
PTF

**DWUMIESIĘCZNIK
POŚWIĘCONY
UPOWSZECHNIENIU
WIEDZY
FIZYCZNEJ**

POSTĘPY FIZYKI

**TOM 31
ZESZYT 6
1980**

ZARZĄD

Prezes

Prof. dr ZDZISŁAW WILHELMI

Wiceprezesa

Prof. dr GRZEGORZ BIAŁKOWSKI

Prof. dr ANDRZEJ HRYNKIEWICZ

Sekretarz Generalny

Doc. dr PIOTR DECOWSKI

Skarbnik

Prof. dr AUGUST CHEŁKOWSKI

Członkowie Zarządu

Prof. dr JERZY CZERWONKO

Prof. dr FRANCISZEK KACZMAREK

Prof. dr JAN STANKOWSKI

Dr hab. JAN TÓKE

Prof. dr JANUSZ ZAKRZEWSKI

oraz redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI — *Postępy Fizyki*

Prof. dr WIESŁAW CZYŻ — *Acta Physica Polonica*

Doc. dr MICHAŁ ŚWIĘCKI — *Delta*

Prof. dr ROMAN INGARDEN — *Reports on Mathematical Physics*

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW TOWARZYSTWA

Prof. dr hab. EUDOKIA OSTASZEWICZ (*Białystok*)

Doc. dr MIKOŁAJ ROZWADOWSKI (*Bydgoszcz*)

Doc. dr STEFAN SZYMURA (*Częstochowa*)

Doc. dr BRONISŁAW JACHYM (*Gdańsk*)

Dr ANDRZEJ SYCZ (*Gliwice*)

Dr JÓZEF KUŹMIŃSKI (*Katowice*)

Doc. dr hab. WITOLD PRECHT (*Koszalin*)

Prof. dr JACEK HENNEL (*Kraków*)

Doc. dr MAKSYMILIAN PIŁAT (*Lublin*)

Doc. dr STANISŁAW MICHAŁAK (*Łódź*)

Doc. dr hab. JÓZEF KUSZ (*Opole*)

Doc. dr hab. JERZY PIETRZAK (*Poznań*)

Doc. dr hab. ALEKSANDER SZYMAŃSKI (*Rzeszów*)

Doc. dr TADEUSZ REWAJ (*Szczecin*)

Prof. dr hab. STANISŁAW ŁĘGOWSKI (*Toruń*)

Doc. dr JAN PETYKIEWICZ (*Warszawa*)

Prof. dr hab. KAZIMIERZ WOJCIECHOWSKI (*Wrocław*)

ADRES ZARZĄDU

00-681 WARSZAWA, ul. Hoża 69

P O L S K I E T O W A R Z Y S T W O F I Z Y C Z N E

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ

TOM 31 ZESZYT 6

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

1980

RADA REDAKCYJNA

Ludwik Natanson, Leonard Sosnowski, czł. rzecz. PAN, Przemysław Zieliński

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny — Adam Sobiczewski

Członkowie Redakcji — Barbara Wojtowicz, Wojciech Rozmus, Marek Szczekowski

Adres Redakcji: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa

Korespondenci Oddziałów PTF

mgr *Irena Lasocka* (Białystok)
dr *Wojciech Lenkow* (Częstochowa)
dr *Stanisław Zachara* (Gdańsk)
doc. dr hab. *Józef Szpilecki* (Gliwice)
dr *Janusz Frąckowiak* (Katowice)
dr *Anna Kapuścik* (Kraków)
mgr *Józef Pomorski* (Lublin)
prof. dr hab. *Leszek Wojtczak* (Łódź)
mgr *Wojciech Dindorf* (Opole)
doc. dr hab. *Andrzej Graja* (Poznań)
mgr *Alina Lakner-Małowicz* (Szczecin)
dr *Hanna Męczyńska* (Toruń)
doc. dr hab. *Aniela Wolska* (Warszawa)
dr *Bernard Jancewicz* (Wrocław)

Państwowe Wydawnictwo Naukowe — Oddział w Krakowie, ul. Smoleńsk 14

Nakład 3074 + 96 egz. Ark. wyd. 8. Ark. druk. 6¹/₁₆ + 3 wkl. Papier druk. sat. kl. V. 70×100, 71 g. Oddano do składania we wrześniu 1980. Podpisano do druku w grudniu 1980. Druk ukończono w grudniu 1980. Zam. 657/80. Cena 15.—

Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, Manifestu Lipcowego 13

John F. Nagle

Carnegie-Mellon University
Pittsburgh, USA

Hugh L. Scott

Oklahoma State University
Stillwater, USA

Przemiany fazowe w błonach biologicznych *

Biomembrane Phase Transitions

Abstract: In cell membranes, which are among the principal organizational structures of living matter, phase transitions appear to be biologically significant, not just phenomena that happen to occur.

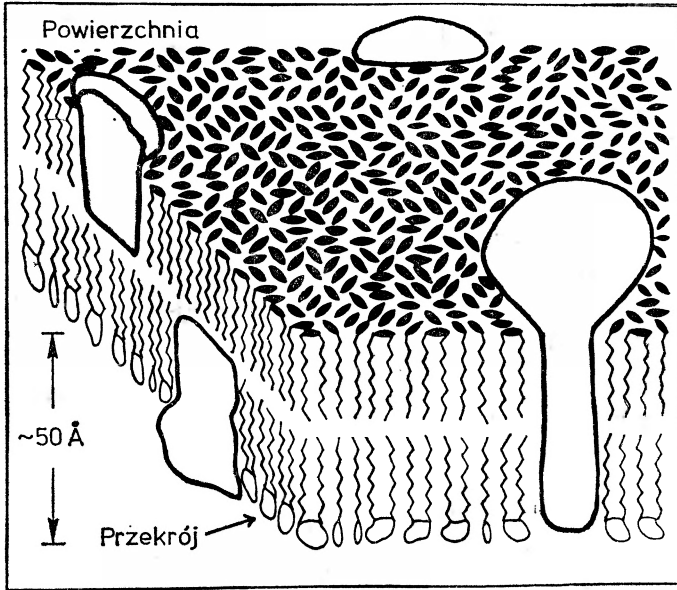
Błony komórkowe należą — obok DNA i białek — do podstawowych struktur organizujących materię ożywioną. W minionym dziesięcioleciu stały się one przedmiotem wszechstronnych badań — od czysto biologicznych po czysto fizyczne. Jedną z właściwości szczególnie nadających się do badania od strony fizycznej jest przemiana fazowa, która zachodzi w wielu błonach komórkowych.

Najlepiej udokumentowany przypadek takiej przemiany obserwowano w błonie cytoplazmatycznej *Acholeplasma laidlawii*, prymitywnego organizmu o dużej wartości stosunku powierzchni do objętości. Po inkubacji komórki w określonej temperaturze T_g , oddziela się błonę i wykonuje pomiary kalorymetryczne. Wykazują one anomalie ciepła właściwego, o szerokości ok. 20°C i o środku w pobliżu lub nieco poniżej T_g . Jeśli komórki rosną w innych temperaturach, położenie anomalii kalorymetrycznej podąża za zmianami T_g [1] (zob. artykuł przeglądowy [2]). Wynik ten wskazuje, że przejście fazowe nie jest zjawiskiem fizycznym pojawiającym się przypadkowo, lecz ma istotne znaczenie biologiczne.

Można podać wiele innych przykładów zmian biologicznych wywołanych przez czynniki fizyczne, związanych z przejściem fazowym w błonach. Błony organizmów żyjących w środowisku zimnym zawierają składniki sprzyjające niższym temperaturom przejścia. Na inne właściwości, takie jak transport, reakcja na środki znieczulające i odpowiedź immunologiczna, można wpływać zmieniając parametry termodynamiczne błony.

* Artykuł opublikowany w *Physics Today* 31 (2), 38 (1978) został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission, Copyright © 1978 by the American Institute of Physics] (Przyp. Red.).

Na rys. 1 przedstawiono zgodny z przyjętymi poglądami schemat budowy cząsteczkowej błony biologicznej. Wiele ważnych czynności komórki wykonują zawarte w błonie enzymy, które są białkami; na rysunku zaznaczono je w postaci dużych tworów. Jednakże głównym elementem struktury wielu błon jest podwójna warstwa lipidowa (tłuszczowa), składająca się z mniej lub bardziej regularnie rozmieszczonych cząsteczek, tak jak to przedstawiono na rys. 1.



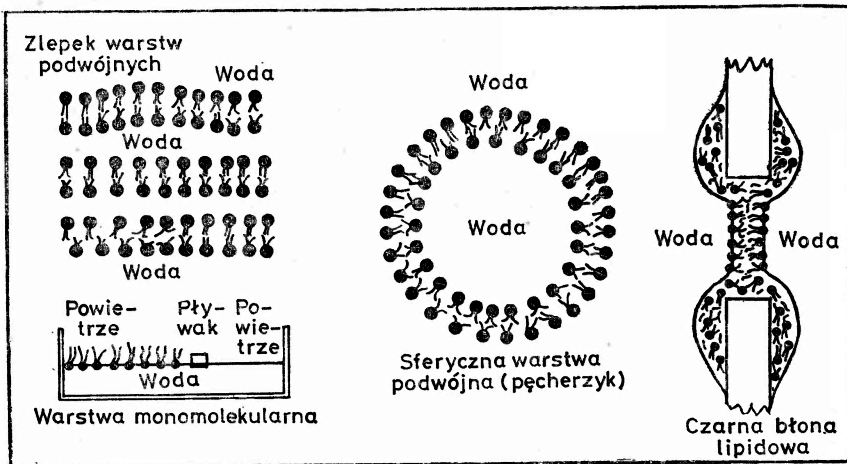
Rys. 1. Główne składniki charakterystyczne dla błony biologicznej to podwójna warstwa cząsteczek lipidu (tłuszczu) i białka, przedstawione tutaj w postaci białych plam. W niskiej temperaturze węglowodorowe „ogony” cząsteczek lipidu mają kształt regularnych linii zygzakowatych, jak to widać na przekroju błony. „Ogony” połączone są w pary za pośrednictwem „kręgosłupa”, pokazanego na górnej powierzchni błony. Opuszczono w górnej warstwie, pokazano zaś w dolnej, grupy „czołowe”, dołączone do „kręgosłupów” cząsteczek lipidu

1. Podwójne warstwy lipidowe

Na rys. 2 pokazano dokładniej przestrzenne modele tych cząsteczek lipidu, tak jak wyglądałyby one w górnej połowie warstwy podwójnej w błonach. Cząsteczki lipidu są skłonne do tworzenia w wodzie błon dwuwarstwowych, ponieważ „ogony” węglowodorowe, podobnie jak nafta, nie mieszają się dobrze z wodą i zwane są z tego powodu hydrofobowymi. Natomiast obdarzone ładunkiem grupy „czołowe”, które mogą zmniejszać ich energię elektrostatyczną przez ścisłe wiązanie się z wodą (mającą wysoką stałą dielektryczną), zwane są w związku z tym hydrofilowymi. (Innymi dobrze znanymi cząsteczkami, wykazującymi obie właściwości, są mydła i pozostałe środki powierzchniowo czynne, posiadające pojedynczy ogon węglowodorowy. Najwyraźniej obecność dwu ogonów w lipidach sprzyja tworzeniu warstw podwójnych, podczas gdy obdarzone pojedynczym ogonem mydła dążą do skupiania się w wodzie w małe struktury sferyczne zwane micellami).

Doświadczenia wykazały ostatecznie, że przejście fazowe u *Acholeplasma laidlawii* jest związane wyłącznie z lipidowym składnikiem błony [1, 2]. Dzięki temu, techniki fizyczne służące do wyjaśniania struktur i teoria opisująca fazy rozciągłe są właściwymi narzędziami do badania tego zjawiska. Oznacza to także, co jest równie ważne, że wartościowych informacji mogą dostarczyć badania przejść fazowych prowadzone na „błonach modelowych”, wykonanych z dostępnych w handlu lipidów wysokiej czystości. Te modelowe błony mają podobne do błon biologicznych właściwości struktury, ponadto można je znacznie lepiej scharakteryzować pod względem fizycznym i chemicznym od żywych błon komórkowych, które zawierają złożony zestaw rozmaitych lipidów. Przejścia fazowe w oczyszczonych jednorodnych lipidach jednoskładnikowych są też znacznie ostrzejsze, a to bardzo ułatwia pomiary i interpretację teoretyczną.

Najprostszy układ błon modelowych wytwarza się przez zwykłe zmieszanie lipidu z wodą, tak by powstała zawiesina. Niestety, w ten sposób otrzymuje się nie oddzielne, izolowane warstwy podwójne, tylko zlepki składające się z wielu takich warstw (*multibilayers*), jak to przedstawiono schematycznie na rys. 3. Obecnie wydaje się jednak, że oddziaływanie między cząsteczkami sąsiednich warstw podwójnych są słabe w porównaniu z innymi oddziaływaniami, tak że układy te nadają się do badań nad przejściami fazowymi. Takie układy zlepków warstw podwójnych przypominają układy ciekłych kryształów liotropowych typu smektycznego. Fizycy zajmujący się ciekłymi kryształami, tacy jak Peter Pershan z Harvard University, badają je wykorzystując zjawisko dwójłomności, jak również metody quasielastycznego i brillouinowskiego rozpraszania światła, rozwinięte dla celów fizyki ciekłych kryształów. Środki te pozwalają określić właściwości mechaniczne podwójnych



Rys. 3. Cztery „błony modelowe”. Równoległe płyty warstw podwójnych przedzielone wodą tworzą zlepki tych warstw, poszczególne płyty mogą być faliste. Działanie ultradźwięków przekształca zlepki warstw podwójnych w pęcherzyki — sferyczne warstwy podwójne o promieniu ok. 300 Å. Warstwę lipidu nałożoną ostrożnie na otwór w plastikowym arkuszu i pozostawioną w spokoju, tak aby mogła zmniejszać swą grubość, do chwili gdy będzie wydawała się czarna, to czarna błona lipidowa. Drobne faliste kreski wskazują, że błona może zawierać jeszcze pewną ilość węglowodorowego rozpuszczalnika. Warstwę monomolekularną można ostrożnie rozprzestrzeć na powierzchni wody w prostopadłościennym naczyniu. Na takiej warstwie, która może być termodynamicznie podobna do połówki warstwy podwójnej, można wykonać pomiar dwuwymiarowego ciśnienia wywieranego na pływak (widoczny na rysunku)

warstw lipidowych. Powyższymi metodami, a także metodą dyfrakcji rentgenowskiej, wykazano istnienie całego szeregu przemian fazowych w układach lipidów o niskiej i zmiennej zawartości wody, obok przejścia fazowego zachodzącego w obecności nadmiaru wody, które jest głównym przedmiotem zainteresowania biologów [2].

Istnienie rozmaitych faz oraz fakt, że w obecności nadmiaru wody lipidy tworzą warstwy podwójne, a mydła — micelle, jest naturalnym bodźcem do szukania ilościowej teorii, która wyjaśniłaby obserwowane struktury makroskopowe. Należy się spodziewać, że taka teoria jest perspektywą równie odległą i trudną do zrealizowania, jak teoria wyjaśniająca obserwowane struktury kryształów w fizyce ciała stałego. Zrobiono jednak wielki krok naprzód w badaniu przejść fazowych niestrukturalnych (jak np. magnetycznych) w ciele stałym, ignorując pytanie jak powstała struktura kryształu i przyjmując ją za daną. Podobnie można postąpić przy badaniu biologicznie ważnych przejść fazowych w lipidach. W szczególności, lipidy tworzą struktury dwuwarstwowe zarówno powyżej, jak poniżej punktu przejścia, przyjmujemy więc założenie o takiej strukturze za punkt wyjścia do dalszej dyskusji.

