 7 marca (przewodniczący prof. A. Nikołajew). Oto wykaz wygłoszonych referatów:

1) D. Strażesko, *Badanie sorpcji jonów na niektórych adsorbentach przy pomocy wskaźników promieniotwórczych*,

2) D. Strażesko, Glazman i Bisikowa, *Badanie adsorpcji jonów o jednakowym ładunku przy koagulacji liobofobowych zoli elektrolitu*,

3) A. Ławruchina, *Poszukiwanie prometu w rudach i badanie jego właściwości chemicznych*,

4) B. Preobrażenska, O. Liłowa i A. Kaliagin, *Niektóre zagadnienia rozdziału promieniotwórczych izotopów ziem rzadkich metodą wymiany jonowej*,

5) A. Połonowa, *Badanie adsorpcji uranu na wodorotlenku żelaza przy pomocy wskaźników promieniotwórczych*,

6) A. Kuzina, *Chemia technetu*,

7) M. Lambert, *Stan mikroilości Pm w roztworach*,

8) L. Szejnina, *Nowa metoda wydzielenia Pa*.

Należy zaznaczyć, że zarówno nowa metoda wydzielenia Tc z naświetlonego Mo. zreferowana przez Kuzinę, jak i wyniki tej pracy zostały poddane bardzo ostrej krytyce przez J. Gerlita, czołowego radzieckiego specjalistę w dziedzinie chemii technetu (autora znanego referatu wygłoszonego na Konferencji Genewskiej w sierpniu 1955 r.). Z ciekawej dyskusji, jaka się na tym tle rozwinęła, wynika, że radiochemicy radzieccy mają dzisiaj opanowane metody wydzielenia technetu tylko w ilościach miligramowych.

Popołudniowe posiedzenie tego dnia, któremu przewodniczył członek-korespondent Akademii Nauk ZSRR I. Alimarin, poświęcone było omówieniu zagadnień związanych z metodą ekstrakcji, która znajduje coraz szersze zastosowanie w radiochemii. Dla wygłoszonych na tym posiedzeniu referatów i komunikatów, bardziej aniżeli dla pozostałych, charakterystyczne było czysto empiryczne ujęcie zagadnienia, przy braku szerszych uogólnień. Odzwierciedla to stan, w jakim znajduje się dziś ten cykl zagadnień, kiedy brak jest teorii procesu ekstrakcji. W świetle tego bardzo interesujący był głos w dyskusji W. Kuzniecowa, który w oparciu o już zgromadzony materiał doświadczalny próbował wskazać kilka kierunków prac, które powinny przyczynić się do wyjaśnienia różnych mechanizmów ekstrakcji [w związku z tym p. Kuzniecowa, *Uspiechi chemii* 23, 642 (1954)].

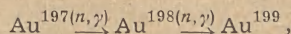
A oto program omawianego posiedzenia:

Referat W. Wdowienko, *Procesy ekstrakcji jako metoda badania i wydzielenia izotopów promieniotwórczych*,

oraz krótkie komunikaty:

- 1) W. W d o w i e n k o i L. Ł a z a r e w, *Ekstrakcja uranu z roztworów octanowych*,
- 2) W. W d o w i e n k o, A. L i p o w s k i i M. K u z i n a, *O tworzeniu się trójzotanowego kompleksu uranylowego w rozpuszczalnikach organicznych*,
- 3) M. F a d i e j e w a, O. P a w ł o w i W. B a k u n i n a, *Metoda ekstrakcyjna wydzielania Tc z naświetlonego Mo*,
- 4) A. G r i n b e r g i G. Ł o s z k i n a, *Rozdział kwasów nieorganicznych pomiędzy wodą i rozpuszczalnikami organicznymi*,
- 5) I. R e f o r m a t s k i, *Ekstrakcja Am i Cm przy pomocy TBF*,
- 6) A. N i k o ł a j e w, *Ekstrakcja Ce przy pomocy TBF*.

8 marca odbyło się tylko jedno posiedzenie (pod przewodnictwem prof. An. N i e s m i e j a n o w a), którego głównym tematem były pewne zagadnienia związane z wydzielaniem izotopów promieniotwórczych bez nośników. Referat wprowadzający, wygłoszony przez N. R u d e n k o, nie ujmował zagadnienia w sposób systematyczny i w tym sensie nie powtarzał on znanego opracowania tego samego autora z lat ubiegłych (p. *Primienienie mieczonych atomów w analitycznej chemii*, Moskwa 1955, str. 155). Omówiono natomiast kilka nowych metod wydzielania izotopów promieniotwórczych bez nośników (i to tylko z fazy ciekłej), np. współstrącanie przy pomocy odczynników organicznych (p. K u z n i e c o w, *Se-sja Akademii Nauk ZSRR po mirnomo ispolzowaniu atomnoj energii, oddzielenie chemicznych nauk*, Moskwa 1955, str. 300), ekstrakcja (np. Y powstającego z rozpadu promieniotwórczego Sr i La z Ba przy pomocy oksychinoliny, R u d e n k o), chromatografia gazowociekła (E v a n s, 1956). Ciekawe były również uwagi prelegenta o konieczności bardzo krytycznego podejścia do sprawy zanieczyszczeń preparatu izotopu bez nośnika produktami promieniotwórczymi reakcji ubocznych. Np. powszechnie przyjmuje się, że jeżeli w reakcji (n, γ) użyć bardzo czystej substancji tarczowej, to zabezpiecza to nas przed reakcjami ubocznymi, a więc prowadzi do otrzymania pożądanego produktu reakcji zasadniczej w formie promieniotwórczo czystej. Tymczasem w referacie przytoczonych było wiele przykładów podważających tę zasadę. Np. bombardując dowolnymi neutronami izotop Au^{197} reakcja uboczna zachodzi już z produktem reakcji zasadniczej:



w wyniku czego otrzymujemy produkt główny — izotop Au^{198} — zanieczyszczony atomami izotopu Au^{199} .

Na posiedzeniu wygłoszono również następujące komunikaty:

- 1) W. N i e f i e d o w i M. T o r o p o w a, *Wydzielanie bez nośników izotopów promieniotwórczych VI i VII grupy*,
- 2) W. N i e f i e d o w, E. S i n o t o w a, A. M u r i n i D. Ł a r i o n o w, *Wydzielanie izotopów promieniotwórczych Te^{127} , Hg^{195} , Sn^{121} bez nośników*.
- 3) K. S v o b o d a, *Wewnętrzne niesprężyste zderzenia w procesie Szilarda-Chalmersa*,
- 4) W. B a r a n o w, K. Z a b o r e n k o i W. K o r o b k o w, *Zastosowanie emulsji jądrowych do sprawdzania czystości promieniotwórczej izotopów α -promieniotwórczych (na przykładzie Th^{204})*,
- 5) A. K a r a b a s z, *O pewnych własnościach Th i U*.

Zamykając posiedzenie prof. N i e s m i e j a n o w podkreślił bardzo doniosłe znaczenie teoretyczne i praktyczne badań w zakresie chemii „gorących” atomów

i konieczność znacznej intensyfikacji prac w tej dziedzinie. Fakt, że na konferencji poświęconej ogólnym problemom radiochemii tematyce tej bezpośrednio poświęcony był tylko jeden komunikat (S v o b o d a), czyni ten apel zupełnie zrozumiałym.

Na ostatnim posiedzeniu (9 marca), któremu przewodniczyła dr A. Gelman, omawiano własności niektórych pierwiastków promieniotwórczych. Zostały wygłoszone następujące krótkie referaty:

- 1) G. J a k o w l e w, *Chemia ameryku*,
- 2) A. W o r o b i e w, *Chemia neptunu*,
- 3) W. K o s j a k o w i J. S o b o l e w, *Dysproporcjonowanie Am^{5+}* ,¹
- 4) A. R y k o w i A. Z a j c e w, *Redukcja radiolityczna Am^{5+} w roztworach wodnych*,
- 5) W. D e d o w, *Chromatograficzne rozdzielenie Am, Cm i ziem rzadkich*,
- 6) D. G o r b i e n k o - G e r m a n, *Badanie podwójnych kryształów Am na podstawie widm pochłaniania w kryształach*,
- 7) A. G r i n b e r g, G. P i e t r z a k i A. J e w s i e j e w, *O solach kwasu uranyloszczawowego*,
- 8) K. F i l i p o w a i G. G u s i e w a, *Cechy szczególne pierwiastków transplutonowych przy ich rozdziale chromatograficznym*.

Konferencja zakończona została przyjęciem rezolucji przygotowanej przez specjalnie wyłonioną komisję. W rezolucji stwierdza się m. in. konieczność znacznie lepszego i sprawniejszego zaopatrywania laboratoriów w nowoczesny sprzęt radiochemiczny, postuluje się potrzebę specjalnego czasopisma naukowego poświęconego radiochemii oraz wymienia się niektóre kierunki badawcze, które należałoby intensywnie rozwijać.

Materiały konferencji mają być opublikowane w czasopiśmie *Żurnal nieorganicznej chemii* (prawdopodobnie w nrze 8 z br.), ponadto niektóre z referowanych prac są już zgłoszone do druku w różnych radzieckich czasopismach chemicznych.

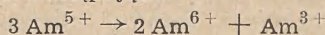
Aleksander Halpern

Z KONFERENCJI FIZYKÓW W LIPSKU

W dniach 7 do 11 kwietnia br. odbyła się w Lipsku konferencja fizyków zorganizowana przez Towarzystwo Fizyczne Niemieckiej Republiki Demokratycznej. Dzięki uprzejmości Zarządu Towarzystwa w posiedzeniach wzięły również udział liczne delegacje zagraniczne z Czechosłowacji, Francji, Polski, Węgier i Związku Radzieckiego. Trzeba zaznaczyć, że najliczniej była reprezentowana Polska (23 osoby). Delegacji Polski przewodniczył prof. dr W. R u b i n o w i c z. Obrady odbywały się w Instytucie Fizyki Uniwersytetu im. Karola Marksa. Ogółem wygłoszono około 108 referatów, z czego 8 miało charakter wykładów obrazujących obecny stan rozwoju danego kierunku badań, a około 100 dotyczyło wyników prac własnych, jeszcze nie opublikowanych. Polscy delegaci wygłosili 15 referatów z prac własnych.

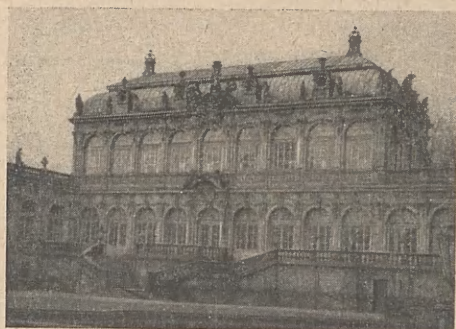
Problematyka konferencji była dość różnorodna. Referaty o charakterze ogólnym wygłoszone na posiedzeniach plenarnych dotyczyły takich zagadnień jak: modele

¹ Proces „dysproporcjonowania“ polega na tym, że zachodzą równocześnie reakcje samoutlenienia i samoredukcji, co prowadzi do przechodzenia danego jonu w jony tego pierwiastka o innych wartościowościach. Np. w omawianym przypadku ogólne równanie procesu jest następujące:

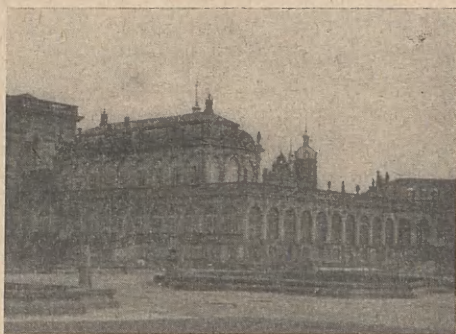


jądra atomowego i ich fizyczne uzasadnienie, cząstki o wysokiej energii, przejścia wielokwantowe w spektroskopii mikrofalowej, obecny stan spektroskopii podczerwieni, obecny stan spektroskopii fal centymetrowych i milimetrycznych, monochromatyczne struktury mgławic orionowych. Referaty z prac własnych obejmowały jeszcze większy zasięg zagadnień. Dały one jednak możliwość zorientowania się w charakterze prac badawczych kolegów z Niemieckiej Republiki Demokratycznej. Przodują tutaj badania w zakresie fizyki ciała stałego i luminescencji. Fizycy niemieccy już od dawna zajmują się właściwościami bardzo ważnej substancji półprzewodnikowej, a mianowicie siarczku kadmu (CdS). Otóż zgodnie z przysłowiową dokładnością niemiecką bada się tu „na wszelkie możliwe sposoby wszelkie możliwe własności“ CdS , jak np.: widma pałapkowe, zależność natężenia luminescencji różnych aktywnych kryształów CdS od temperatury itd. Drugi kierunek reprezentowany na konferencji przez liczne prace własne to badania zjawiska luminescencji zarówno substancji organicznych, jak i nieorganicznych. Należy tu zauważyć, że w Instytucie dla Badań Źródeł Światła w Berlinie prowadzone są zaawansowane badania na temat elektroluminacji.

Wiele uwagi poświęca się badaniom własności mechanicznych i cieplnych substancji wielocząsteczkowych. Prace w tym zakresie mają duże znaczenie praktyczne w związku z produkcją odpowiedniej jakości mas plastycznych. W związku z tym zagadnieniem rozwijają się również badania strukturalne. Prowadzone są więc



Rys. 1. Muzeum fizyczne, Drezno



Rys. 2. Widok na jedno ze skrzydeł Muzeum od strony Kanału w Dreźnie

rentgenowskie badania stopnia uporządkowania cząsteczek czy też kryształitów w materiałach poddawanych różnej obróbce i różnorodnym odkształceniom. W ten sposób można np. znaleźć najodpowiedniejsze warunki dla produkcji najbardziej wytrzymałych włókien perlonowych. Trzeba przyznać, że fizycy-profesorowie i asystenci niemieckich uniwersytetów nie wstydzą się prac z zakresu fizyki stosowanej ani nimi nie gardzą. Przeciwnie, takimi pracami zajmuje się większość z nich. Zarzykuję tu twierdzenie, że właśnie dzięki współpracy naukowców z przemysłem Niemcy mogą się pochwalić tak wysokim poziomem techniki i efektywnością nowoczesnej produkcji materiałowej.