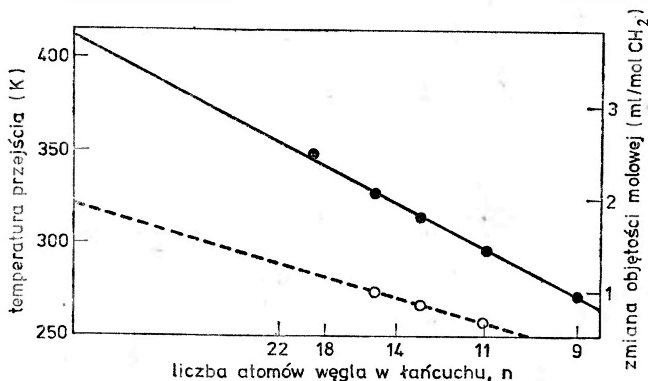
2. Łańcuchy nieuporządkowane

Podstawowych informacji o naturze przejścia fazowego w zawiesinach zlepeków warstw podwójnych dostarcza kalorymetria i dyfrakcja rentgenowska [2]. Entalpia (ciepło) przejścia ΔH , jest bardzo duża; dla fosfolipidów o łańcuchach złożonych z 16 atomów węgla wynosi ona ok. 9 kcal/mol. Odpowiada to wzrostowi entropii $\Delta S = \Delta H/T$ równemu ok. 15 R, gdzie R jest stałą gazową. Gdyby na każdy nowy stopień swobody przypadały tylko dwa stany — jak w przypadku spinów, to z zależności $\Delta S \approx R \ln 2$ wynikałoby, że podczas przejścia uwalnia się ponad 20 takich stopni swobody. Fakt ten wskazuje od razu na wzbudzenie, w drobinach lipidu, wewnątrzcząsteczkowych stopni swobody, a jedynymi fragmentami tych drobin, mającymi dostatecznie wiele stopni swobody i odpowiednią regularność, są „ogony”, tj. łańcuchy węglowodorowe. Badania rentgenowskie wykazują, że poniżej punktu przejścia „ogony” są upakowane całkiem regularnie, a odstęp między sąsiednimi (równoległymi) łańcuchami jest dosyć dobrze określony i wynosi 4,8 Å; natomiast powyżej punktu przejścia obraz dyfrakcyjny jest rozmyty i wyraźnie podobny do obrazów otrzymanych dla ciekłych węglowodorów długołańcuchowych.

Termodynamicznego dowodu na to, że przejścia fazowe w podwójnych warstwach lipidowych polegają przede wszystkim na rozpadzie uporządkowania łańcuchów węglowodorowych, dostarczają pomiary zależności między objętością molową a temperaturą, wykonane przez jednego z nas (Nagle) i Allana Wilkinsona. Na rysunku 4 przedstawiono wykres zależności temperatury przejścia od $1/(n - \delta)$, gdzie n jest długością łańcucha węglowodorowego, a stałą $\delta = 3$ wprowadzono w celu wyprostowania wykresu. W granicy $n \rightarrow \infty$, w której $1/(n - 3) \rightarrow 0$, temperatura przejścia daje się ekstrapolować do temperatury przejścia fazowego w polietylenie. Zmianę objętości, którą również wykreślono na rys. 4, można ekstrapolować, przy $n \rightarrow \infty$, do dwóch trzecich zmiany objętości polietylenu. Krótsze łańcuchy węglowodorowe doznają jednak także „wstępnego topnienia” (*premelting transition*) kilka stopni poniżej temperatury przejścia odpowiadającego topnieniu węglowodorów. Zmiana objętości podczas wstępnego topnienia ekstrapoluje się do około jednej

trzeciej zmiany objętości polietylenu. Tak więc, w granicy nieskończonych łańcuchów, przemiana fazowa w podwójnych warstwach lipidowych odpowiada przejściu węglowodorów ze stanu wstępnie stopionego do stanu stopionego.

W układach tego typu siłą termodynamiczną wywołującą przemianę fazową jest rotacja wokół któregośkolwiek z wiązań węgiel-węgiel w łańcuchach węglowodorowych. Takie rotacje napotykać opór sił wewnątrzcząsteczkowych, jak to pokazano na rys. 5. W modelu



Rys. 4. Przejścia fazowe w podwójnych warstwach lipidowych. Temperaturę głównej przemiany zaznaczono w postaci kropek (i linią ciągłą), a zmiany objętości — pustymi kółkami (i linią przerywaną). Skala osi poziomej jest liniowa w $1/(n-3)$

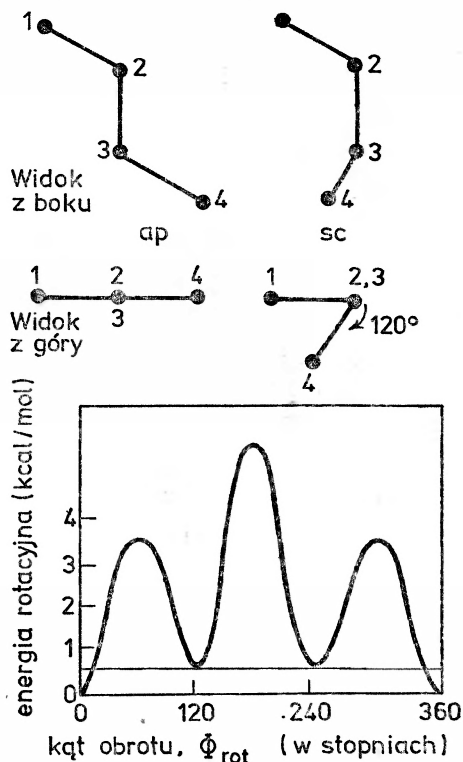
izometrii rotacyjnej, szeroko używanym w badaniach nad polimerami, continuum kątów obrotu zastępuje się przez jedno ustawienie antyperiplanarne (ap)¹, o najniższej energii, i podwójnie zdegenerowane ustawienie synklinealne (sc)¹, mające energię wyższą o ok. 0,5 kcal/mol (RT, gdy $T = 250$ K). Kąty pośrednie mają o wiele wyższe energie i dlatego w temperaturach biologicznych można je pominąć. Model składa się więc z trzech stanów zwanych „rotamerami”², dla każdego wiązania węgiel-węgiel — z jednego rotameru ap i dwu rotamerów sc. W fazie niskotemperaturowej większość cząsteczek jest w stanie, w którym wszystkie pary sąsiednich wiązań węgiel-węgiel znajdują się w położeniu ap, a łańcuchy są do siebie równoległe. Jeśli próbuje się przekształcić rotamer ap w rotamer sc niezależnie od pozostałych rotamerów, swobodny koniec odpowiedniego łańcucha węglowodorowego uderza w inny łańcuch węglowodorowy, jak to pokazano na rys. 2. Na rysunku tym cząsteczka z lewej strony ma jedno załamanie (jedna rotacja sc); środkowa cząsteczka ma jeden uskok (sekwencja: sc-ap-sc) i jeden łańcuch całkowicie w stanie ap; cząsteczka z prawej strony ma oba łańcuchy całkowicie w stanie ap. W związku z niemożnością zachodzenia na siebie łańcuchów rozpad ich uporządkowania musi być efektem kolektywnym, co tłumaczy istnienie ostrego przejścia fazowego.

Oprócz energii rotamerów i energii oddziaływania uniemożliwiającego łańcuchom zachodzenie na siebie, należy jeszcze wziąć pod uwagę znaczną energię oddziaływania van

¹ Oryg. odpowiednio *trans* i *gauche*; terminów tych nie zaleca się używać w polskim nazywaniu chemicznym (przyp. tłum.).

² W chemii używa się raczej terminu „konformacje” (przyp. tłum.).

der Waalsa, które powoduje wzajemne przyciąganie się łańcuchów węglowodorowych. Przejściu towarzyszy ok. 4% zmiana objętości, z którą wiąże się praca przeciw siłom van der Waalsa. Oszacowania dokonane przez jednego z autorów [3] przypisują około połowy zmierzonego ciepła przemiany wzrostowi energii van der Waalsa, nieco mniej niż połowę —

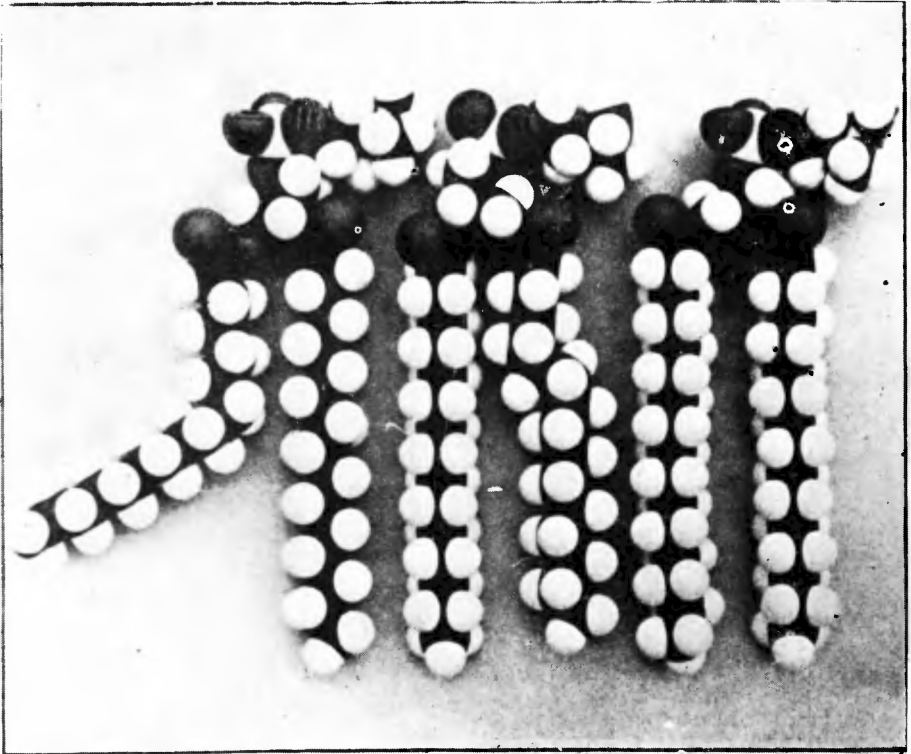


Rys. 5. Izometria rotacyjna wpływa na kształt łańcucha węglowodorowego. Na górnych diagramach lewy łańcuch jest w stanie podstawowym ap, a prawy doznał rotacji sc wokół wiązania łączącego atomy 2 i 3. Energia potencjalna jako funkcja kąta obrotu ma trzy minima

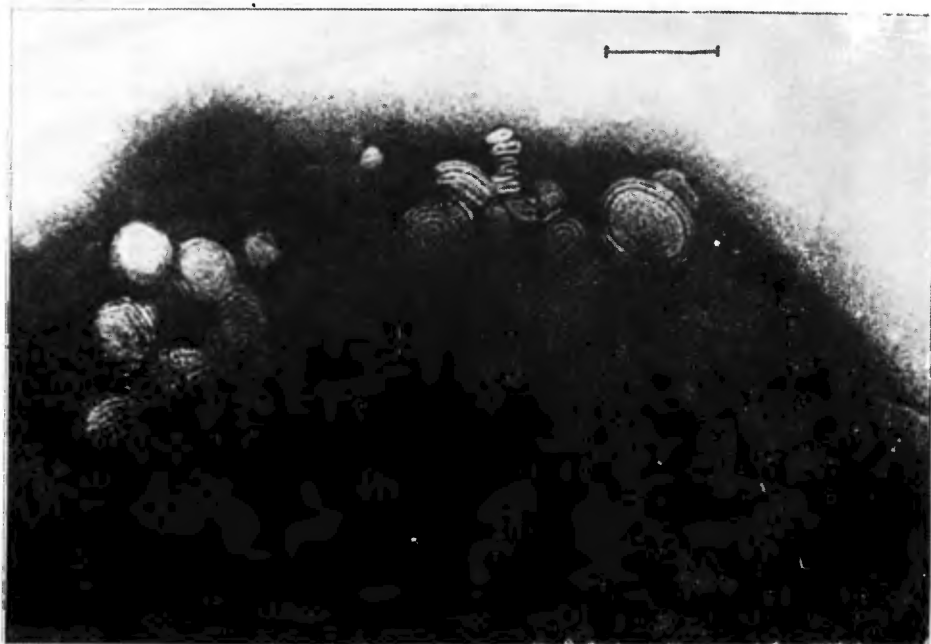
powstawaniu rotamerów sc i znacznie mniejsze zmiany energii — pozostałym oddziaływaniom. Oszacowania te wskazują, że faza wysokotemperaturowa nie zawiera aż tylu rotamerów sc co ciekłe węglowodory. Jest to wynik rozsądny, ponieważ na podwójne warstwy lipidowe nałożone są dodatkowe więzy: każdy z łańcuchów węglowodorowych jest z jednej strony przyczepiony do powierzchni stanowiącej granicę z fazą wodną. Bezpośrednim dowodem na to, że „topnienie” łańcuchów w podwójnych warstwach lipidowych ma mniejszy zasięg niż w węglowodarach i polietylenie jest fakt, że ciepło przemiany i zmiana objętości lipidów (o 16 grupach CH_2 w łańcuchu), przypadające na jedną grupę CH_2 , stanowią zaledwie około jednej trzeciej odpowiedniej zmiany w tamtych układach.

3. Badania metodami rezonansu

Tezę o nieuporządkowanej naturze łańcuchów węglowodorowych w fazie wysokotemperaturowej potwierdzają pomiary elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) [4] i rezonansu jądrowego (NMR) [5] oraz spektroskopia ramanowska. Metodami



Rys. 2. Trzy modele cząsteczkowe tego samego lipidu w różnych konfiguracjach. Lipid, dipalmitoilogliceroilofosfatidylcholina, składa się z dwu „ogonów” węglowodorowych, $(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3$, połączonych z grupą „czołową”, $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+(\text{CH}_2)_2\text{PO}_4^-$, za pośrednictwem wiązań estrowych i „kręgosłupa” glicerolowego $(\text{OCO})_2(\text{CH}_2)_2\text{CH}$. Cząsteczka z lewej ma w jednym z „ogonów” pojedyncze załamanie (konformacja synklinalna-sc), podczas gdy drugi „ogon” jest całkowicie antyperiplanalny (ap). Środkowa cząsteczka ma w jednym „ogonie” uskok (sekwencja sc-ap-sc)



Rys. 6. Mikrofotografia elektronowa lecytyny żółtka jaja poddanej działaniu ultradźwięków; zaznaczony odcinek przedstawia długość 0,1 μm . Warstwy podwójne wydają się jasne na tle ciemnej plamy kwasu wolframianofosforowego. Większe obiekty to struktury wielowarstwowe. Okrągłe jasne plamki w pobliżu brzegu ciemnej kropli interpretuje się jako pęcherzyki zbudowane z jednej warstwy podwójnej; mogą to być dyski lub sfery. Widać także pęcherzyki w kształcie krążków zebrane w stosy znane jako „rouleaux” (franc. „zwoje”, „rulony” — przyp. tłum.)

rezonansu mierzy się także kierunkowy parametr uporządkowania, tego samego typu, co parametr używany do zdefiniowania porządku w ciekłych kryształach. W przypadku NMR parametrami uporządkowania są

$$S_n = \frac{1}{2}(3 \cos^2\theta_n - 1),$$

gdzie n oznacza położenie w łańcuchu węglowodorowym mierzone od grupy czołowej, θ_n zaś jest kątem odchylenia wiązania numer n od kierunku, jaki miałyby ono w łańcuchu czysto antyperiplanarnym prostopadłym do powierzchni warstwy podwójnej. Nie należy jednak mylić powyższych parametrów uporządkowania z tymi, których używa się w teorii zjawisk krytycznych. W teorii zjawisk krytycznych parametr uporządkowania w wysokotemperaturowej fazie nieuporządkowanej jest tożsamościowo równy zeru, podczas gdy w warstwach podwójnych wartości S_n są różne od zera zarówno w fazie wysokotemperaturowej, jak w niskotemperaturowej, nie są to więc kanoniczne parametry uporządkowania Landaua dla przejścia fazowego. Fakt, że parametry S_n są różne od zera w obu fazach, oznacza po prostu, że obie te fazy są ciekłymi kryształami (typu smektycznego). Jakkolwiek często opisuje się tę przemianę tak, jak przejścia fazowe żel-ciekły kryształ, jest ona w rzeczywistości przejściem typu polimerowego, zachodzącym w odrębnej fazie ciekłokrystalicznej. Niemniej jednak, podstawowe pytanie o istnienie użytecznego, możliwego do pomiaru parametru uporządkowania w sensie Landaua pozostaje otwarte. Makroskopowy, fenomenologiczny parametr uporządkowania zostanie omówiony niżej.

W dziedzinie podwójnych warstw lipidowych wykonano ogromną ilość badań metodami rezonansowymi. Jedną z interesujących rozbieżności występuje przy porównywaniu S_n zmierzonych metodami EPR i NMR. Pomiar S_n metodą EPR, zapoczątkowane przez grupę Hardena McConnella w Stanford, wymagają zastosowania sond spinowych; wykonuje się je przez przyłączenie wolnorodnikowej grupy nitroksylowej, zawierającej niesparowany elektron, do n -tego atomu węgla łańcucha węglowodorowego. Chociaż rodnik ten nie jest zbyt duży, stanowi on lokalne zaburzenie, które obciążano odpowiedzialnością za różnicę między wynikami pomiarów EPR i NMR. Przy wyznaczaniu S_n metodą NMR używa się lipidów zawierających deuter, podstawiony (w procesie syntezy) w położeniu n , dzięki czemu zaburzenie jest pomijalnie małe. Mc Connell [4] zasugerował jednak, że parametry uporządkowania mierzone metodą EPR powinny różnić się od parametrów zmierzonych przy użyciu NMR, ponieważ niejednakowym rozszczepieniem nadsubtelnym odpowiadają różne skale czasu uśrednienia S_n : $10^{-7} - 10^{-9}$ s dla EPR, zaś $10^{-5} - 10^{-6}$ s dla NMR.

Obraz ruchów cząsteczkowych zaproponowany przez Mc Connella [4] oraz Sunneya Chana i jego współpracowników z California Institute of Technology [5] charakteryzuje się tym, że w fazie wysokotemperaturowej, oprócz nieuporządkowania rotamerów, występuje nachylenie całych cząsteczek względem normalnej do płaszczyzny warstwy podwójnej i to nachylenie wpływa na wyniki pomiarów EPR [4]. Nachylenie jest oczywiście efektem zespołowym i w fazie niskotemperaturowej zostaje zamrożone przez uporządkowanie dalekiego zasięgu, tak że można je stwierdzić metodą dyfrakcji rentgenowskiej. Jednakże w fazie wysokotemperaturowej warstwa podwójna jest dostatecznie płynna, aby reorientacja lokalnego nachylenia była szybka (i w związku z tym uśredniana) w skali czasu NMR, nie jest ona natomiast zjawiskiem szybkim w skali czasu EPR. W przeciwieństwie do tego,

przejścia z jednego rotameru w drugi są przypuszczalnie szybkie w obu skalach czasowych. Tak więc, aby porównać ze sobą te wyniki, należy najpierw obliczyć średnią po zespole statystycznym z wartości S_n wyznaczonych metodą EPR [4]. Taka możliwość wyjaśnienia rozbieżności jest atrakcyjna, gdyż podtrzymuje tezę, że dobre pomiary ilościowe, wykonane różnymi technikami na skomplikowanych układach biologicznych, nie muszą ze sobą konkurować, ale mogą się uzupełniać, odsłaniając nieoczekiwane subtelnosci, które posuwają naprzód wiedzę o układzie.

Oprócz zawieszin drobnych zlepeków warstw podwójnych znane są inne układy modelowe o dużej użyteczności. Pod działaniem ultradźwięków ziarenka zawiesiny zostają rozbite; duża część materiału znajduje się potem w postaci pęcherzyków, złożonych z jednej, w przybliżeniu sferycznej warstwy podwójnej. Warstwa ta otacza pewną objętość wody, tworząc jak gdyby prototyp komórki, co ilustruje druga część rysunku 3.

Na rys. 6, który jest mikrofotografią elektronową lipidu żółtka jaja poddanego działaniu ultradźwięków, widać zarówno obraz dwu pęcherzyków o pojedynczych ścianach, jak i drobne struktury wielowarstwowe. Niestety, wskutek małych rozmiarów pęcherzyków (około 300 Å), więzy, którym podlega upakowanie cząsteczek lipidu, nie są jednakowe po obu stronach warstwy podwójnej. Dowodem tego jest obniżenie temperatury przejścia i zwężenie linii NMR związane ze wzrostem swobody ruchów cząsteczkowych. Wprawdzie, z uwagi na wspomniane więzy, należy zachować ostrożność przy interpretowaniu ilościowych badań nad przejściami fazowymi [6], to jednak pęcherzyki otrzymane za pomocą ultradźwięków są bardzo przydatne w badaniach biologicznych: podczas działania ultradźwięków można łatwo wprowadzać rozmaite substancje do wnętrza pęcherzyków, a następnie usuwać je z otaczającego roztworu w celu wytworzenia gradientów stężenia.

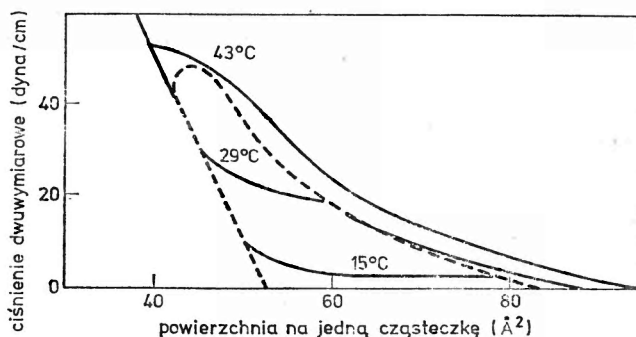
Innym układem modelowym, który umożliwia kontrolowany dostęp do obu stron błony są tak zwane „czarne błony lipidowe”. Wytwarza się je nakładając roztwór fosfolipidu w heksanie (zazwyczaj) na wąski otwór (szczelinę), tak aby otrzymać trzecią strukturę z rysunku 3. Stanowi ją izolowana warstwa podwójna, tak cienka, że aż optycznie czarna. Czarne błony lipidowe były badane szeroko i wykonywane przy użyciu różnych technik [7]. Niektóre problemy związane z ich zastosowaniem w charakterze błon modelowych, to kruchość takich błon a także możliwość, że oprócz lipidów zawierają one pewną ilość węglowodorowego rozpuszczalnika (np. heksanu).

4. Punkty krytyczne w warstwach pojedynczych?

Istnieją także argumenty przemawiające za tym, że warstwa monomolekularna na granicy faz powietrze-woda, pokazana również na rys. 3, nadaje się na modelowy układ dla błon [2, 3]. Jednym z motywów posługiwania się warstwami pojedynczymi w charakterze błon modelowych jest możliwość doświadczalnej kontroli jeszcze jednej pary zmiennych termodynamicznych, mianowicie powierzchni przypadającej na cząsteczkę lipidu — A oraz ciśnienia dwuwymiarowego — π ; w pozostałych układach modelowych wielkości te nie są dostępne dla eksperymentu. Intuicyjna myśl, zgodnie z którą warstwy pojedyncze są dla błon układami modelowymi, streszcza się w tym, że warstwa podwójna istotnie składa się z dwu warstw pojedynczych (zwróconych do siebie „plecami”), co najwyżej ze słabym

oddziaływaniem między nimi. Oczywiście, założenie to może być słuszne tylko wtedy, gdy woda nie ma możliwości zetknięcia się z warstwą pojedynczą od strony węglowodorowej, co w tym przypadku rzeczywiście jest prawdą. Nieco mniej oczywisty warunek sensowności tego porównania dotyczy powierzchni swobodnej na granicy faz woda-powietrze, za ruchomą barierą (rys. 3). Wskutek napięcia powierzchniowego wody bariera jest ściągnięta w prawo z siłą 70 dyn/cm, podczas gdy powierzchnia swobodna na granicy faz węglowódor-powietrze ciągnie tę barierę w lewo z siłą, którą na podstawie znajomości napięcia powierzchniowego węglowodorów ocenia się na ok. 20 dyn/cm. Dlatego też, porównując warstwy pojedyncze z podwójnymi, musimy poddać warstwę pojedynczą zewnętrznemu ciśnieniu dwuwymiarowemu ok. 50 dyn/cm [3]. Jeśli tak postąpimy, wyniki pomiarów temperatury przejścia fazowego w pojedynczych i podwójnych warstwach lecytyny będą ze sobą zgodne.

Izotermie warstw pojedynczych, przedstawione na rys. 7, wskazują wyraźnie na istnienie przejścia fazowego poniżej pewnej temperatury T_c . Izotermie te interpretuje się zazwyczaj



Rys. 7. Ciśnienie dwuwymiarowe w pojedynczych warstwach fosfolipidowych jako funkcja powierzchni przypadającej na jedną cząsteczkę, w trzech temperaturach. Liniją przerywaną obwiedziono postulowany obszar współistnienia dwu faz. Dane pochodzą z pracy S. W. Hui i współpracowników [9]

w kategoriach obszaru współistnienia dwu faz (zaznaczonego również na tym rysunku). Nie wiadomo dlaczego izotermie nie są płaskie w przypuszczalnym obszarze współistnienia faz, aczkolwiek możliwe, że szybkość wykonywania tych doświadczeń uniemożliwia osiągnięcie prawdziwej równowagi w rejonie przejścia w fazę „stałą”. W związku z tym należy wspomnieć, że Steve Hui z Roswell Park Memorial Institute (Buffalo) zaobserwował strukturę domenową jednorodnych lipidów w fazie niskotemperaturowej [8]. Układ modelowy stanowią w tym przypadku warstwy pojedyncze na siatce mikroskopu elektronowego, w specjalnej, nawodnionej komorze. Zarówno spostrzeżenie struktury domenowej, jak i wcześniejsze prace na temat warstw pojedynczych wykazują, że faza niskotemperaturowa jest sztywna i przypomina ciało stałe.

Powszechnie przyjęta interpretacja doświadczeń nad warstwami pojedynczymi [9] sugeruje istnienie punktu krytycznego, jak to przedstawiono na rys. 7. Przy ciśnieniach dwuwymiarowych przekraczających π_c albo w temperaturach wyższych od T_c przejście fazowe nie zachodzi. Zmiana powierzchni, ΔA , podczas przejścia przez obszar dwufazowy

na rysunku zachowuje się jak typowy parametr uporządkowania Landaua, chociaż jest to makroskopowy a nie mikroskopowy parametr uporządkowania. Sprzężonym z nim polem jest więc zewnętrzne ciśnienie dwuwymiarowe π . Warto zauważyć, że nic nie wskazuje na istnienie punktu krytycznego, gdy obserwuje się zwykle, trójwymiarowe ciśnienie P i objętość V — ani w lipidach, ani w polietylenie, co świadczy o braku analogii między P i V w bryle lipidu do π i A w warstwie. Oszacowania krytycznego ciśnienia dwuwymiarowego [9] w 16-węglowych fosfolipidach dały wartość bliską 50 dyn/cm. Jeśli traktować poważnie analogię między warstwami pojedynczymi a podwójnymi, to wynik ten wskazuje, że warstwy podwójne w punkcie przejścia znajdują się blisko punktu krytycznego.

Jednym z wyników doświadczalnych, potwierdzających tezę, iż przejście fazowe w zlepkach warstw podwójnych jest bliskie krytycznemu, jest przepuszczalność warstwy dla jonów sodowych [10], wykazująca anomalne maksimum w T_c . Jakkolwiek przepuszczalność ta jest niska w porównaniu z jej wartością dla prawdziwych błon, zaopatrzonych w pompy sodowe, pory z zastawkami lub specjalne cząsteczki-nośniki, może ona być dobrym probierzem, właściwości warstw podwójnych. W szczególności „wąskim gardłem” transportu jonów Na^+ wydaje się przechodzenie jonów, z wody do obszaru węglowodorowego, przez obszar grup „czołowych”. Etap ten może być znacznie ułatwiony przez fluktuacje krytyczne powierzchniowego upakowania lipidów, które tworząc drobne luki umożliwiają jonom wejście w błonę.

Fluktuacje te są duże w pobliżu punktu krytycznego, w którym izotermiczna ściśliwość powierzchniowa, $A^{-1}(\partial A/\partial \pi)_T$, jest wysoka. Seb Soniach z Stanford zasugerował ostatnio, że również anomalne maksimum przepuszczalności jonów Na^+ może w związku z tym świadczyć o występowaniu fluktuacji krytycznych. Należy jednak podkreślić, że pomiary kalorymetryczne i wolumentryczne wykonane na zawieszinach zlepków warstw podwójnych wykazują istnienie przejścia o szerokości zaledwie ok. jednego stopnia, zaś dokładny przyrost temperatury zmienia się od próbki do próbki. Tak więc każdy obszar krytyczny musi być dosyć wąski, przynajmniej dla tych pomiarów; zazwyczaj przyjmuje się, że przejście fazowe w zlepkach wielu warstw podwójnych jest przemianą pierwszego rodzaju.

W tym miejscu możemy dalej zastanawiać się, dlaczego prawdziwe błony biologiczne lubią rosnąć właśnie w obszarze termodynamicznym przejścia fazowego. Aby błona rosła, świeży budulec, taki jak lipidy, cholesterol i białko, musi być wprowadzany między jej cząsteczki, ponieważ — inaczej niż przy wzroście kryształu — nie ma tutaj wolnej krawędzi, do której mógłby się przyłączać. Takie wstawianie budulca jest ułatwione, gdy dwuwymiarowa ściśliwość jest wysoka, ponieważ potrzeba wtedy mniejszego nakładu energii, by wymusić otwarcie lokalnych dziur, w których pomieszczą się nowe cząsteczki. Jeśli założyć, że w błonie znajduje się już enzym wzrostowy, który wymusza otwarcie takich dziur, to przy wstawianiu budulca nie jest konieczna bliskość punktu krytycznego, lecz jedynie wysoka ściśliwość powierzchniowa — taka jaką mają warstwy pojedyncze w obszarze współistnienia faz [4]. Należy przestrzec, że wiele błon ma temperatury przejścia wyraźnie niższe od temperatury wzrostu, tak że stan przejścia fazowego nie jest im niezbędny. Wydaje się jednak, że większość błon wymaga nieuporządkowania lub płynności, występujących w temperaturach z obszaru przejścia fazowego lub wyższych.

5. Ruch dwuwymiarowy

Drugą, obok przepuszczalności, biologicznie istotną właściwością dynamiczną podwójnych warstw lipidowych jest ruch cząsteczek w płaszczyźnie błony. Miarą ich ruchliwości jest współczynnik dyfuzji dwuwymiarowej D_L , który ze średnim kwadratem przesunięcia w czasie t , $\langle r^2 \rangle$, jest związany typową relacją

$$\langle r^2 \rangle = 4 D_L t. \quad (1)$$

Kilka spośród pierwszych pomiarów D_L wykonał w Stanford McConnell ze swymi współpracownikami. Badali oni zmienność czasową widma EPR dla zlepeków warstw podwójnych przygotowanych tak, by miały wysokie stężenie sond spinowych w określonym obszarze [4]. W rezultacie otrzymali $D_L \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Watt Webb i jego współpracownicy z Cornell University badali ruchliwość dwuwymiarową zarówno lipidów, jak białek, w zlepkach wielu warstw podwójnych, czarnych błonach lipidowych i błonach biologicznych, posługując się dwiema nowoczesnymi technikami optycznymi [11]: metodą fluorescencyjnej spektroskopii korelacji oraz metodą polegającą na badaniu szybkości odzyskiwania fluorescencji przez fragment błony wybielony silnym światłem (*fluorescence photobleaching recovery*). Pierwszą z tych metod zastosowano do mierzenia D_L w czarnych błonach lipidowych. Po przygotowaniu modelowej błony, zawierającej w niewielkim stężeniu cząsteczki fluoryzujące, na małym jej kawałku skupia się promień lasera za pomocą mikroskopu i śledzi natężenie tak wywołanej fluorescencji. W czasie τ natężenie to fluktuuje wskutek wahań stężenia sond fluorescencyjnych w obserwowanym obszarze. Stosowaną zazwyczaj miarą takich fluktuacji jest funkcja autokorelacji

$$g(\tau) = [\langle I(t) I(t+\tau) \rangle - \langle I(t) \rangle^2] / \langle I(t) \rangle^2, \quad (2)$$

gdzie $I(t)$ jest natężeniem fluorescencji w chwili t . Analiza problemu dwuwymiarowej dyfuzji prowadzi do wyniku

$$g(\tau) = \left[\langle N \rangle \left(1 + \frac{\tau}{\tau_c} \right) \right]^{-1}, \quad (3)$$

gdzie $\langle N \rangle$ jest średnią liczbą cząsteczek fluoryzujących w naświetlonym obszarze πr^2 , a $\tau_c = r^2/4D_L$ — charakterystycznym czasem dyfuzji dla ruchu skierowanego na zewnątrz naświetlanego obszaru. Z wykresu zależności $g(\tau)$ od τ , Webb i jego współpracownicy otrzymali, dla szeregu czarnych błon lipidowych o różnym składzie i przygotowanych rozmaitymi metodami, wynik $D_L \gtrsim 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$.