Badania z zakresu fizyki stosowanej dostarczają również materiału zjawiskowego interesującego z punktu widzenia czysto naukowego, wymagającego nowych interpretacji i rozważań teoretycznych. Tak np. dr R o t h e z Jeny odkrył powstawanie interferencji eliptycznych promieni Roentgena w obszarze bardzo małych

kątów w przypadku rozciągniętego perlonu. Tworzenie się podobnych obrazów interferencyjnych jest bardzo interesujące i wymaga wyjaśnienia teoretycznego.

Koledzy z Niemiec referowali sporo prac własnych dotyczących układów elementów półprzewodnikowych oraz budowy aparatów do badań naukowych.

Gospodarze zgłosili stosunkowo mało prac z zakresu fizyki teoretycznej w przeciwieństwie do Polaków, których referaty w większości dotyczyły zagadnień z tej dziedziny.

Dzięki uprzejmości Zarządu Towarzystwa mogliśmy zwiedzić pracownię dydaktyczne oraz niektóre naukowe zakłady Instytutu Fizyki Uniwersytetu im. Karola Marksa w Lipsku. Instytut mieści się już od 2 lat w nowym gmachu. Wyposażenie pracowni, jeśli chodzi o aparaturę, jest dość przestarzałe. Pracownię elektroniki i fizyki jądra atomowego dla studentów wyższych lat nie są jeszcze zorganizowane. Pod tym względem Instytut Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego znacznie wyprzedził Instytut Fizyki Uniwersytetu w Lipsku. Koledzy niemieccy narzekają na trudności aparaturowe oraz na organizację warsztatów Instytutu. Warsztaty tak jak i u nas są tym wąskim gardłem dla wykonywania nietypowej aparatury naukowej, której miejscowa produkcja stanowi o tempie rozwoju badań naukowych.

Nasz pobyt w Niemczech nie ograniczył się tylko do uczestniczenia w konferencji czy też zwiedzania pracowni naukowych. Mili gospodarze, którzy gościli nas na swój własny koszt, zorganizowali nam wiele rozrywek i starali się o to, byśmy mogli zapoznać się z niektórymi zabytkami sztuki i fragmentami miejscowego życia artystycznego.

Cieszyliśmy się bardzo z możliwości zwiedzenia Drezna, a zwłaszcza galerii obrazów w Dreźnie. Drezno, dawna siedziba dynastii Sasów, było niegdyś wspaniałym miastem. Rozwój swój zawdzięczało zwłaszcza królowi Augustowi Mocnemu. Wspaniała była zamek królewski i stare miasto. Dziś świadczą o tym tylko resztki wypalonych domów, rozwalonych kościołów i pałacy. Jeden pamiętny nalot lotnictwa zachodnich aliantów dn. 13.2.1945 r. obrócił w kompletną ruinę to wspaniałe miasto. Obecnie kończy się odbudowę pomieszczenia galerii obrazów, tzw. Zwingeru. Wspaniałe arcydzieła sztuki malarskiej wróciły dopiero przed rokiem z dalekiej podróży z Moskwy. Niezapomniane wrażenia pozostawiają obrazy takich mistrzów jak Rafael, Antonello de Messina, Francesco Cossa, Rembrandt, Dürer i wielu innych. Porównując te dzieła ze współczesnym malarstwem laik dochodzi do smutnego przeświadczenia, że twórczość malarska osiągnęła już wówczas swój szczytowy poziom i że ludzkość nie jest więcej zdolna do tworzenia podobnie pięknych nowych arcydzieł. Jest to oczywiście mój indywidualny sąd. Ciekawostką Zwingeru jest muzeum fizyczne. Oglądając ekspozycję można zdać sobie sprawę, w jak prymitywnych warunkach, w porównaniu do dzisiejszych, pracowali i tworzyli uczeni minionych wieków. Trzeba jednak przyznać, że przyrządy wykonane były z wielką starannością i kunsztem.

Każdemu rzucają się w oczy tzw. półkule magdeburskie (nieautentyczne) z ręcznie poruszaną pompą próżniową. W jednej z sal mieści się zbiór najstarszych typów zegarów. Na największym z nich można odczytać aktualną godzinę w jednym z kilkudziesięciu największych miast świata.

Z tarasów zamku królewskiego rozpościera się wspaniały widok na rzekę Elbę i mosty na niej.

W nowej dzielnicy Drezna znajduje się siedziba Wyższej Szkoły Technicznej. Imponują tutaj wspaniałe nowe gmachy i z dużym rozmachem budowane osiedla studenckie. Powstaje tutaj również siedziba Instytutu Badań Jądrowych.

Warto jeszcze wspomnieć o krajobrazowo wspaniałej drodze z Lipska do Drezna. Szosa biegnie nad Elbą, która wije się wśród wzgórz. Na niektórych z nich widnieją tu i ówdzie ruiny starych zamków.

A teraz trochę o gospodarzach i ich stosunku do nas. Na ogół nie wyczuwało się u rozmówców chłodu i nienawiści do nas. Zwłaszcza młodzi Niemcy wychowani w duchu internacjonalizmu, odnosili się do nas bardzo serdecznie. Pozwoliło to nam na nawiązanie pewnych kontaktów naukowych. Mogliśmy również szczerze porozmawiać o polityce.

Po naszych przemianach październikowych odnosiliśmy wrażenie, że kierownictwo NRD nie bardzo przychylnym okiem patrzy na to, co się u nas dzieje. Kładliśmy to na karb dążenia do zachowania w NRD w części „systemu stalinowskiego“. Gdy się jednak o tych sprawach mówi z Niemcami, ujawniają się prawdziwe przyczyny chwilowego i lekkiego ochłodzenia w stosunkach między Polską a NRD. Są to przede wszystkim przyczyny natury gospodarczej. Jak opowiadali nam koledzy niemieccy, niektóre kluczowe gałęzie przemysłu NRD rozwijają się w oparciu o nasz węgiel kamienny. W NRD wydobywa się jedynie węgiel brunatny. Po pamiętnych dniach październikowych nasz eksport węgla do NRD został poważnie ograniczony. Spowodowało to zastój w wielu fabrykach, zahamowanie produkcji gazu świetlnego. W związku z tym najwięcej byli poszkodowani robotnicy pracujący w tych fabrykach. Niemcy zdawali sobie sprawę z naszych trudności i z niedoboru w wydobywaniu węgla. „Złą krew“ zrobiło to, że w tym okresie podobno przez ich terytorium szły od nas transporty węgla do NRF.

Kierownictwo NRD obawiało się również, że przemiany u nas i tak daleko jak u nas posunięta swoboda polityczna mogą być wykorzystane przez NRF do wywołania niepokoju w NRD, co z kolei doprowadziłoby do nieobliczalnych następstw politycznych. Z tego też punktu widzenia krytykuje się w NRD niektóre artykuły zamieszczone w ostatnim okresie w „Po prostu“.