W drugiej metodzie śledzi się odzyskiwanie fluorescencji przez mały fragment błony naświetlany zogniskowanym promieniem lasera po uprzednim nieodwracalnym wybieleniu tego obszaru impulsem laserowym o dużym natężeniu. Szybkość powracania fluorescencji w tym obszarze daje, poprzez charakterystyczny czas τ_c , współczynnik dyfuzji. Z pomiarów tych fizycy z Cornell otrzymali — dla rozmaitych komórek ssaków, jak np. mioblastów szczura — $D \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ dla białek oraz $D \approx 9 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ dla składników lipidowych [11].

Dysponując powyższymi wartościami dwuwymiarowej ruchliwości, można oszacować

czas potrzebny cząsteczce na obiegnięcie komórki wielkości $10 \mu\text{m}$. Biorąc $D_L \approx 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ i $\langle r^2 \rangle \approx (10 \mu\text{m})^2$, dostaje się $\tau_c \approx 25 \text{ s}$ dla lipidów; kładąc $D_{\text{protein}} \approx 2 \cdot 10^{-10}$ i to samo $\langle r^2 \rangle$ otrzymuje się $\tau_c \approx 20 \text{ min}$ dla białek. Wynik ten jest zgodny z mierzonym czasem redystrybucji antygenów z powierzchni komórek po fuzji tych komórek [10]. Wydaje się w związku z tym, że dwuwymiarowa ruchliwość odgrywa rolę w czynnościach biologicznych wielu komórek. Pomiaru stałych dyfuzji dla różnych składników błony biorących udział w procesach biologicznych zdążyły już rzucić nowe światło na niektóre molekularne mechanizmy czynności błon; pracę w tych kierunkach kontynuuje się w kilku laboratoriach. Aktualnym problemem jest zrozumienie przyczyn unieruchomienia znacznych porcji różnych zawartych w błonie białek.

Poprzednie pomiary D_L odnosiły się do wysokotemperaturowej fazy płynnej. Poniżej T_c , pomiary wykonane przez Webba i współpracowników wykazały, że dla zlepków wielu warstw podwójnych D_L jest mniejsze o kilka rzędów wielkości. Podtrzymuje to pogląd, zgodnie z którym faza niskotemperaturowa jest znacznie bardziej sztywna i zbliżona do ciała stałego. Co dziwniejsze jednak, zależność D_L od T dla czarnych błon lipidowych nie wskazuje na istnienie jakiegokolwiek przejścia fazowego. Uważa się, że przyczyną tej różnicy jest obecność rozpuszczalnika w czarnych błonach lipidowych, co oznacza, że te dwa układy modelowe nie są ściśle równoważne, przynajmniej pod względem właściwości dynamicznych. Paul Fahey i Webb stwierdzili ostatnio, że D_L zmienia się o kilka rzędów wielkości dla dużych, wolnych od rozpuszczalnika pęcherzyków, zbudowanych z jednej warstwy podwójnej, otrzymanych przy użyciu nowej techniki.

Różne lipidy, wspomniane w związku z rysunkami 1 i 2, doznają przejść fazowych w różnych temperaturach. Z grubsza biorąc, dodanie dwu grup CH_2 do każdego z łańcuchów węglowodorowych błony podwyższa jej T_c o ok. 15° . Odwodornienie łańcuchów w celu wytworzenia w każdym z nich jednego wiązania podwójnego $\text{C} = \text{C}$ obniża T_c o ok. 45° . Usunięcie grupy CH_3 z okolic „czołowych” podnosi T_c o ok. 20° . Takie zaburzenia są niezmiernie ważne biologicznie. W szczególności sposób, w jaki komórki obniżają swoje temperatury przejścia fazowego w błonach, polega na włączeniu w skład błony większej ilości lipidów krótkołańcuchowych lub nienasyconych. Zasadniczo jednak, zmiany temperatury przejścia o $10\text{--}20^\circ$ przy 300 K są rzeczywiście zaburzeniami i nie sygnalizują drastycznych różnic jakościowych.

6. Mieszaniny

Niektórych ważnych właściwości przejść fazowych w błonach biologicznych nie można odtworzyć w układach modelowych zawierających jeden rodzaj lipidu — potrzeba do tego mieszaniny lipidów. Typowym przykładem własności wszelkich mieszanin dwuskładnikowych jest istnienie górnej i dolnej temperatury przejścia, odpowiednio T_{cu} i T_{cl} . W temperaturach pośrednich, lipidy A i B w każdej warstwie podwójnej tworzą fazy bocznie rozdzielone na fazę bogatszą w A (stosunkowo płynną) i bogatszą w B (względnie stałą). W miarę podnoszenia temperatury przybywa fazy bogatej w składnik A kosztem fazy bogatej w B , aż pozostanie już tylko jedna, płynna, faza w T_{cu} . Przy obniżaniu temperatury do T_{cl} , zależnie od mieszaniny, układ może skrzepnąć w jedną fazę lub utworzyć dwie rozdzielone fazy stałe [4].

Przy większej liczbie składników zachodzi oczywiście możliwość współistnienia więcej niż dwu faz. Owo powierzchniowe rozdzielanie faz nasuwa jeszcze jedno przypuszczenie na temat: dlaczego komórka woli wytwarzać błonę w stanie bliskim przejścia fazowego? Istnieje wiele różnych związanych w błonie białek, które pełnią niezbędne funkcje biologiczne. Białka te do prawidłowego funkcjonowania mogą wymagać różnych środowisk lipidowych. Dla przykładu, pewnym białkom może być potrzebna obecność lipidów, których grupy „czołowe” mają wypadkowy ładunek różny od zera, podczas gdy inne białka wymagają obecności lipidów neutralnych. Zrozumiałe, że takim potrzebom można sprostać w obszarze przejścia fazowego wieloskładnikowej mieszaniny, zawierającej różne fazy o rozmaitych właściwościach lipidów, a nie jest to możliwe w pojedynczej fazie.

Inny spotykany typ rozdzielania faz polega na tym, że skład mieszaniny lipidów po wewnętrznej stronie warstwy podwójnej różni się od składu warstwy zewnętrznej. Różnice w składzie można łatwo utrzymywać, ponieważ czas potrzebny na przepiękowanie cząsteczki przy jej przejściu z jednej strony warstwy podwójnej na drugą jest dosyć długi, jak to wykazała grupa Mc Connella przy użyciu sond spinowych [4]. Taka różnica, zwana „asymetrią błony” może odgrywać ważną rolę w procesie selektywnego wiązania substancji przez komórkę, przy ustawianiu (w odpowiednim kierunku) zawartych w błonie białek; może mieć także wpływ na ogólny kształt błony.

Obok wyżej przytoczonych domysłów na temat ewentualnego wpływu lipidów na czynności białek, istnieją dowody (dostarczane przez pomiary EPR), że obecność białek w warstwie podwójnej wpływa na otaczające je lipidy, jeśli tylko białka te znajdują się całkowicie lub prawie całkowicie w granicach obszaru węglowodorowego warstwy [2, 4]. Badania te wskazują, że każde ziarno białka jest otoczone warstwami „lipidu brzegowego”, przy czym lipidy leżące najbliżej ziarna są stosunkowo mało ruchliwe w porównaniu z lipidami w fazie wysokotemperaturowej. Takie „lipidy brzegowe” nie dają wkładu do zmiany entalpii podczas przejścia fazowego.

Rola jaką w błonach odgrywa cholesterol jest od wielu lat przedmiotem intensywnych badań, częściowo przynajmniej — w związku z jego znaczeniem w miażdżycy. Wpływ cholesterolu na przemianę fazową w lipidach jest dobrze znany dzięki badaniom kalorymetrycznym. W miarę dodawania cholesterolu do zlepków wielu warstw podwójnych jednoskładnikowego lipidu, ciepło przemiany maleje, podczas gdy temperatura przejścia pozostaje bez zmian, aż przy 33%—50% cholesterolu przejście zanika [3]. Na ogół panuje pogląd, że znikanie przejścia fazowego jest skutkiem sztywności sterydowego rdzenia cząsteczek cholesterolu, uniemożliwiającej kolektywną izomeryzację długich łańcuchów węglowodorowych w lipidach. W każdym razie cholesterol nie tylko powoduje stwardnienie tętnic, ale także uśmierca przejście fazowe!

7. Podejścia teoretyczne

Zjawiska biologiczne są często zbyt ubogo scharakteryzowane i zależą od nazbyt wielu zmiennych, aby można je było opisywać przy użyciu tego samego typu teorii co zjawiska fizyczne. Dotychczasowa dyskusja wykazała jednak, że przejście fazowe w podwójnych warstwach lipidowych zostało scharakteryzowane dosyć dobrze, tak że nie wydaje się, aby za wcześnie było na budowanie teorii posługujących się metodami mechaniki

statystycznej czy teorii przejść fazowych. Liczba teoretyków z wykształceniem fizycznym zainteresowanych tym zjawiskiem stale rośnie.

Przy poprawnym traktowaniu przejść fazowych należy obliczyć sumę stanów

$$Z = \sum \exp(-E/kT), \quad (4)$$

gdzie sumowanie przebiega po wszystkich konfiguracjach układu, E zaś jest energią poszczególnych konfiguracji. W układzie tak złożonym jak podwójna warstwa lipidowa, E składa się z wielu członów. Z poprzedniej dyskusji wynika

$$E = E_{xvol} + E_{rot} + E_{vdw} + E_{inne}. \quad (5)$$

E_{xvol} jest tutaj energią silnie odpychającego oddziaływania rdzeni, które zapobiega zajęciu tej samej objętości przez dwa atomy; E_{rot} jest energią rotamerów łańcuchów węglowodorowych (równą n_g razy 0,5 kcal/mol, gdzie n_g jest liczbą rotamerów sc); E_{vdw} jest energią przyciągania się węglowodorów siłami van der Waalsa (wielkość tego członu oceniono na 1,84 kcal na mol CH_2 — z badań nad sublimacją węglowodorów). Pozostałe przyczynki do energii, E_{inne} , to *energie wibracyjna i kinetyczna*, mające w przybliżeniu, tę samą wartość, $\frac{1}{2} kT$, na każdy stopień swobody w dowolnej z faz; *oddziaływanie „grup czołowych”*, włączając oddziaływanie elektrostatyczne i ewentualne słabe oddziaływania typu wiązania wodorowego (zarówno bezpośrednio, jak i za pośrednictwem związanej wody), które na podstawie obserwowanych przesunięć T_c można uznać za niewielkie; *oddziaływanie między dwiema warstwami składającymi się na warstwę podwójną*, które wydaje się słabe w związku ze zgodnością T_c warstw pojedynczych i podwójnych; wreszcie — *oddziaływanie międzyfazowe z otaczającą wodą*, które nie ulega większym zmianom, dopóki zachowana jest struktura warstwy podwójnej. Podstawowe obliczenia statystyczne koncentrują się zatem na E_{xvol} , E_{rot} i E_{vdw} .

Nawet gdy pominiemy E_{inne} , problem statystyczno-mechaniczny jest ogromny — zarówno ze względu na oddziaływanie rdzeni, jak na długi zasięg oddziaływania van der Waalsa; oba te problemy czynią ścisły rachunek niewykonalnym nawet dla prostych płynów. Dla teoretyka istnieją w zasadzie dwa wyjścia:

- uprościć model, np. redukując liczbę wymiarów, tak aby otrzymać układ, dla którego wyrażenie (4) można obliczyć ściśle;
- zachować oryginalny model i obliczyć (4) posługując się przybliżonymi metodami numerycznymi.

Te dwa podejścia wzajemnie się uzupełniają, a ze studiów nad szeregiem rozmaitych modeli teoretycznych i dokładnego porównywania ich z doświadczeniem powinien wyłonić się jasny obraz natury oddziaływań mikroskopowych, których efektem są obserwowane właściwości fazowe warstw podwójnych.

Dwaj autorzy tego artykułu biorą udział w pracach teoretycznych posługując się wyżej opisanymi dwiema różnymi metodami. Nagle upraszczał wyjściowy model, aż ten dał się rozwiązać ściśle metodą pfaffianów i dimerów znaną z mechaniki statystycznej [3]. W modelu tym łańcuchy są nieskończenie długie i zamknięte w ramach dwuwymiarowej sieci, ale więzy zakazujące nakładania się łańcuchów są ściśle przestrzegane. Bez żadnych parametrów dowolnych rachunek ten daje prawidłową wartość T_c dla warstw podwójnych i poprawne współrzędne punktu krytycznego dla warstw pojedynczych. Ów punkt krytyczny

zaliczany jest do gatunku niezwykłego w fizyce statystycznej, nazwano go punktem krytycznym rzędu $3/2$ [3].

Scott, dla odmiany, rozwinął przybliżoną metodę traktowania sił sztywnego rdzenia w warstwach pojedynczych, będącą adaptacją metody Flory'ego znanej w fizyce statystycznej polimerów [12]. Wynikiem rachunku jest klasyczny punkt krytyczny. Oprócz tego, Scott przeprowadza symulacje numeryczne metodą Monte Carlo dla obszaru węglowodorowego warstwy pojedynczej. Obliczenia te podkreślają decydujące znaczenie sił twardego rdzenia przy ustalaniu się konformacji łańcuchów i rzucają nieco nowego światła na przyczyny różnic między wartościami parametrów obliczonych metodami EPR i NMR.

Stjepan Marčelja, fizyk z Uniwersytetu Zagrzebskiego rozwinął metodę pola średniego, za pomocą której starannie bada izomerię rotacyjną [13]. Jego podejście do oddziaływań międzycząsteczkowych jest podobne do metody Maiera-Saupego dla ciekłych kryształów. Tak jak i w przypadku ciekłych kryształów, teoria daje dość dobrą zgodność z doświadczeniem, ale przybliżenie wprowadza parametry, których wartości są albo nieokreślone, albo niezgodne z naszą wiedzą na temat oddziaływań międzycząsteczkowych. Bruce Hudson, Hans Andersen i ich współpracownicy z Stanford przeprowadzili obliczenia oparte na teorii pola średniego i metodzie skalowanych cząstek, skupiając się na wyznaczaniu zależności T_c od długości łańcuchów i na badaniu mieszanin dwuskładnikowych [14].

W tradycyjnych działach fizyki budowanie modeli teoretycznych i obliczenia statystyczno-mechaniczne przyczyniają się często do skoncentrowania prac doświadczalnych i zwiększenia ich wybiórczości. To samo odnosi się do niektórych spośród omawianych tutaj badań nad błonami. Na przykład jeden z nas (Nagle) [3] analizując ogólne wyrażenie na energię (5), zwrócił uwagę, że jeśli E_{inne} jest mała, to względna zmiana objętości winna mieścić się w granicach 3—4%. W tym przypadku doświadczenia poparły teorię. Inne hipotezy, które czekają na pełne potwierdzenie lub odrzucenie przez eksperyment, to m. in. wspomniany wcześniej, przypuszczalnie podkrytyczny charakter przejścia fazowego w warstwach podwójnych oraz hipoteza wysunięta przez jednego z nas (Scott) dotycząca przyczyn niezwykłego kształtu izoterm dla warstw pojedynczych.