W rozmowach podkreślaliśmy często pożyteczność wymiany kulturalnej i naukowej. Przyczyniłoby się to do szybszego tempa rozwoju nauki, lepszego wzajemnego poznania i zrozumienia. Co do wymiany studentów nasi dyskutanci mieli pewne zastrzeżenia. Nie ma w Polsce, ich zdaniem, jednolitej organizacji politycznej obejmującej większość studentów i młodzieży. Młodzież studencka zrzeszona jest w części w różnych klubach. Cechuje ją pewna niejednorodność poglądów politycznych, różny stosunek do przemian społecznych i gospodarczych w krajach obozu socjalizmu. Część naszej młodzieży cechuje kompletna bezideowość. W tych warunkach łatwiej byłoby, jak uważają, przy jednoczesnym zetknięciu z propagandą zachodnio-niemiecką, o powstanie niewłaściwych prądów wśród młodzieży wschodnio-niemieckiej.

Kierownictwo NRD postawiło sobie za cel zjednoczenie Niemiec z zachowaniem jednak tych zdobyczy socjalnych, jakie cechują i nasz kraj. Trzeba sobie przy tym zdać sprawę z tego, że NRD nie poszło tak daleko drogą ku socjalizmowi jak my. Znacjonalizowany jest ciężki przemysł i zlikwidowane zostały majątki ziemskie powyżej stu ha. Handel detaliczny jest natomiast w większości w rękach prywatnych, tzn. prócz sektora państwowego środki konsumpcyjne produkowane przez państwo rozprowadzane są przez sklepy prywatne. Nie ma przy tym jednak takiego paskarstwa jak u nas, gdzie zasadniczo towary produkowane i importowane przez państwo rozprowadzane być mają wyłącznie przez sklepy uspołecznione.

Szczerze rozmowy z kolegami z Niemiec doprowadziły do jednego, moim zdaniem, bardzo ważnego wniosku: koniecznie trzeba stworzyć lepsze warunki szerszej wymiany myśli, doświadczeń i wszechstronnej współpracy. Przyczyniłoby się to zapewne do zawiązania się więzów szczerzej przyjaźni i wzajemnego zrozumienia.

Julian Aulaytner

WYSTAWA POKOJOWE ZASTOSOWANIE ENERGII JĄDROWEJ

Dużym zainteresowaniem i nie słabnącą frekwencją cieszyła się bawiąca w lutym, marcu i pierwszej połowie kwietnia radziecka naukowo-techniczna wystawa pt. *Pokojoye zastosowanie energii jądrowej*, pokazująca dorobek naukowy uczonych radzieckich w dziedzinie wykorzystania zdobyczy fizyki jądrowej. Wystawa przygotowana na Konferencję Genewską przed dwoma blisko laty przeznaczona była zasadniczo bardziej dla fachowców niż laików i tym ostatnim zrozumienie jej nastreścić musiało istotne trudności. Organizatorzy poczynili pewne wysiłki, by uczynić ją bardziej dostępną dla нефachowców, jednakże pod względem dydaktycznym było jej, zdaniem recenzenta, daleko do doskonałości. Słabo wydawała się być postawiona strona opisowa wystawy. Objasnienia przy eksponatach były i za skąpe, i nie wyczerpujące, i luki tej nie mogło wypełnić nawet zatrudnienie dużej liczby wykwalifikowanych przewodników.

Fachowcy wielokrotnie spoglądali pożądanym wzrokiem na ten czy ów z wystawianych przyrządów, nie zawsze jednak mogli dopytać się o interesujące ich liczby lub szczegóły konstrukcyjne. Powtarzający się brak schematów, danych technicznych przyrządów i ich charakterystyk pracy oraz materiału porównawczego wielce utrudniał należytą ocenę eksponatów. Zagadnienia te poruszymy konkretniej podczas szczegółowego opisu wystawy.

Dział pierwszy, niejako wstępny, poświęcony był budowie jądra i metodom jego badania. Barwne tablice w sposób poglądowy wyjaśniały budowę jądra, zagadnienie energii wiązania i typy przemian jądrowych. Dalej znajdowały się aparaty rejestrujące promieniowanie. Liczniki wielu typów wraz z układami zliczającymi, wszystkie w ruchu, budziły duże zainteresowanie. Przydałoby się więcej schematów, zarówno uproszczonych — wyjaśniających zasadę działania, jak i szczegółowych — dla specjalistów. Oprócz przyrządów liczących z innych typów aparatów rejestrujących promieniowanie pokazana była komora dyfuzyjna, zaopatrzona w rzutnik i ekran, umożliwiające efektowne demonstracje. Podobnie jak z licznikami, jest to przyrząd nowoczesny, cały osłonięty, tak że zwiedzający zupełnie nie ma dostępu do wnętrza i naprawdę trudno mu zaznajomić się z konstrukcją przyrządu. Dziwne wydawało się pominięcie zupełnie w dziale tym tak ważnej metody rejestracyjnej, jaką jest metoda kliszowa.

Z akceleratorów (a o osiągnięciach Związku Radzieckiego w tej dziedzinie nie trzeba chyba nikogo przekonywać) pokazano jedynie fotografię i zupełnie szablonowe schematy, które można znaleźć w każdej książce poświęconej temu zagadnieniu. Przydałyby się tu bardzo modele tych urządzeń; to samo dotyczy zresztą spektrografu mas znajdującego się w dziale chemii.

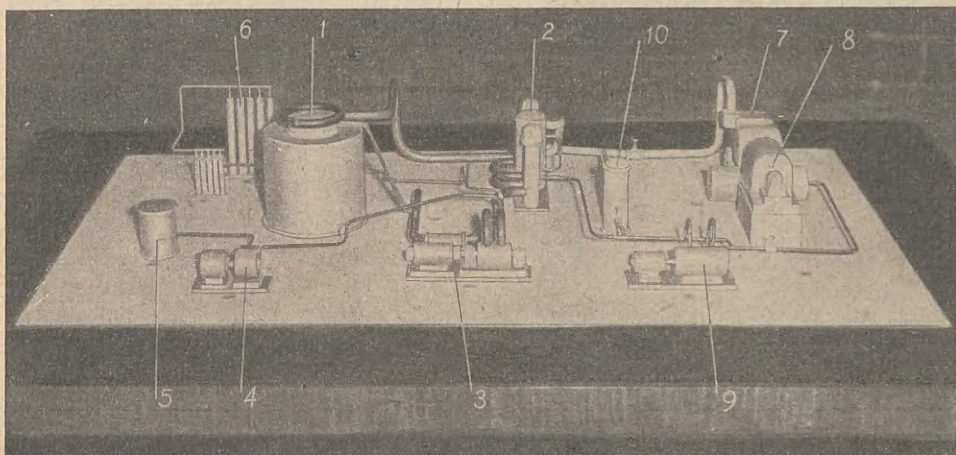
Mimo iż wystawa była wystawą naukowo-techniczną, to jednak wydaje się, że dział wstępny był nieco za szczupły. Rozszerzenie tego działu i urządzenie go w sposób poglądowy umożliwiłoby zwiedzającym lepsze zrozumienie dalszych stoisk wystawy.

Dział następny poświęcony był surowcom jądrowym. Zebrano tu minerały, w których występuje uran, oraz pokazano metody radiometryczne stosowane w geologii do poszukiwań tychże minerałów. Dział ten wyposażony w nowoczesną aparaturę urządzony był poglądowo i przejrzystie.

Wreszcie dział chemii. Na pierwszy plan wysuwały się tu urządzenia do rozdzielczych i kolumn rektyfikacyjnych świadczyły dobitnie o wysokim stanie nauki radzieckiej w tym zakresie, laików zaś zadziwiała swą wysoce skomplikowaną budową i precyzją. Wśród licznych eksponatów tego działu na specjalną uwagę za-

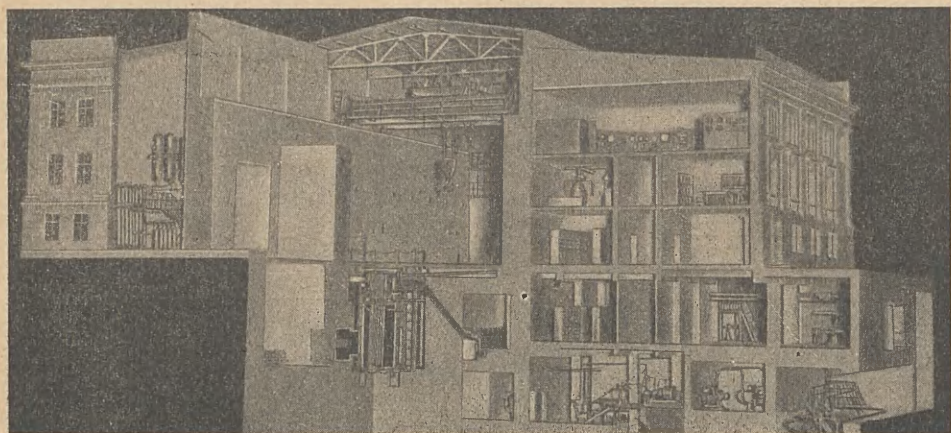
sługiwały eksponaty poświęcone metodzie radioaktywacyjnej w analizie chemicznej. Ładna plansza zawierała porównanie czułości metody spektralnej, kolorymetrycznej i radioaktywacyjnej, świadcząc dobitnie na korzyść tej ostatniej.

Największe jednak zainteresowanie musiał — rzecz jasna — wywołać dział poświęcony energetyce jądrowej. Związek Radziecki, jako państwo posiadające w tej dziedzinie „najstarsze tradycje“, pokazał w dziale tym rzeczywiście efektowne i wykonane z niezwykłą starannością eksponaty. Stoisko zawierało makiety dwu elektrowni jądrowych (czynnej już i projektowanej na 200 MW) oraz dwu eksperymentalnych reaktorów dla celów naukowych. Makiety budynków wszystkich tych urządzeń wykonane były z pleksiglasu, umożliwiając szczegółowe obejrzenie modeli maszyn, aparatów i przyrządów, znajdujących się wewnątrz, a ukryte oświetlenie pięknie dopełniało estetyczne wykonanie. Przydałyby się może dodatkowe, bardziej uproszczone schematy i większa ilość objaśnień. Zwiedzający patrząc bowiem na samą makietę elektrowni nie wie nic o jej urządzeniach awaryjnych,

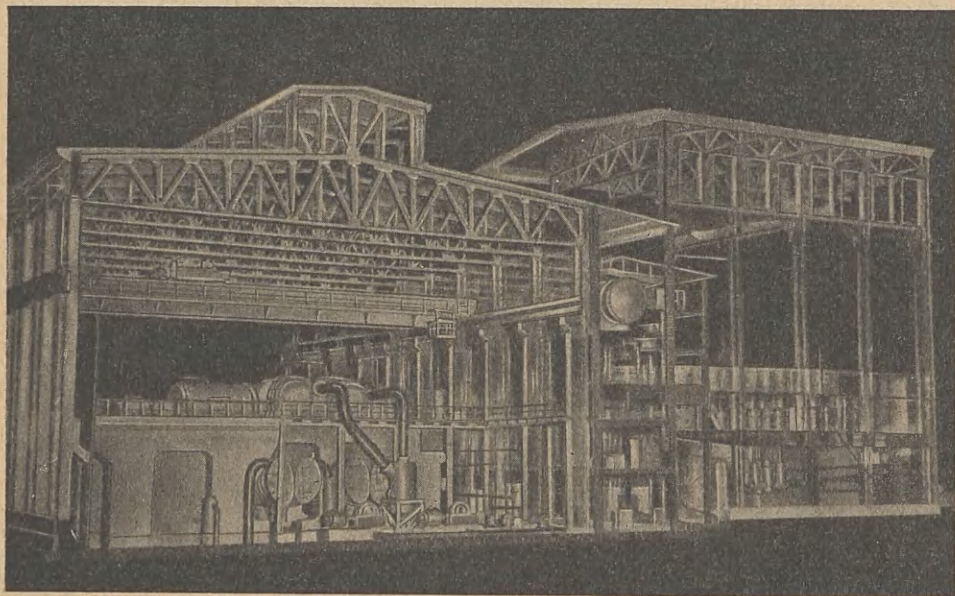


Rys. 1. Makietę elektrowni jądrowej o mocy 5 MW. Obwód pierwotny: 1 — reaktor, 2 — generator pary, 3 — główna pompa zasilająca, 4 — pompa uzupełniająca straty wody w obiegu, 5 — zbiornik zapasu wody, 6 — kompensatory objętości, zapewniające możliwości cieplnych zmian objętości wody w obwodzie. Obwód wtórny: 7 — turbina, 8 — skraplacz turbiny, 9 — pompa zasilająca obwód wtórny, 10 — dodatkowy skraplacz, pozwalający osiągać potrzebną moc cieplną reaktora, gdy turbina nie pracuje.

aparaturze kontrolno-pomiarowej, regulacji, stopniu zautomatyzowania itp. Przydałyby się również tablice zawierające ważniejsze dane liczbowe, jak np. gęstość strumienia neutronów w reaktorze, ciśnienie i temperatura wody w poszczególnych obiegach, aktywność promieniowania w poszczególnych pomieszczeniach itp. Niezwykle ciekawe stałoby się załączenie jakiegoś materiału porównawczego energetyki jądrowej na tle całości energetyki. Byłoby interesujące dowiedzieć się coś niecoś np. o kosztach eksploatacji elektrowni jądrowej w chwili obecnej i w przyszłości, jaka jest sprawność, stopień zużycia paliwa itp., a przecież do chwili obecnej danych tego typu dużo już opublikowano. Określenie, że dział ten był już obecnie nieco przestarzały, jest z pewnością zbyt silne, ale w ciągu blisko dwuletniego okresu istnienia wystawy doszło wiele nowych danych w tej dziedzinie, a wiele przestało być już tajemnicą.



Rys. 2. Model elektrowni jądrowej na 5 MW, przekrój z widokiem na reaktor.