8. Prognoza

Staraliśmy się przedstawić obszar badawczy ważny dla nauk biologicznych a równocześnie podlegający takim rodzajom ilościowych badań teoretycznych i doświadczalnych, jakie przemawiają do fizyków. W pracy związanej z błonami biologicznymi nie brak oczywiście złożonych problemów, które trapią eksperymentalistów na równi z teoretykami, ale — jak wykazaliśmy — osiągnięto już znaczny postęp. Przy dalszym wkładzie pracy i współdziałaniu fizyków, biofizyków, chemików, biochemików i biologów, następna dekada powinna być świadkiem jeszcze szybszego rozwoju tych dziedzin.

Tłumaczył *Piotr Goldstein*

Instytut Badań Jądrowych
Warszawa

Literatura

- [1] D. L. Melchior, J. M. Steim, *Biochim. Biophys. Acta* **466**, 148 (1977).
- [2] D. Chapman, *Quart. Rev. Biophys.* **8**, 185 (1975).
- [3] J. F. Nagle, *J. Membrane Biol.* **27**, 233 (1976).
- [4] H. M. McConnell, w *Spin Labeling*, ed. L. J. Berliner, Academic, New York 1976, rozdział 13.
- [5] N. O. Petersen, S. I. Chan, *Biochemistry* **16**, 2657 (1977).
- [6] C. H. A. Seiter, S. I. Chan, *J. Am. Chem. Soc.* **95**, 7541 (1973).
- [7] H. T. Tien, *Bilayer Lipid Membranes (BLM), Theory and Practice*, Marcel Dekker, New York 1974.
- [8] S. W. Hui, D. F. Parsons, *Science* **184**, 77 (1974).
- [9] S. W. Hui, M. Cowden, D. Papahadjopoulos, D. F. Parsons, *Biochim. Biophys. Acta* **382**, 265 (1975).
- [10] D. Papahadjopoulos, K. Jacobson, S. Nir, T. Isac, *Biochim. Biophys. Acta* **311**, 330 (1973).
- [11] W. W. Webb, w *Electrical Phenomena at the Biological Membrane Level*, ed. E. Roux, Elsevier 1977, str. 119—156.
- [12] H. L. Scott, *Biochim. Biophys. Acta* **406**, 329 (1975).
- [13] S. Marčelja, *Biochim. Biophys. Acta* **367**, 162 (1974).
- [14] R. E. Jacobs, B. Hudson, H. C. Andersen, *Biochemistry* **16**, 4349 (1977).

R Ó Ż N E

Jerzy Kolodziejczak

Instytut Fizyki PAN
Warszawa

Stan i kierunki rozwoju fizyki w Polsce *

Część I. Ogólna charakterystyka potencjału badawczego w naukach fizycznych¹

Present State and General Trends in Development of Physics in Poland. Part. I. A General Characterization of the Research Potential in Physical Sciences

Abstract: A description of the research potential of Polish physics, concerning man power, equipment and research organization has been presented compassing all major branches of physical sciences in Poland.

Mam zaszczyt przedstawić Państwu, na prośbę Prezesa Polskiego Towarzystwa Fizycznego prof. Wilhelmięgo, referat charakteryzujący stan aktualny oraz kierunki rozwoju badań fizycznych w Polsce.

Kiedy podejmowałem się tego zadania nie sądziłem, że okaże się ono aż tak trudne. Trudności w zgromadzeniu pełnych i wiarygodnych danych liczbowych charakteryzujących aktualny potencjał badawczy w dziedzinie fizyki polskiej udało się pokonać tylko częściowo. Ze względu na ograniczone rozmiary referatu, poważnym problemem stała się sprawa selekcji informacji na temat badań fizycznych prowadzonych w różnych ośrodkach naukowych w kraju. Przy okazji charakteryzowania potencjału badawczego w naukach fizycznych pojawiły się wątpliwości związane z zakwalifikowaniem określonych kierunków badawczych względnie subdyscyplin do grupy nauk fizycznych. Poza tradycyjnymi działami fizyki takimi, jak np. fizyka ciała stałego czy fizyka jądrowa, uwzględnione w tym referacie zostały również biofizyka, geofizyka, astronomia, fizyka kosmiczna oraz problemy fizyki

* Pierwsza część referatu wygłoszonego dn. 26 września 1979 r. na XXVI Zjeździe Fizyków Polskich w Toruniu. Część druga ukaze się w jednym z najbliższych zeszytów *Postępów Fizyki* (przyp. Red.).

¹ Materiały do referatu zgromadziła i opracowała Mirosława Jastrzębska.

stosowanej. W referacie zatem będzie mowa nie tyle o fizyce, co o naukach fizycznych w Polsce.

Potencjał naukowo-badawczy polskiej fizyki scharakteryzowany może być najogólniej stanem liczbowym i jakościowym kadry fizyków, liczbą placówek naukowych prowadzących badania w zakresie fizyki oraz poziomem uzbrojenia technicznego laboratoriów fizycznych. Efektywność wykorzystania tego potencjału mierzona liczbą uzyskiwanych oryginalnych wyników naukowych zależy w prostej linii od nakładów finansowych przeznaczonych na badania fizyczne oraz organizacji tych badań.

Kadra fizyków w Polsce liczy dziś około 11 tys. osób². Liczba ta obejmuje zarówno pracowników pełnozatrudnionych, jak i pracujących w niepełnym wymiarze czasu pracy. Około 5 tys. fizyków zatrudnionych jest w instytucjach prowadzących prace badawcze w zakresie fizyki. Z danych zaczerpniętych z artykułu prof. Wilhelmięgo opublikowanego w czasopiśmie *Europhysics News* 9, No 7/8 (1978), przedstawiających liczbowy podział kadry między poszczególne gałęzie fizyki, a więc w pewnej mierze określających podział potencjału badawczego między te kierunki, wynika, że najbardziej kultywowane są: fizyka ciała stałego, w której specjalizuje się ok. 980 fizyków i fizyka jądrowa, którą uprawia ok. 470 fizyków. Zwraca uwagę stosunkowo duża grupa fizyków, ok. 520, prowadzących badania teoretyczne. W przemyśle pracuje ok. 750 fizyków (rys. 1), co stanowi zaledwie 6,2% ogólnej liczby fizyków w Polsce. Najwięcej, bo około 260 fizyków, pracuje w przemyśle

ROZMIESZCZENIE KADRY FIZYKÓW W PRZEMYŚLE



Rys. 1. Rozmieszczenie kadry fizyków w przemyśle

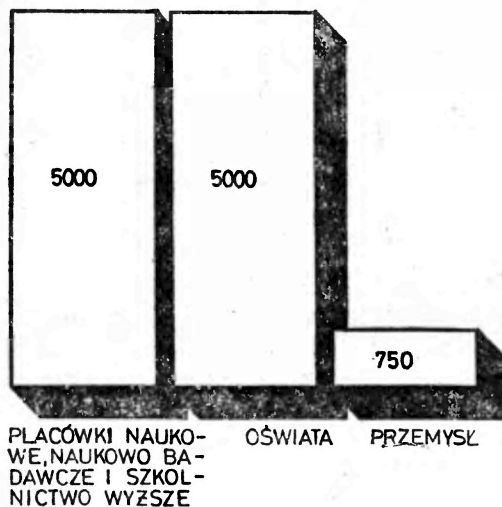
elektronicznym i elektrotechnicznym. Jednak zaledwie 50% fizyków zatrudnionych we wszystkich gałęziach przemysłu wykonuje pracę zgodną z kierunkiem posiadanego wykształcenia.

Spośród placówek prowadzących badania w zakresie fizyki większość stanowią instytuty i zakłady podległe szkolnictwu wyższemu, tak więc zatrudnieni w nich fizycy prócz pracy badawczej włączeni są aktywnie w proces dydaktyki.

² Dane z 1978 r. udostępnione przez Główny Urząd Statystyczny w Warszawie.

Największa grupa fizyków w Polsce pracuje poza organizacjami naukowymi i szkolnictwem wyższym. W szkołach podstawowych i liceach, cytując za profesorem Wilhelmm, jest ok. 5 tys. nauczycieli posiadających dyplomy ukończenia wyższych studiów w zakresie fizyki a ogólna liczba nauczycieli fizyki w tych szkołach jest ok. 5-krotnie wyższa. Szczególną naszą troską winno być zapewnienie tej właśnie części kadry możliwości stałego podnoszenia swych kwalifikacji i poznawania najnowszych osiągnięć fizyki, od nich bowiem

ROZMIESZCZENIE KADRY FIZYKÓW



Rys. 2. Rozmieszczenie kadry fizyków

zależy w dużej mierze rozbudzanie zainteresowań oraz rozwój uzdolnień przyszłych kandydatów na studia fizyki. Podział kadry polskich fizyków między instytuty naukowe, szkolnictwo wyższe, oświatę i przemysł przedstawiony jest na (rys. 2).

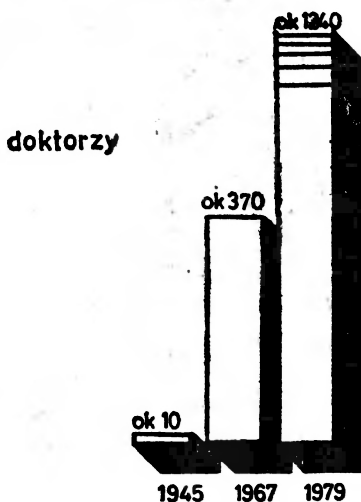
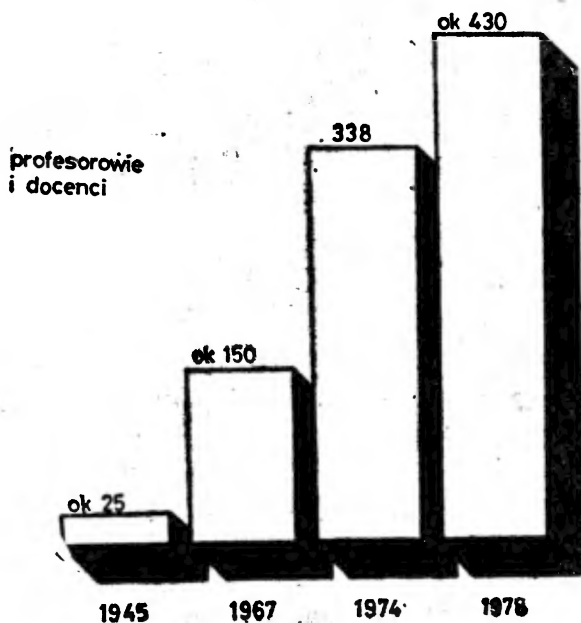
Wróćmy jednak do pięcioletniego społeczeństwa fizyków prowadzących prace badawcze. „Ciężar gatunkowy” tego społeczeństwa w pewien formalny sposób określa liczba pracowników naukowych posiadających stopnie naukowe doktora, doktora habilitowanego oraz tytuły naukowe profesora. Rys. 3 przedstawia rozwój kadry samodzielnych pracowników naukowych w latach 1945—78³. Po zakończeniu wojny w 1945 r. w Polsce pozostało zaledwie 25 profesorów i docentów i około 10 fizyków ze stopniem naukowym doktora; dziś mamy około 430 profesorów i docentów a liczba pracowników ze stopniem naukowym doktora sięga ok. 1240⁴; w latach 1975—78 (rys. 4) nadano 584 stopnie naukowe doktora i 101 stopni naukowych doktora habilitowanego nauk fizycznych. W okresie tym Rada Państwa nadała również 43 tytuły profesora nadzwyczajnego i 18 tytułów profesora zwyczajnego nauk fizycznych⁵.

³ Informacje dotyczące lat 1945—67 pochodzą z artykułu prof. S. Szczeniowskiego pt. „Współczesność polskiej fizyki” opublikowanego w czasopiśmie *Polska* No 9 (1968). Pozostałe dane udostępniło Ministerstwo Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki (MNSzWiT).

⁴ Dane z systemu „Magister” udostępnione przez MNSzWiT.

⁵ Dane udostępnione przez MNSzWiT.

ROZWÓJ KADRY NAUKOWEJ W LATACH 1945-1978



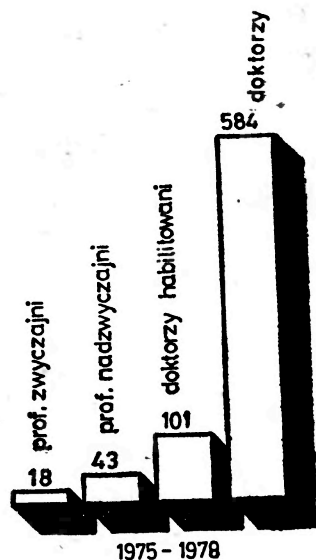
Rys. 3. Rozwój kadry naukowej w latach 1945—1978

Stały dopływ młodej kadry fizyków zapewniają wyższe uczelnie. Obecnie jak podaje w swym artykule prof. Wilhelm ok. 600 fizyków rocznie uzyskuje w Polsce dyplomy ukończenia uniwersytetów i wyższych szkół pedagogicznych a ok. 1500 studentów rozpoczyna w każdym roku studia fizyki.

Przechodząc do oceny jakościowej kadry fizyków w Polsce należy podkreślić trudności w ustaleniu jednoznacznych kryteriów. Poziom naszej kadry naukowej jest bardzo zróżnico-

wany. W dużej mierze zależy on zarówno od wielkości ośrodka jak i od regionu, w którym znajduje się dany ośrodek. To zróżnicowanie regionalne związane jest z szeregiem czynników takich jak możliwość rekrutacji młodej kadry naukowej o odpowiednich uzdolnieniach i przygotowaniu, dobre wyposażenie w aparaturę badawczą, silne zaplecze techniczne i wreszcie kontakty z ośrodkami zagranicznymi. W tych placówkach, w których warunki

STOPNIE I TYTUŁY NAUKOWE NADANE
W ZAKRESIE NAUK FIZYCZNYCH



Rys. 4. Stopnie i tytuły naukowe nadane w zakresie nauk fizycznych w okresie 1975—1978

takie są spełnione, powstają zwykle silne szkoły fizyki — ośrodki reprezentujące najwyższy poziom światowy, których wyniki badań ukazują się w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym stanowiąc niejednokrotnie trwały wkład do nauki.

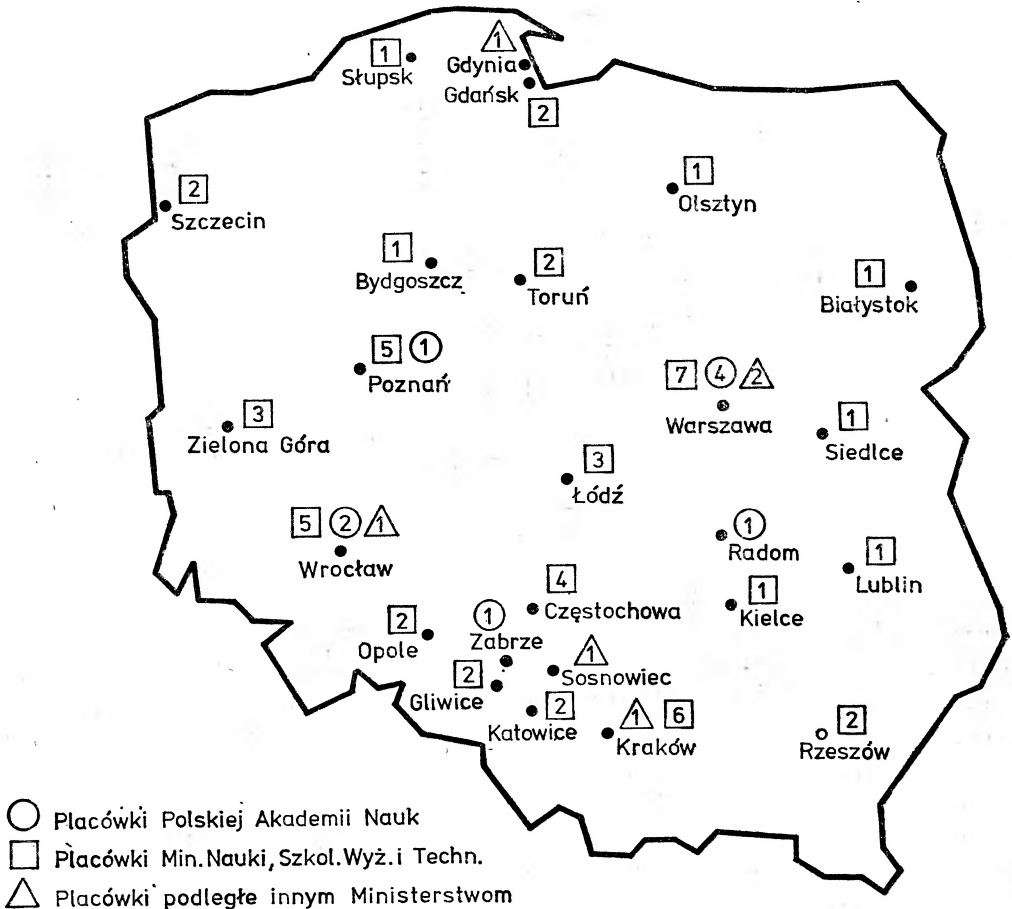
Mamy w Polsce wielu wybitnych fizyków, którzy zdobyli uznanie nie tylko środowiska naukowego w kraju ale i świata, pełniących niejednokrotnie zaszczytne funkcje w międzynarodowych organizacjach sterujących i patronujących fizyce na całym świecie. O uznaniu tym świadczy również udział polskich fizyków w komitetach organizacyjnych najpoważniejszych imprez naukowych, zapraszanie do wygłaszania referatów na tego typu imprezach lub do prowadzenia wykładów na uczelniach zagranicznych. Powierzenie polskim fizykom organizacji konferencji rangi kongresu w różnych dziedzinach fizyki jest uznaniem świata dla polskich osiągnięć w tej dziedzinie nauki.

Wyrazem wysokiej oceny w kraju osiągnięć naukowych polskich fizyków jest liczba nagród państwowych przyznanych w ciągu ostatnich 35 lat. W okresie tym Rada Państwa piętnastokrotnie przyznawała nagrody za wybitne osiągnięcia twórcze we wszystkich dziedzinach nauki i techniki przyznając 19 nagród za wyniki badań w zakresie fizyki (zob. Uzupełnienie I).

PLACÓWKI NAUKOWE

W Polsce mamy dziś 69 placówek naukowych fizyki. W tej liczbie 8 instytutów Polskiej Akademii Nauk, 21 placówek uniwersyteckich, 14 placówek przy politechnikach, 2 przy wyższych szkołach inżynierskich, 13 zakładów fizyki wyższych szkół pedagogicznych, 2 instytuty akademii rolniczych, 7 instytutów i zakładów podległych Ministerstwu Energetyki i Energii Atomowej, Ministerstwu Zdrowia i Opieki Społecznej oraz Ministerstwu Obrony Narodowej (zob. Uzupelnienie II).

Rozkład regionalny ośrodków fizyki w Polsce przedstawiony został graficznie na rys. 5. Największe placówki i największa ich liczba zgrupowane są w miastach, które jednocześnie



Rys. 5. Rozmieszczenie placówek fizyki w Polsce

są dużymi ośrodkami życia ogólnonaukowego kraju, a więc w Warszawie, Poznaniu, Krakowie, Wrocławiu i na Śląsku (Katowice, Gliwice, Sosnowiec). W mniejszych miastach znajdują się zwykle zakłady lub instytuty organizacyjnie związane głównie z wyższymi szkołami pedagogicznymi i wyższymi szkołami inżynierskimi. Jest sprawą zrozumiałą, że kadra naukowa w takich ośrodkach ma znacznie mniejsze możliwości wszechstronnego rozwoju, co pociąga za sobą regionalne zróżnicowanie poziomu prowadzonych badań.

SYSTEM ORGANIZACJI BADAŃ

Wprowadzony w 1971 roku koordynacyjny system badań naukowych ma na celu przyspieszenie integracji badań podstawowych i stosowanych w rozwiązywaniu wybranych problemów szczególnie ważnych dla rozwoju nauki i gospodarki narodowej. Ten nowy system sprzyja harmonijnemu rozwojowi fizyki w Polsce zarówno od strony tematycznej jak i geograficznej. Jak wykazała dotychczasowa praktyka usprawnił on wymianę informacji o pracach prowadzonych w różnych ośrodkach, co w konsekwencji powoduje lepszą integrację środowiska naukowego i korelację badań, a więc z jednej strony prowadzi do unikania dublowania prac, z drugiej zaś pozwala wypełnić luki przez podejmowanie zagadnień ważnych a mniej dostrzeganych. System ten powoduje również wytworzenie się mechanizmu samooceny i samokontroli środowiska prowadzącego badania w danym problemie, wreszcie ułatwia ośrodkom mniej rozwiniętym kontakty z ośrodkami o większych tradycjach i dorobku naukowym. Pozwala także koncentrować badania na szczególnie ważnych poznawczo problemach, nawet kosztem rezygnacji z zainteresowań tradycyjnych lecz mniej obiecujących. Tego rodzaju polityka musi być oczywiście prowadzona w sposób niezmiernie ostrożny, gdyż, jak nas poucza historia fizyki, zdarzało się nieraz, że jakieś peryferyjne zagadnienia w pewnym momencie stawały się punktem wyjścia do odkryć przełomowych i ważnych dla całej fizyki. Jest sprawą oczywistą, że chcielibyśmy stworzyć przesłanki do powstawania w Polsce prac takiego właśnie kalibru i to byłby największy sukces nowego systemu badań naukowych. Jeśli jednak prace takie nie powstaną, to i tak nowy system sprzyja znacznemu podniesieniu przeciętnego poziomu badań w Polsce, a w konsekwencji zwiększa liczbę prac znaczących i znanych w świecie. Trzeba sobie zarazem uświadomić, że program integracji i prawidłowej koordynacji badań naukowych nie może być w pełni zrealizowany w ciągu kilku lat i że wymaga działania ciągłego i wytrwałego.

Z licznych problemów badawczych w Polsce objętych systemem koordynacji badań wyłoniono dziewięć o tematyce ściśle związanej z fizyką, a koordynację ich powierzono przodującym w tej tematyce ośrodkom fizyki. Problemy te obejmują również fizykę techniczną.

Tablica 1 przedstawia tematykę poszczególnych problemów oraz fundusze przeznaczone na ich realizację w ramach bieżącego planu 5-letniego. Na realizację tych 9 problemów o tematyce fizycznej zaplanowano w okresie 1976—80 nakłady w wysokości 3 637 383 tys. zł. Największe nakłady w bieżącej 5-latce przeznaczono na badania w zakresie fizyki ciała stałego — 1 320 273 tys. zł i na fizykę jądrową — 748 110 tys. zł. Jak już wspominałem, te dziewięć problemów obejmuje większą część tematyki badań fizycznych uprawianych w Polsce, jednak nie wyczerpuje jej całkowicie. Część badań prowadzonych w niektórych placówkach wchodzi w ramy problemów innego typu bądź prowadzona jest w ramach prac własnych placówki. Toteż rzeczywista wysokość nakładów przeznaczonych na badania w zakresie fizyki w Polsce w latach 1976—80 przewyższa podaną sumę 3 637 383 tys. zł., różnica ta jest jednak niezmiernie trudna do ustalenia. Dla lepszej koordynacji badań, a więc lepszego rozeznania w ich realizacji tematycznej i finansowej, byłoby celowe rozważenie możliwości skupienia jak największego potencjału badawczego w problemach o tematyce czysto fizycznej oraz włączenia do badań koordynowanych przez placówki fizyki tych zespołów naukowych, które dotychczas zostały pominięte.

Problemy badawcze koordynowane przez placówki fizyki w kraju

Lp.	Nazwa problemu	Koordynator	Nakłady w tys. zł	
			zrealizowane w latach 1976—1978	plan na lata 1976—1980
1	Problem wiodący „Prace badawcze podstawowe” (PR-3.8) objęty programem rządowym „Materiały i podzespoły dla potrzeb elektronizacji (PR-3)	II stop., Instytut Fizyki PAN	269 700	794 573
2	Problem węzłowy „Badania procesów jądrowych i wykorzystanie techniki jądrowej w społeczno-gospodarczym rozwoju kraju” (W. 04.3). Tematy: 10. Opracowanie metod jądrowych dla poszukiwań i identyfikacji złóż surowców. 14. Badania własności reakcji jądrowych przy wysokich energiach, ich interpretacja oraz rozwijanie teorii dla ustalenia praw rządzących elementarnymi składnikami materii. 15. Badania struktury jąder atomowych. 16. Badanie wpływu stanu skupienia materii na przebieg procesów jądrowych. 17. Uzyskanie nowych danych o strukturze i dynamice fazy skondensowanej materii ze szczególnym uwzględnieniem metody rozpraszania neutronów.	II stop., Instytut Fizyki Jądrowej	531 702	748 110
3	Problem międzyresortowy „Struktura oraz własności elektronowe ciał stałych” (MR-I. 4)	Instytut Fizyki PAN	288 200	525 700
4	Problem międzyresortowy „Procesy oddziaływania promieniowania z materią” (MR-I. 5)	Uniwersytet Warszawski	164 654	380 000
5	Problem międzyresortowy „Pola, cząstki, czasoprzestrzeń” (MR-I. 7)	Uniwersytet Warszawski	19 821	50 000
6	Problem międzyresortowy „Galaktyki, gwiazdy, układ słoneczny” (MR-I. 8)	Centrum Astronomiczne	38 807	71 000
7	Problem międzyresortowy „Struktura, teoria, własności i dynamika układów molekularnych i skondensowanych” (MR-I. 9)	Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN	262 656	500 000

8	Problem międzyresortowy „Geodynamika obszaru Polski” (MR-I. 16)	Instytut Geofizyki PAN	167 715	362 000
9	Problem międzyresortowy „Badania przestrzeni międzyplanetarnej i okołozemskiej i ich wykorzystanie (MR-I. 29)	Centrum Badań Kosmicznych PAN	73 031	210 000
Razem			1 816 286	3 637 383

Od 1980 r. Instytut Fizyki PAN podejmie koordynację II stopnia podproblemu „Technologia materiałowa w kosmosie” w ramach projektowanego problemu węzłowego „Rozwój i wykorzystanie badań kosmicznych”.

Rozważmy sumę 3 637 383 tys. zł przeznaczoną na badania fizyczne w kraju w okresie 1976—80. Czy to jest dużo czy mało? Z dotychczasowej praktyki wynika, że zaplanowanych środków wystarcza. Na ogół placówki nie wysuwają w tym kierunku żadnych zasadniczych postulatów. Główny problem leży nie w ilości przyznanych na badania złożeń, lecz w ciągłym braku środków dewizowych. Zdajemy sobie wszyscy sprawę jak ogromny jest postęp w technice eksperymentu, aparatura stale drożeje, tymczasem środki dewizowe przyznawane placówkom są niewspółmiernie niskie w stosunku do potrzeb. W rezultacie placówki naukowe odczuwają brak nowoczesnej aparatury badawczej, co w konsekwencji ogranicza możliwość prowadzenia badań na światowym poziomie w wielu dziedzinach fizyki. Taka sytuacja panuje w fizyce jądrowej, w której do prowadzenia badań zgodnych z nurtem światowym trzeba korzystać z największych akceleratorów, tymczasem w kraju dysponujemy jedynie: w Warszawie i Świerku akceleratorem van de Graffa 3,5 MeV, akceleratorem liniowym 10 MeV i betatronem 30 MeV oraz w Krakowie cyklotronem 28 MeV przyspieszającym cząstki alfa. Ta baza eksperymentalna jest więcej niż skromna i przestarzała. W konsekwencji badania w tej dziedzinie fizyki prowadzone są głównie we współpracy z ośrodkami zagranicznymi dysponującymi nowoczesnymi akceleratorami jak np. Zjednoczony Instytut Badań Jądrowych w Dubnej, CERN w Genewie czy też ośrodek w Berkeley dysponujący akceleratorem przyspieszającym ciężkie jony do energii rzędu GeV/nukleon. Obecna pozycja w świecie polskich placówek prowadzących badania z fizyki jądrowej pozwala na stosunkowo łatwy dostęp do największych akceleratorów. Mamy nadzieję, że będzie tak i w przyszłości. W dużym stopniu poprawi sytuację budowany w Warszawie cyklotron ciężkich jonów, który powinien być uruchomiony w 1983 roku. Będzie on przyspieszał jony do energii 10 MeV/nukleon. Współpraca z ośrodkami zagranicznymi rozwiązuje również trudności, jakie napotykają nasze placówki przy realizacji ostatniego etapu badań tzn. opracowywaniu otrzymywanych w doświadczeniach materiałów przy pomocy dużych komputerów. Powiększająca się ciągle złożoność problematyki badawczej wymaga stosowania do obliczeń komputerów o coraz większej szybkości działania i coraz pojemniejszych pamięciach. Jest to drugi problem aparaturowy, nie tylko zresztą dotyczący fizyki jądrowej.

Niewiele lepiej przedstawia się baza aparaturowa w astronomii, w której odczuwa się zupełny brak nowoczesnego sprzętu obserwacyjnego. O poważnych brakach w uzbrojeniu technicznym warsztatu badawczego można mówić w odniesieniu do wszystkich gałęzi fizyki w Polsce. Ogólna jakość wyposażenia aparaturowego naszych laboratoriów nie odpowiada potrzebom badawczym i prowadzi do niepełnego wykorzystania krajowego potencjału intelektualnego w zakresie nauk fizycznych. W przeważającej części laboratoriów klasa aparatury jest średnia. Znaczna część przyrządów, zwanych niesłusznie z uwagi na cenę „unikalnymi”, jest w rzeczywistości urządzeniami niezłymi, średniej klasy, choć w znacznej mierze przestarzałymi. Układy elektroniczne, w bardzo dużej części produkcji krajowej, nie wykazują niezbędnej niezawodności i stabilności działania. Brak jest układów wzorcowych, układów elektronowych do akumulacji i uśredniania danych, co ogromnie zwiększa czasochłonność pomiarów. Brak jest również wielu specjalnych materiałów i elementów układów pomiarowych. W konsekwencji wiele nowych gałęzi badań fizycznych rozpoczyna swój rozwój od chałupniczego wyrobu elementów aparatury. Do dzisiejszego dnia technologia wytwarzania zwierciadeł, filtrów, układów interferometrycznych, optyki

polaryzacyjnej i precyzyjnych elementów montażowych nie jest opanowana przemysłowo. Tego typu zestawy są eksponowane na różnych wystawach, lecz w praktyce są nie do zdobycia.

Powstanie zakładów UNIPAN dostarczających nowoczesną elektroniczną aparaturę pomiarową w istotny sposób wpłynęło na rozwój wielu gałęzi fizyki w Polsce. Niestety od pewnego czasu obserwuje się stagnację równoznaczną z regresem w dziedzinie produkcji elektronicznej aparatury badawczej, wynikającą z niekonsekwencji i krótkowzroczności polityki dewizowej w zakresie zakupu podzespołów elektronicznych. Mimo tych poważnych niedomagań, mamy również pewne osiągnięcia w rozwoju bazy aparaturowej. Dysponujemy możliwościami badań spektroskopowych od fal radiowych poprzez daleką podczerwień, karcinotrony i lasery submilimetrowe do obszaru widzialnego i bliskiego nadfioletu. Badania te mogą być sprzężone z silnymi polami magnetycznymi (magnesy nadprzewodzące do 6 T i pola impulsowe do 100 T), ciśnieniami hydrostatycznymi i jednoosiowymi oraz, co najważniejsze, niskimi temperaturami. Rozwijane są badania spektroskopowe przy użyciu laserów, jednakże konieczne są tu dalsze inwestycje zwłaszcza w zakresie laserów średniej i dużej mocy oraz laserów barwnikowych.