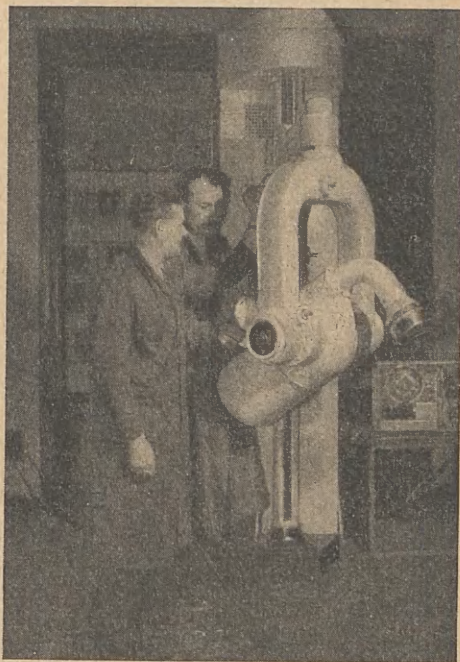
Rys. 3. Model elektrowni jądrowej na 200 MW z widokiem na część turbinową.

Dział obrazujący zastosowanie izotopów promieniotwórczych w przemyśle był imponujący zarówno pod względem ilości wystawianych eksponatów, jak też pod względem ich jakości. Trudno byłoby doprawdy wyliczyć wszystkie wystawiane przyrządy ani tym bardziej pokusić się o bliższe ich omówienie. Różnorodność dziedzin techniki, gdzie stosuje się metody izotopowe, jest również zdumiewająca.

Wystawiana w dziale tym aparatura kontrolno-pomiarowa jest na wskroś nowoczesna, pozwala w większości wypadków na ciągłą pracę, zdalne sterowanie oraz ma wiele innych zalet. Bez wątpienia wszystkie te zalety mogą stawiać przyrządy tego typu wyżej od przyrządów nie opartych o metody izotopowe. Przewaga ta na wystawie nie była należycie uwidoczniiona. Oglądając jakiś przyrząd, o ile nie mamy podanych odpowiednich parametrów i wskaźników charakteryzujących jego pracę, to o jego jakości względnej możemy zorientować się przez porównanie go z innymi istniejącymi przyrządami tego typu. Wystawiony np. w tym stoisku gęstościomierz powinien był posiadać dane porównujące jego czułość z czułością innych gęstościomierzy, warunki, w których może pracować, a w jakich ewentualnie nie mogą pracować inne przyrządy, koszt eksploatacji na większą skalę etc. Tego rodzaju zestawienia pozwoliłyby na należyte wartościowanie wystawionych przyrządów i byłyby zrozumiałe dla szerszego ogółu zwiedzających, a nie tylko szczupłej garstki fachowców obeznanych z tym akurat czy innym problemem technicznym. Mimo tych drobnych braków (uzupełnianych zresztą częściowo przez przewodników) dział ten miał duże znaczenie pod względem informacyjnym.

Stoisko poświęcone ochronie przed promieniowaniem pokazywało poglądowe tabele i nomogramy dotyczące osłon przed promieniowaniem, dozymetry i radiometry na różnego rodzaju promieniowanie oraz odzież ochronną. Ciekawie pokazano eksponaty poświęcone filtrom pochłaniającym radioaktywne serezoze i manipulatory do pracy z wysoko aktywnymi substancjami. Dział ten należał z pewnością do lepiej opracowanych i urządzony był bardzo przekonująco.

Zastosowanie metody atomów znaczonych w medycynie, biologii i rolnictwie — to tematyka dalszych stoisk. Wyników zebrano tu dosyć dużo, aczkolwiek rozwiązanie tych stoisk nie grzeszyło pomysłowością. Tabele i fotografie, dane statystyczne były za bardzo stłoczone i wskutek tego zupełnie niepoglądowe. Z przyrządów duże zainteresowanie fachowców skupiał licznik przepływowy na CO_2 oraz radiograf uniwersalny. Istotnym efektem w tego rodzaju eksperymentach (metoda atomów znaczonych) stało się wprowadzenie bardzo czułych metod rejestracyjnych, umożliwiających w większości wypadków stosowanie minimalnych ilości izotopów. Stoisko pokazywało wyniki doświadczeń wykonane przy użyciu izotopów promieniotwórczych i będące zupełnie nieszkodliwe dla zdrowia badanego osobnika.



Rys. 4 Krótkoogniskowy aparat terapeutyczny gamma.

Wielkim uznaniem cieszyło się stoisko poświęcone terapii za pomocą izotopów promieniotwórczych. Efektowne fotografie osób przed i po leczeniu, cyfry takie, jak 95% wyleczeń egzemy, 68% wyleczeń nowotworu gardła, mówią same za siebie. Aparaty terapeutyczne, w tym również i słynne działo kobaltowe, oraz makiety pomieszczeń ochronnych stosowanych w lecznictwie dopełniały eksponaty tego pięknego działu.

Na wystawie wyświetlano dwa doskonałe filmy krótkometrażowe: *Atom w służbie człowieka* i *Pierwsza na świecie* (film o budowie i pracy radzieckiej elektrowni jądrowej).

Opracowanie polskie wystawy na ogół dobre, choć tu i ówdzie zdarzały się drobne niedopatrzenia: w dziale wstępnym pisano cząsteczki zamiast cząstki, w dziale biologii alumina, a nie albumina, informator zaś wystawy niesłusznie zalicza astat, frans, technet i promet do pierwiastków transuranowych (str. 21).

Andrzej Deloff

David Halliday, *Wstęp do fizyki jądrowej*, PWN, 1957, str. 448.

Książka pisana jest żywo, inteligentnie. Jej treścią jest interesujący wykład z zakresu fizyki jądrowej dla studentów uniwersyteckich, którzy posiadają tylko początki rachunku różniczkowego i wysłuchany kurs z fizyki doświadczalnej. Nawet zasady teorii kwantów zrekapitulowane są w specjalnym rozdziale. Autor wywiązał się dobrze z trudnego bardzo zadania, bo przedstawienia dzieła o olbrzymim materiale doświadczalnym, w którym eksperyment znacznie wyprzedza teorię. Teoria wprowadza ład i porządek do faktów doświadczalnych. Takiej jednej teorii, jak np. teoria Maxwella w elektrodynamice, nie mamy w nauce o jądrze. Zamiast tego mamy więcej teorii, częściowo sprzecznych ze sobą. W tych warunkach trudno pisać książkę, która by nie przypominała książki kucharskiej. *Wstęp do fizyki jądrowej* Hallidaya w niczym takiej książki nie przypomina.

Fizyka jądrowa pulsuje życiem szybkim. Szczególnie ostatnie 3 lata przyniosły wielkie odkrycia w tej dziedzinie; że wspomnę odkrycie ujemnego protonu, odkrycie nowych mezonów i obalenie zasady parzystości. Książki o jądrze starzeją się szybko. Niestety cykl produkcyjny trwał dwa lata, co na nasze stosunki nie jest długo, ale za długo jak na szybki rozwój nauki. Poza tym w obszernym spisie prac umieszczonych na końcu książki znajdziemy tylko nieliczne wzmianki z roku 1954, a tablice przeważnie do roku 1952 lub 1953.