Duże możliwości stwarzają techniki ciśnieniowe rozwijane z dobrym rezultatem zwłaszcza przez Ośrodek Badawczo Rozwojowy UNIPRESS.

Istotną pomocą dla wielu placówek w kraju jest aparatura do badań strukturalnych i analitycznych metodami rentgenowskimi i metodami niekonwencjonalnej mikroskopii elektronowej (EDAX i mikrosonda będące w posiadaniu Laboratorium Środowiskowego IF PAN oraz Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego). Wszystko to jest jednak kroplą w morzu potrzeb eksperymentalnych fizyki uprawianej w Polsce.

Mimo trudności, o których mówiłem, uzyskano w ubiegłych latach wiele wartościowych wyników, a liczne prace wykonane w Polsce wniosły do światowego dorobku w dziedzinie fizyki wiele oryginalnych i cennych wartości. Wydaje się, że zarówno rola fizyki w ogólnym zespole nauk ścisłych, jak też dotychczasowe wyniki uzyskane w tej dziedzinie, wreszcie znaczenie praktyczne wynikające z badań fizycznych uzasadniają ewidentnie konieczność szybkiego rozwiązania tego problemu.

W wielu przypadkach, tak jak w fizyce jądrowej, w fizyce cząstek elementarnych astronomii, fizyce kosmicznej, utrzymanie poziomu badań w nurcie światowym ratuje współpraca z ośrodkami zagranicznymi. Nie rozwiązuje to jednak problemu całkowicie. Trudno również wyobrazić sobie, byśmy mogli każdą placówkę fizyki w Polsce wyposażyć w najnowocześniejsze techniki badawcze. Powstaje też problem właściwego wykorzystania aparatury, którą ośrodki dysponują, a więc udostępniania jej innym placówkom. Można to osiągnąć poprzez aktywizację wymiany pracowników naukowych między krajowymi placówkami fizyki, w szczególności zaś przez wymianę stażową.

Rozwiązaniem wydaje się również tworzenie nielicznych i silnych ośrodków dysponujących kompletną nowoczesną bazą eksperymentalną oraz zapewnienie dostępu do niej szerszemu gronu badaczy. Baza taka, dla jej właściwego wykorzystania musi być powiązana z maszynami matematycznymi. Tworzenie dużych specjalistycznych ośrodków praktykuje się od lat w skali międzynarodowej zwłaszcza w tych gałęziach fizyki, w których koszt badań przekracza możliwości finansowe jednego kraju. Nam taki system organizacji i finansowania badań pozwoliłby skoncentrować, a co za tym idzie lepiej wykorzystać, szerepek

środki dewizowe przyznawane na badania prowadzone w zakresie fizyki w Polsce. Wpływałyby to niewątpliwie również na podniesienie poziomu prac badawczych placówek mniejszych, korzystających z bazy aparaturowej ośrodków centralnych, tym samym przyczyniając się do niwelacji regionalnego zróżnicowania poziomu prac eksperymentalnych.

Pierwszy krok na drodze do takiego właśnie rozwiązania został już zrobiony. W ostatnich latach powstało kilka laboratoriów środowiskowych (zob. Uzupełnienie III), z których na razie nieliczne spełniają funkcje ośrodków badawczych dysponujących odpowiednim zapleczem aparaturowym. Jest to dopiero początek. W przyszłości działalność w tym kierunku należy intensywnie rozwijać i usprawniać.

Integralną częścią systemu badań naukowych w Polsce są towarzystwa i komitety naukowe. W zakresie nauk fizycznych działa obecnie w kraju dziesięć towarzystw naukowych (tab. 2). Patronuje im, w pewnym sensie, organizator tego Zjazdu—Polskie Towa-

Tablica 2

Towarzystwa Naukowe (nauki fizyczne)

Polskie Towarzystwo Akustyczne
 Polskie Towarzystwo Astronautyczne
 Polskie Towarzystwo Astronomiczne
 Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych im. Marii Curie-Skłodowskiej (interdyscyplinarne)
 Polskie Towarzystwo Biofizyczne
 Polskie Towarzystwo Fizyczne
 Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej
 Polskie Towarzystwo Geofizyczne
 Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej
 Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii

rzystwo Fizyczne, którego działanie obejmuje m. in. krzewienie fizyki i innych nauk pokrewnych w kraju z uwzględnieniem ich dydaktyki, historii i zastosowań. Towarzystwo to, jako członek Europejskiego Towarzystwa Fizycznego reprezentuje również polską fizykę na forum międzynarodowym.

Tablica 3

Komitety Naukowe Polskiej Akademii Nauk (nauki fizyczne)

Komitet Astronomii
 Komitet Biochemii i Biofizyki
 Komitet Fizyki
 Komitet Fizyki Medycznej
 Komitet Krystalografii
 Komitet Geofizyki
 Komitet Mechaniki i Fizyki Ośrodków Ciągłych
 Komitet Spektroskopii
 Komitet Termodynamiki i Spalania

Koordinacją badań w zakresie nauk fizycznych zajmuje się dziewięć komitetów naukowych (tab. 3), z których główny ciężar odbudowy fizyki w latach powojennych podjął Komitet Fizyki, powołany przy Polskiej Akademii Nauk w 1952 r. Dziś działalność Komii-

tetu Fizyki skupia się na koordynacji, w najszerszym tego słowa znaczeniu, badań fizycznych w Polsce. Pełni on również funkcję Komitetu Narodowego Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej — IUPAP.

Po powyższym omówieniu ogólnej charakterystyki potencjału badawczego w naukach fizycznych w Polsce, w drugiej części referatu omówione będą kierunki rozwoju tych nauk.

Uzupełnienie I

NAGRODY PAŃSTWOWE PRYZNANE FIZYKOM POLSKIM W OSTATNIM 35-LECIU

1951

1. Prof. Stefan Pieńkowski — za wybitne osiągnięcia w dziedzinie organizacji badań naukowych w fizyce doświadczalnej
2. Prof. Wojciech Rubinowicz — za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki teoretycznej, w szczególności promieniowania wielobiegowego

1952

3. Nagroda zespołowa: prof. Marian Mięśowicz, prof. Jerzy Gierula, dr Leopold Jurkiewicz, dr Jerzy Michał Massalski — za osiągnięcia w zespołowych badaniach nad promieniami kosmicznymi
4. Prof. Stefan Piotrowski — za osiągnięcia w dziedzinie astrofizyki teoretycznej

1955

5. Prof. Leopold Infeld — za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki teoretycznej, a w szczególności za prace z teorii grawitacji oraz elektrodynamiki nieliniowej
6. Nagroda zespołowa: prof. Marian Danysz, prof. Jerzy Pniewski — za odkrycie zjawiska hyperonu związanego
7. Prof. Władysław Dziewulski — za całokształt pracy naukowej w zakresie astronomii ze szczególnym uwzględnieniem minionego 10-lecia
8. Prof. Arkadiusz Piekara — za całość badań nad dielektrykami ze szczególnym uwzględnieniem prac nad ferroelektrykami

1964

9. Prof. Aleksander Jabłoński — za wybitne osiągnięcia w badaniach luminescencji, a w szczególności za stworzenie modelu luminescencji
10. Zespół w składzie: prof. Marian Mięśowicz, prof. Jerzy Gierula — za osiągnięcia badawcze z zakresu oddziaływań cząsteczek najwyższej energii, a w szczególności za wykrycie dwumaksymowych i asymetrycznych rozkładów kątowych oraz za podanie modelu dwucentrowego dla tych zderzeń

1966

11. Zespół w składzie: prof. Marian Danysz i prof. Jerzy Pniewski — za osiągnięcia z zakresu fizyki hiperfragmentów
12. Prof. Jan Rzewuski — za osiągnięcia w dziedzinie funkcjonalnego sformułowania kwantowej teorii pola

1970

13. Prof. Arkadiusz Piekara — za pracę nad nieliniowymi zjawiskami optycznymi oraz za książkę pt. *Nowe oblicze optyki*

1972

14. Prof. Leonard Sosnowski — za prace z zakresu zjawisk transportu elektronowego w półprzewodnikach
15. Prof. Wiesław Czyż — za prace nad teorią zderzeń jądrowych przy wysokich energiach

1974

16. Prof. Włodzimierz Trzebiatowski — za osiągnięte wyniki w badaniach nad magnetyzmem związków uranu

1976

17. Prof. Andrzej Trautman — za prace z klasycznej teorii pola i teorii grawitacji

1978

18. Zespół w składzie: prof. Jerzy Kołodziejczak, prof. Jerzy Mycielski, prof. Leonard Sosnowski, dr Wanda Szymańska, prof. Włodzimierz Zawadzki — za wybitne osiągnięcia w dziedzinie rozwoju ogólnej teorii transportu elektronowego w półprzewodnikach

1979

19. Prof. Marian Mięśowicz — nagroda specjalna przyznana przez Prezydium Komitetu Nagród Państwowych za wkład w rozwój nauki polskiej w okresie 35-lecia istnienia PRL

Uzupełnienie II

PLACÓWKI FIZYKI W POLSCE

Polska Akademia Nauk

1. Centrum Astronomiczne (Warszawa)
2. Instytut Biochemii i Biofizyki (Warszawa)
3. Instytut Fizyki (Warszawa)
4. Instytut Fizyki Molekularnej (Poznań)
5. Instytut Geofizyki (Warszawa)
6. Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych (Wrocław)
7. Międzynarodowe Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych i Niskich Temperatur (Wrocław)
8. Zakład Fizyki Ciała Stałego (Zabrze)
9. Centrum Badań Kosmicznych (Warszawa)

Szkoły Wyższe

Uniwersytet Gdański

10. Instytut Fizyki

Uniwersytet Jagielloński (Kraków)

11. Instytut Fizyki
12. Obserwatorium Astronomiczne

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej (Lublin)

13. Instytut Fizyki

Uniwersytet Łódzki

14. Instytut Biochemii i Biofizyki
15. Instytut Fizyki

Uniwersytet Poznański

16. Instytut Fizyki
17. Katedra Akustyki
18. Katedra Astronomii

Uniwersytet Śląski (Katowice)

19. Instytut Fizyki
20. Instytut Fizyki i Chemii Metali

Uniwersytet Toruński

21. Instytut Astronomii
22. Instytut Fizyki

Uniwersytet Warszawski

23. Instytut Fizyki Doświadczalnej
24. Instytut Fizyki Teoretycznej
25. Instytut — Obserwatorium Astronomiczne
26. Instytut Geofizyki
27. Katedra Metod Matematycznych Fizyki

Uniwersytet Wrocławski

28. Instytut Astronomiczny
29. Instytut Fizyki Doświadczalnej
30. Instytut Fizyki Teoretycznej

Akademia Górniczo-Hutnicza (Kraków)

31. Międzyresortowy Instytut Fizyki i Techniki Jądrowej

Akademia Techniczno-Rolnicza (Bydgoszcz)

32. Instytut Matematyki i Fizyki

Politechnika Białostocka

33. Instytut Matematyki, Fizyki i Chemii

Politechnika Częstochowska

34. Instytut Fizyki

Politechnika Gdańska

35. Instytut Fizyki

Politechnika Krakowska

36. Instytut Fizyki

Politechnika Łódzka

37. Instytut Fizyki

Politechnika Poznańska

38. Instytut Fizyki

Politechnika Rzeszowska

39. Instytut Matematyki i Fizyki

Politechnika Śląska (Gliwice)

40. Instytut Fizyki

41. Instytut Mechaniki Teoretycznej

Politechnika Szczecińska

42. Instytut Fizyki

Politechnika Warszawska

43. Instytut Fizyki

Politechnika Wrocławska

44. Instytut Fizyki

Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu

45. Instytut Matematyki i Fizyki

Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze

46. Instytut Matematyki i Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Częstochowie

47. Samodzielna Pracownia Biofizyki

48. Zakład Fizyki Ciała Stałego

49. Zakład Fizyki Ogólnej

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Kielcach

50. Zakład Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Krakowie

51. Samodzielny Zakład Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Olsztynie

52. Zakład Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Opolu

53. Instytut Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Rzeszowie

54. Instytut Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Siedlcach

55. Zakład Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Słupsku

56. Zakład Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Szczecinie

57. Zakład Fizyki

Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Zielonej Górze

58. Zakład Fizyki Doświadczalnej

59. Zakład Fizyki Teoretycznej

Akademia Rolnicza w Poznaniu

60. Instytut Fizyki i Chemii

Akademia Rolnicza we Wrocławiu

61. Instytut Biologii i Biofizyki

Akademia Medyczna we Wrocławiu

62. Instytut Biochemii i Biofizyki

Śląska Akademia Medyczna (Katowice)

63. Instytut Chemii i Fizyki Medycznej

Centrum Kształcenia Podyplomowego Studium Nauk Podstawowych

64. Zakład Biofizyki i Biomatematyki (Warszawa)

Wojskowa Akademia Techniczna (Warszawa)

65. Wydział Chemii i Fizyki Technicznej

Wyższa Szkoła Morska w Gdyni

66. Instytut Matematyki, Fizyki i Chemii

Instytuty resortowe

67. Instytut Badań Jądrowych, Zakłady Fizyki (Świerk, Łódź, Warszawa)

68. Instytut Fizyki Jądrowej (Kraków)

69. Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (Warszawa)

ŚRODOWISKOWE LABORATORIA

1. Specjalistyczne Laboratorium Środowiskowe Badań Materiałów — Politechnika Gdańska
2. Środowiskowe Laboratorium Analiz Fizykochemicznych i Badań Strukturalnych — Uniwersytet Jagielloński (Kraków)
3. Środowiskowe Laboratorium Badań Kriogenicznych — Instytut Fizyki PAN (Warszawa)
4. Środowiskowe Laboratorium Badań Nieniszczących — Politechnika Wrocławska
5. Środowiskowe Laboratorium Badań Radiospektroskopowych — Instytut Fizyki Molekularnej PAN (Poznań)
6. Środowiskowe Laboratorium Badań Rentgenowskich i Elektronomikroskopowych — Instytut Fizyki PAN (Warszawa)
7. Środowiskowe Laboratorium Mikroskopii Elektronowej — Akademia Górniczo-Hutnicza (Kraków)
8. Środowiskowe Laboratorium Mikroskopii Elektronowej — Politechnika Wrocławska
9. Środowiskowe Laboratorium Strukturalnych Badań Metali — Politechnika Poznańska

W S P O M N I E N I A — R O C Z N I C E

Karol Wolfke

Uniwersytet Wrocławski
im. B. Bieruta
Wrocław

Wspomnienia o Ojcu, Mieczysławie Wolfke ***Recollections of My Father, Dr. Mieczysław Wolfke**

Publiczne dzielenie się wspomnieniami o własnym ojcu jest z różnych względów zadaniem trudnym, a nawet kłopotliwym. Przyjąłem jednak z wdzięcznością zaproszenie do wygłoszenia referatu na dzisiejszym posiedzeniu, gdyż uważam to za obowiązek, zwłaszcza wobec młodszego pokolenia interesującego się życiem i dorobkiem zasłużonego dla naszej nauki uczonego.

Na wstępie pragnę wyjaśnić, że nie jestem fizykiem, lecz prawnikiem internacjonalistą. Postaram się mimo to w swoim półgodzinnym wystąpieniu w miarę możliwości wszechstronnie uwzględnić fakty, które charakteryzują osobowość Ojca również jako badacza. Wykorzystam zaś w tym celu nie tylko własne wspomnienia i refleksje, lecz także relacje moich rodziców i mego młodszego brata Stefana oraz fakty podane w zachowanym własnoręcznym skrócie dziennika mego Ojca¹.