Rozdział pierwszy zawiera podrozdział *Filozofia nauki*. W tym krótkim ustępie autor występuje jako zdecydowany zwolennik pozytywizmu. Według autora „antytezą pozytywizmu są filozofie metafizyczne”. To znaczy, że materializm też uważany jest za filozofię metafizyczną. Ustęp ten kończy zdanie: „Wielu uczonych, między innymi i Einstein, wykazuje w swoim sposobie myślenia elementy metafizyczne”. Książka taka nie mogłaby się ukazać w okresie tzw. kultu jednostki. Dobrze, że ukazała się obecnie. Jednak poglądy autora w dziedzinie filozofii wydają mi się naiwne i dogmatyczne. Szkoda, że tłumacz, który jest, o ile mi wiadomo, przekonany materialistą, nie umieścił w przypisku jakiejś swojej uwagi ograniczającej go od tych poglądów.

Leopold Infeld

D. J. Hughes, *Optyka neutronowa*, PWN 1957, str. 143.

Książka omawiana zajmuje się podstawowymi zagadnieniami optyki neutronowej — gałęzi nauki, która rozwinęła się w ciągu ostatnich lat 12, od czasu gdy reaktory stały się źródłem potężnych strumieni neutronowych. Dla kogo pisana jest ta książka? Dla naukowców znających podstawy teorii jądra, mechaniki kwantowej i elektromagnetycznej teorii światła. Wszędzie bowiem podkreślona jest analogia pomiędzy teorią Maxwella fal elektromagnetycznych z jednej strony a teorią optyki neutronowej z drugiej. Tak więc czytanie jej wymaga dobrego przygotowania naukowego. Odwołuje się ona w przypiskach do setek prac niemal wyłącznie pisanych po angielsku i trudno będzie czytelnikowi zrozumieć treść książek

bez dostępu do biblioteki z czasopismami fizycznymi i bez znajomości języka angielskiego. Jak widzimy, książka ta napisana została dla naukowców, którzy specjalnie interesują się techniką optyki neutronowej i którzy poświęcają się tej dziedzinie badań.

Optyka neutronowa ukazała się w Polsce w nakładzie 1500 egzemplarzy. Zadajmy sobie pytanie: ilu jest w Polsce czynnych naukowców w tej dziedzinie? Odpowiedź jest prosta: w tej chwili zero, gdyż nie mamy jeszcze reaktora. Ale oczywiście reaktor będzie wkrótce uruchomiony. Musimy więc przygotować kadry. Zadajmy więc sobie pytanie: ile osób będzie w ciągu najbliższych lat 3 zainteresowanych w tej książce, która za lat 3 będzie już przestarzała. Wydaje mi się, że podanie liczby 50 jest bardzo optymistyczne. To jest na pewno górna granica. Czy nie lepiej, taniej, ekonomiczniej byłoby kupić 25 egzemplarzy angielskich i 25 rosyjskich tej książki (ukazała się ona bowiem w języku rosyjskim), aniżeli wydawać dewizy na pozwolenie tłumaczenia, ścinać drzewa polskie na papier i zapychać Dom Książki makulaturą? Tłumaczenie na język rosyjski, gdzie ilość naukowców zajmujących się tym zagadnieniem jest rzędu tysiąca, ma oczywiście sens. Tłumaczenie na język polski nie ma!

A teraz druga sprawa. Zanalizowałem dla przykładu dokładnie równania ze strony 18 i 19. Na stronie 18 jest pięć równań, z tego dwa zawierają omyłki druku. Na stronie 19 są dwa równania, z tego jedno zawiera omyłkę druku. Tak książek naukowych wydawać nie wolno!

Leopold Infeld

N. N. Liebiediew, *Funkcje specjalne i ich zastosowania*. Z języka rosyjskiego tłumaczył Michał Hornowski, PWN, 1957, str. 303.

Każdą nową pozycję wydawniczą Państwowego Wydawnictwa Naukowego bierze się do ręki z wielkim zainteresowaniem. Wszystkim daje się bowiem we znaki przysłowiowy brak książek naukowych, a niestety nowe, wartościowe pozycje wydawnicze ukazują się znacznie rzadziej, niż wymagają tego potrzeby.

Ponieważ recenzowana książka jest tłumaczeniem, przeto natychmiast interesujemy się, kiedy ukazał się oryginał. Na odwrocie strony tytułowej pod tytułem oryginału widnieje rok 1953. A więc proces tłumaczeniowo-wydawniczy trwał 4 lata. Jeśli książka jest cenna — a innych nie powinniśmy tłumaczyć — to powinna, być wydana w ciągu najwyżej dwóch lat. W przeciwnym razie w kraju macierzystym wyjdzie wydanie drugie, poprawione i uzupełnione. A co będzie, jeśli ukaze się w tym czasie inna książka na ten sam temat, lepsza od tłumaczonej? Tylko szybkość procesu wydawniczego może złagodzić omawiany problem.

Drugą rzeczą, która rzuca się od razu w oczy, jest fakt, iż recenzowana książka liczy tylko 303 strony. Przy tak obszernej tematyce, jaką są funkcje specjalne i ich zastosowania, budzi to zrozumiały niepokój. Autor musiał zrezygnować z dużej ilości wartościowego materiału. Niewiele nam pomogą usprawiedliwienia w przedmowie i tekście książki, niewiele też ratują sytuację odsyłacze do literatury, bo ta nie zawsze jest przetłumaczona i nie zawsze dostępna.

I tak autor zakłada nikłą znajomość przez czytelnika podstaw teorii funkcji analitycznych i unika stosowania trudniejszych wiadomości z tej dziedziny. W szczególności rzadko stosuje przedstawienie funkcji specjalnych za pomocą całek konturowych, co w dużym stopniu ogranicza korzyści, jakie można z książki uzyskać. Brakuje również bardzo chociaż elementów teorii równań różniczkowych zwyczajnych w dziedzinie zespolonej. Zbiór wybranych potrzebnych twierdzeń z teorii funkcji analitycznych oraz krótkie informacje o teorii równań różniczko-

wych zwyczajnych w dziedzinie zespolonej nie zajęłyby razem więcej niż 80 stron. A jakież ogromne płynęłyby z nich korzyści! Ileż spraw potraktować by się dało szerzej, ogólniej lub zręcznie! Ileż rzeczy stałoby się bardziej zrozumiałymi i ugruntowanymi! Pozwoliłoby to na wprowadzenie między innymi metody krzywej największego spadku, przez co rozszerzyły się krąg zagadnień związanych z zagadnieniami asymptotycznymi oraz uzyskalibyśmy ważną metodę rachunkową stosowaną przy wielu zagadnieniach fizyki matematycznej. Z powodzeniem można by wtedy mówić o rozwiązywaniu równań różniczkowych metodą całek konturowych, której brak już częściowo omawialiśmy.

Z chwilą opublikowania np. przez Ławrentiewa i Szabata (w książce pt. *Metody teorii funkcji kompleksowo pieremiennowo*) jednolitej teorii wielomianów ortogonalnych straciło zupełnie sens kolejne omawianie poszczególnych wielomianów. Trzymanie się tego sposobu przez N. N. Lebediewa jest trudne do usprawiedliwienia.

Poza tym można by zarzucić Lebediewowi pewną jednostronność w opracowaniu zastosowań. Przeważająca ilość przykładów pochodzi z elektrostatyki. A przecież ileż przykładów można by zaczerpnąć z zagadnień związanych z falami elektromagnetycznymi (jest ich w książce niewiele), z hydrodynamiki i teorii sprężystości, z optyki, mechaniki kwantowej, teorii dyfuzji i przewodnictwa cieplnego itp. Uczyniłoby to z książki podręcznik wyższy i wszechstronnie dostosowany do wielu specjalności fizyczno-technicznych. Wszystkie te uzupełnienia mogłyby nie przekroczyć w sumie 200 stron, co nie powiększyłoby książki do zbyt wielkich rozmiarów. Ważne to jest chociażby dlatego, że książka posiada dużą ilość zalet. Materiał jest podany w oszczędnej i bardzo systematycznej formie. Szczególną wartość mają podane dla każdej z omawianych funkcji tablice z cennymi informacjami. Literatura wydania rosyjskiego została przez redakcję wydania polskiego uzupełniona literaturą polską i niektórymi publikacjami obcymi wydanymi po roku 1953. Cenne są również ćwiczenia, uzupełniające niekiedy tekst książki. Systematyczną uwagę poświęcono sprawie rozwijania funkcji na szereg według funkcji specjalnych.

A oto krótki przegląd treści. Rozdział pierwszy poświęcony jest funkcji gamma. Omawia się tu własności funkcji gamma, związki funkcyjne i wyrażenia asymptotyczne. Całkowicie związanym z funkcją gamma poświęca się bardzo mało miejsca, ograniczając się do zagadnień związanych z funkcją beta.

Rozdział drugi omawia całkę prawdopodobieństwa i funkcje z nią związane, a więc całkę prawdopodobieństwa zmiennej urojonej, zmiennej $x\sqrt{-1}$ i całki Fresnela. Kilka paragrafów zajmuje zastosowania. W rozdziale trzecim omówiona jest funkcja wykładnicza całkowita i pokrewne jej funkcje specjalne, jak np. sinus całkowity i cosinus całkowity oraz logarytm całkowity. Wielomianom ortogonalnym poświęcony jest rozdział czwarty. Omawia się kolejno wielomiany Legendre'a, Hermite'a i Laguerre'a według następującego schematu: określenie i funkcja tworząca, związki rekurencyjne i równania różniczkowe, ortogonalność, wyrażenia całkowe, wyrażenia asymptotyczne, rozwinięcia funkcji na szereg względem konkretnych wielomianów. Nie mogę się powstrzymać od powtórnej uwagi, że wszystkie te sprawy można omówić znacznie więcej i szerzej, jak to uczynili Ławrentiew i Szabat a. t. Gwoli ścisłości podam, że Lebediew odesła czytelnika do owej książki. Z kolei zajmujemy się w rozdziale piątym funkcjami walcowymi, tzn. funkcjami Bessela pierwszego, drugiego i trzeciego rodzaju, zmodyfikowanymi funkcjami Bessela, omawiając je według tego samego, właściwego recenzowanej książki schematu. I w tym miejscu trzeba wyrazić żal, że wyrażenia całkowe, ze względów już przeze mnie omówionych, ograniczają się zasadniczo do całek oznaczonych, rzeczywistych. Zubaża to bardzo treść tego rozdziału. Bardzo skromny jest paragraf

poświęcony całkom oznaczonym, zawierającym funkcje walcowe. Następny rozdział omawia zastosowania funkcji walcowych do zagadnień fizyki matematycznej. Podstawą rozdziału jest rozdzielenie zmiennych w równaniu

$$\Delta u = \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + b \frac{\partial u}{\partial t} + cu$$

we współrzędnych cylindrycznych, które przechodzi przy odpowiednich wartościach parametrów a , b , c w większość interesujących równań fizyki teoretycznej. Dalsze paragrafy poświęcone są rozwiązaniu konkretnych zagadnień brzegowych dla tych wyspecjalizowanych równań. W bardzo podobny, równie systematyczny sposób omówione są w następnych dwóch rozdziałach funkcje kuliste i ich zastosowania. Podstawą do omówienia funkcji kulistych jest ich związek z szeregiem hipergeometrycznym. Przedstawienia całkowe ograniczają się do zwykłych całek rzeczywistych. Podstawą przy omawianiu zastosowań jest rozdzielenie zmiennych w równaniu Laplace'a we współrzędnych sferycznych, sferoidalnych, torusowych i dwubiegunowych. Większość przykładów z elektrostatyki. Kolejnym tematem są funkcje hipergeometryczne oraz funkcja hipergeometryczna konfluentna, zwana w tej książce funkcją hipergeometryczną zdegenerowaną. Ze względu na brak teorii równań różniczkowych zwyczajnych w dziedzinie zespolonej jej związek z funkcjami hipergeometrycznymi jest tutaj czysto zewnętrzny. Ostatni rozdział dotyczy funkcji walca parabolicznego, do których dochodzimy przy rozwiązywaniu równania Laplace'a metodą rozdzielania zmiennych we współrzędnych parabolicznych. Są to tzw. funkcje Hermite'a pierwszego i drugiego rodzaju oraz funkcje Hermite'a zmiennej urojonej. Książka kończy się jedynym przykładem zastosowania funkcji specjalnych z terenu mechaniki kwantowej, a mianowicie rozwiązaniem równania Schrödingera dla oscylatora harmonicznego.

Wydaje mi się, iż Państwowe Wydawnictwo Naukowe mogłoby chyba zachęcić kogoś z polskich matematyków lub kilku z nich do napisania dzieła nieco obszerniejszego, które wypełniłoby lukę w naszej literaturze dotyczącej funkcji specjalnych w sposób bardziej dostosowany do programów uniwersyteckich w zakresie fizyki i matematyki. Natomiast dla techników książka ta jest chyba znakomita. Jedynie może przykłady zastosowań nie są z tego punktu widzenia zbyt szczęśliwie dobrane. Trudno jest jednak wszystkich równie zadowolić.

Roman Żelazny

TREŚĆ

Oświadczenie Atomic Scientists' Association o niebezpieczeństwie strontu . . .	177
Włodzimierz Trzebiatowski — Kilka uwag o pracach polskich w zakresie kinetyki chemicznej	181
Wiktor Wawrzyczek — Życie i działalność Henryka Moissana (W 50 rocznicę śmierci)	185
Olgięrd Wołczek — Energia jądrowa a astronautyka	191
Eugeniusz Rybka — Wielkości gwiazdowe	205
Roman Teisseyre — Wyprawa geofizyczna do Wietnamu (Szkic programu i wyniki rekonesansu)	215
Rajmund Galon — Zagadnienie ostatniego zlodowacenia w Polsce	219

KRONIKA NAUKOWA

Aleksander Halpern — Konferencja radiochemiczna w Leningradzie	237
Julian Aulaytner — Z konferencji fizyków w Lipsku	242
Andrzej Deloff — Wystawa Pokojowe zastosowanie energii atomowej . . .	246

RECENZJE

Leopold Infeld — David Halliday, <i>Wstęp do fizyki jądrowej</i>	251
Leopold Infeld — D. J. Hughes, <i>Optyka neutronowa</i>	251
Roman Żelazny — N. N. Liebidiew, <i>Funkcje specjalne i ich zastosowania</i> . .	252