Wspomnienia rozpocząć wypada od przypomnienia pewnych danych dotyczących życiorysu Ojca. Urodził się w 1883 roku w Łasku koło Łodzi. Jego ojciec był inżynierem drogowym, z zamiłowania chemikiem. Gdy Ojciec mój miał osiem lat, rodzina przeniosła się do Częstochowy.

* Referat wygłoszony 23 maja 1979 r. na II Seminarium Historii Fizyki w Toruniu i zamieszczony w materiałach tego Seminarium, wydanych przez Komisję Historii Fizyki PTF (której przewodniczył prof. R. S. Ingarden) i Bibliotekę Główną Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W materiałach tych znajduje się także spis publikacji Mieczysława Wolfke obejmujący 105 pozycji (por. także artykuł M. Suffczyńskiego *Postępy Fizyki* 23, 601 (1972)) oraz wybór literatury o Mieczysławie Wolfke obejmujący 22 pozycje.

Referat przedrukowujemy z bardzo drobnymi tylko zmianami, naniesionymi przez Autora i uzupełnionymi fotografiami, dostarczonymi także przez Autora (przyp. Red.).

¹ Moja młodsza siostra Lucyna zmarła w czasie wojny. Dziennik Ojca ze względu na warunki okupacyjne został zniszczony.

Zdolności do nauk ścisłych przejawily się u Ojca bardzo wczesnie. Już jako dwunastoletni uczeń przeprowadzał różne doświadczenia fizyczne, które pewnego razu pograżyły nawet całe miasto w ciemności. W tym samym wieku napisał swoją pierwszą rozprawę o „Planetostacie” dla komunikacji międzyplanetarnej. Pomysł ten był już oparty na odrzutowym silniku na paliwo płynne i zawierał niezbędne wyliczenia matematyczne. Zachował się jedynie nadpalony skrawek rękopisu².

Objawiająca się od dzieciństwa pasja naukowa nie oznacza jednak bynajmniej, że Ojciec był typem mola książkowego czy odludka. Przeciwnie, miał fantazję i żywe usposobienie. Był towarzyski i uczuciowy. Jako jeden z pierwszych w Częstochowie jeździł motocyklem. Sam mi też pokazał miejsce na murach Jasnej Góry skąd skoczył w dół na dowód swej miłości do towarzyski spaceru. Zważywszy wysokość murów w tym miejscu, tylko szczęśliwemu zbiegowi okoliczności należy przypisać, że skok zakończył się jedynie solidnym potłuczeniem.

Rozmiłowany w fizyce uparł się Ojciec, aby go przeniesiono do gimnazjum realnego w Sosnowcu. Z wyjątkiem celujących stopni z matematyki i fizyki, postępy w nauce były jednak mizerne. W tym samym okresie natomiast opatentował w Rosji i w Niemczech aparat pod nazwą „Telektroskop” do widzenia na odległość przy pomocy fal elektromagnetycznych. Szczegółowy schemat tego prototypu telewizji wystawiono na jubileuszowej wystawie Towarzystwa Politechnicznego we Lwowie i zdobył on sobie rozgłos³. W wieku lat 17 Ojciec opracował teorię matematyczną przesunięć powierzchniowych na płaszczyźnie, w rok później zaś napisał rozprawę filozoficzną o „nauce nauk” pt. „Abstraktyka”.

Miał też Ojciec inne zainteresowania. Studiował paleontologię i jako uczeń już z powodzeniem uprawiał hipnozę. Podobno były nawet próby ucieczki do Tybetu dla zdobycia „wyższego wtajemniczenia”. Epilog ich nie był jednak chyba zbyt chlubny, skoro przekazy rodzinne przemilczają ten temat.

Po maturze Ojciec studiował w Liège, a następnie w Paryżu pracując jednocześnie w laboratoriach fizycznych. Wtedy też powstała pierwsza publikacja ściśle naukowa pt. *Elektron uważany jako ośrodek ciśnienia w eterze*, wydana także w kraju w 1907 r. Wspomnieć też należy o tym, że w Paryżu Ojciec wygłosił w Francuskim Towarzystwie Astronomicznym pod przewodnictwem Flammariona odczyt o nowej konstrukcji teleskopu z nieruchomym zwierciadłem wklęsłym. Fakt ten można uznać za zapowiedź szczególnego zainteresowania optyką, zwłaszcza w pierwszym okresie kariery naukowej.

W 1907 roku Ojciec bez powodzenia zdawał egzamin licencjatu w Sorbonie. Opuścił wówczas Paryż i przeniósł do Wrocławia, gdzie rozpoczął pracę u znanego fizyka Lummera. W roku 1910 uzyskał doktorat filozofii z odznaczeniem na podstawie pracy *Über die Abbildung eines Gitters bei künstlicher Begrenzung*. W tym samym roku moi rodzice pobrali się. We Wrocławiu Ojciec przeprowadzał także badania nad szybkimi promieniami katodowymi i wynalazł rurę katodową ze szklanym okienkiem. Następnie pracował nad lampą kadmowo-rtęciową, którą zakupiła firma Carl Zeiss w Jenie. Interesował się już także promieniotwórczością i uczestniczył w kongresie radiologicznym w Brukseli. W czasie

² Większy fragment znajduje się w książce J. Szpechta, *Wśród fizyków polskich*, Warszawa 1939, s. 260—261.

³ Tamże, s. 263.

odwiedzin u rodziców natomiast wygłaszał odczyty w Częstochowie i w Warszawie o nowościach w fizyce, m. in. o radzie.

W latach 1911 i 1912 pracował początkowo u Zeissa w Jenie, a następnie jako asystent profesora Lehmana w Politechnice w Karlsruhe.

W roku 1913 rodzice przenieśli się do Zurychu. Tam Ojciec poznał Einsteina, który uczestniczył w habilitacji Ojca z optyki w tamtejszej Politechnice (ETH). W roku następnym odbyła się habilitacja w Uniwersytecie Zuryskim z fizyki teoretycznej i eksperymentalnej z udziałem Lauego na podstawie pracy *Allgemeine Abbildungstheorie selbstleuchtender Objekte*.

W związku z przypadającą w tym roku setną rocznicą urodzin Einsteina, warto może przypomnieć mało znany fakt, że Ojciec wykładał teorię względności Einsteina na Politechnice i Uniwersytecie już w latach 1915 i 1916. Poza tym prowadził tam wykłady z różnych najnowszych wówczas dziedzin fizyki, m. in. z teorii elektromagnetycznej światła, matematycznej teorii radioaktywności, kinetycznej teorii gazów, teorii kwantów i mechaniki statystycznej.

Dla pełniejszego obrazu należy dodać, że czasy zuryckie przypadające na lata wojny były okresem poważnych kłopotów materialnych. Jako tzw. „Privatdozent” otrzymywał Ojciec jedynie symboliczne wynagrodzenie za godziny wykładów. Musiał więc zarabiać na utrzymanie czteroosobowej już wówczas rodziny lekcjami w szkołach kantonalnych i pracą dla przemysłu. Dla różnych firm przeprowadzał m. in. badania nad kowalnością wolframu, lampami rtęciowymi i prostownikami z gazami szlachetnymi. Współpracował także jako doradca naukowy z takimi znanymi firmami, jak Brown Boveri czy Trüb Täuber. Mimo to dorobek naukowy Ojca w tym okresie był, jak wiadomo, stosunkowo bogaty. Wymienię tylko niedawno przypomniane odkrycie holografii już w roku 1920⁴.

W związku z powołaniem Ojca na profesora w Politechnice Warszawskiej przeprowadziliśmy się jesienią 1922 roku do Warszawy. Tam Ojciec objął kierownictwo Zakładu Fizyki I, które sprawował do wojny. W czasie okupacji wykładał w średniej szkole technicznej na terenie Politechniki prowadząc jednocześnie tajne nauczanie wyższe. Po ponownym uruchomieniu Politechniki przystąpił do organizacji swego zakładu. W tym celu został wydelegowany za granicę dla zapoznania się z najnowszymi postępami fizyki i zamówienia aparatury. Nawiązał też przerwane kontakty naukowe, m. in. z Einsteinem. Dn. 4 maja 1947 roku zmarł nagle na serce w Zurychu.

O ile czasy szwajcarskie siłą rzeczy pamiętam tylko bardzo wyrywkowo, to o okresie międzywojennym mogę mówić już na podstawie własnych wspomnień. Są one stosunkowo bogate, gdyż Ojciec traktował mnie od wczesnego dzieciństwa jako partnera do rozmów i zwierzeń na temat swoich planów, sukcesów i kłopotów. O dorobku naukowym jako nie-fizyk nie będę się wypowiadał. Wspomnę tylko, że z własnoręcznego spisu prac Ojca zachował się jedynie fragment odnaleziony w ruinach naszego domu w Warszawie za okres do roku 1928.⁵ Pełny spis powinien objemować około 120 publikacji.

⁴ Zob. np. najnowszy artykuł R. S. Ingardena, „Mieczysław Wolfke, Wojciech Rubinowicz i początki optyki kwantowej”, *Studia i Materiały z Dziejów Nauki Polskiej, Seria C*, z. 23, 1979.

⁵ Fragment ten został przedrukowany w artykule M. Suffczyńskiego, „Mieczysław Wolfke (w 25 rocznicę śmierci)”, *Postępy Fizyki* **23**, 601 (1972).

Byłem natomiast świadkiem dramatów, jakie Ojciec przeżywał w związku ze swymi badaniami i pomysłami. O pierwszym, który polegał na niemożności kontynuowania w kraju badań nad optyką wskutek uniedostępnienia mu w Warszawie laboratorium optycznego, pisali już szerzej prof. Ingarden i prof. Łaniecki.⁶ W pierwszych latach w kraju zajął się Ojciec wobec tego opracowaniem metody otrzymywania bardzo wysokich na pięć przy pomocy transformatora Tesli. W skromnych warunkach Politechniki Warszawskiej uzyskał tą metodą około pół miliona volt. Nie zapomnę tego, jak wielokrotnie na spacerach wyjaśniał mi, jakich brakuje mu urządzeń i ilu ton oleju izolacyjnego dla uzyskania znacznie wyższych napięć. Pamiętam też jego uzasadnioną irytację, gdyż w roku 1930 Amerykanie jego metodą osiągnęli 5 milionów volt.

Nie był to jedyny powód do goryczy. Podobnie miała się sprawa z badaniami w niskich temperaturach, które z braku własnego laboratorium rozpoczął w Lejdzie na zaproszenie Kammerlingh Onnesa. Badania te prowadzone były w latach 1924—1928 oraz w r. 1936. W tej dziedzinie musiał Ojciec zrezygnować z realizacji swego oryginalnego pomysłu, metody zestalenia helu. Zacytuję tu wprost słowa Ojca z wspomnianego już własnoręcznego skrótu dziennika, które są dostatecznie wymowne: „1924 — Od maja do sierpnia pracowałem w Instytucie Kryogenicznym Uniwersytetu Lejdejskiego nad stałą dielektryczną w bardzo niskich temperaturach... Zaproponowałem H. Kammerlingh Onnessowi zestalenie helu pod ciśnieniem — nie zgodził się na przeprowadzenie prób. 1925 — Zaproponowałem W. H. Keesomowi w Lejdzie zestalenie helu pod ciśnieniem — dał odpowiedź niewyraźną. 1926 — W. Keesom w Lejdzie zestalił hel proponowaną przeze mnie metodą pod ciśnieniem. 1927 — Keesom przyznał mi pierwszeństwo (1924) pomysłu zestalenia helu pod ciśnieniem.”⁷ Gdy wreszcie w roku 1939, po wielu staraniach Ojca, laboratorium niskich temperatur ze skraplarką helu było na ukończeniu, rozpoczęła się wojna, a niemiecki okupant wywiózł całą aparaturę.

Obok optyki, niskich temperatur i wspomnianej metody uzyskiwania wysokich napięć zajmował się Ojciec kilkoma innymi aktualnymi zagadnieniami, zwłaszcza z zakresu budowy atomu i promieniotwórczości. Pamiętam w związku z tym odczyty dwóch laureatów nagrody Nobla, którzy odwiedzili Zakład Ojca: Cockcrofta⁸ i de Broglie’a. Pierwszy z nich mówił taką francuszczyzną, że nikt nie mógł się początkowo zorientować, jakim mówi językiem. Po odczycie zaś drugiego z nich zapamiętałem zabawne odezwanie się jednej z pensjonarek do koleżanki: „Odczyt był naprawdę wspaniały, choć przyznam ci się, że nic nie zrozumiałam”.

Ojciec mój zresztą sceptycznie odnosił się do możliwości popularyzowania nowoczesnej fizyki, choć sam od czasu do czasu wygłaszał publiczne odczyty organizowane w Politechnice. Już w roku 1936 ostrzegł opinię publiczną w popularnym artykule na łamach *Polski Zbrojnej* o niebezpieczeństwie użycia broni atomowej.⁹

⁶ Zob. R. S. Ingarden, loco cit., także W. Łaniecki, „Mieczysław Wolfke 1883—1947”, *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki* 21, 545 (1976).

⁷ Nie podano, w jakiej publikacji to przyznanie pierwszeństwa nastąpiło. Należy tu przypomnieć, że największym ze znanych osiągnięć Ojca w dziedzinie niskich temperatur było odkrycie wspólnie z Keesomem dwóch odmian ciekłego helu.

⁸ Por. załączoną fotografię (przyp. Red.).

⁹ Czytałem ten artykuł po ogłoszeniu. Nie udało mi się jednak po wojnie go odnaleźć.



Mieczysław Wolfke z synem Karolem (1930 r.)

Mieczysław Wolfke jako pięcioletni chłopiec



Mieczysław Wolfke ze swoją przyszłą żoną; zdjęcie z okazji zaręczyn w 1909 r.



W pracowni prof. Wolfkego w Zakładzie Fizycznym I Politechniki Warszawskiej w 1933 r. Od lewej: prof. Mieczysław Wolfke (prezes PTF), dr J. D. Cockcroft z Cavendish Laboratory w Cambridge i prof. Ludwik Wertenstein przewodniczący Oddziału Warszawskiego PTF. Fot. J. Malarski



Prof. Mieczysław Wolfke i prof. August Piccard w Zakładzie Fizycznym I Politechniki Warszawskiej (1935 r.)

Z wielu spraw i refleksji, jakie nasuwają mi się przy okazji wspomnień, z konieczności poruszę jedynie kilka, które najlepiej, moim zdaniem, ilustrują złożoność osobowości mojego Ojca.

Powstaje np. pytanie czy Ojciec był raczej teoretykiem, czy eksperymentatorem. Za teoretykiem przemawia jego niewątpliwie wybitna wyobraźnia twórcza, zdolności matematyczne, przede wszystkim zaś fakt, że osiągnięcia jego miały głównie wartość teoretyczną, wyprzedzały bowiem możliwość ich sprawdzenia drogą eksperymentu, nie mówiąc już o ich zastosowaniu w praktyce. Z drugiej strony jednak, Ojciec miał niewątpliwie temperament typowego wynalazcy-eksperymentatora, który nie wyobrażał sobie pracy bez laboratorium. To z pewnością nie tylko względy materialne były przyczyną, że był właściwie zawsze związany z praktyką i od wczesnej młodości patentował wynalazki. W kraju zaś pracował dla wojska nad rewelacyjnymi na ówczesne czasy pomysłami, z których wymienię tylko kilka: telefonia przy pomocy światła spolaryzowanego, widzenie po ciemku przy pomocy promieni podczerwonych, wpływ drgań ultraakustycznych na materiały wybuchowe, czy też próby z bronią elektryczną. Pamiętam wrażenie, jakie zrobiła na przedstawicielach władz wojskowych próba armaty elektrycznej, której pocisk przebił ścianę laboratorium. Jeszcze w pierwszych dniach wojny przeprowadzał Ojciec próby z reflektorem promieni podczerwonych.

Zmysł wynalazczy Ojca został nawet wykorzystany dla celów wywiadowczych. Śledząc literaturę fachową Ojciec zwrócił uwagę na szybki rozwój techniki raketowej w Niemczech. Wydelegowany dla zbadania sprawy na miejscu, po wizycie w urzędzie patentowym i laboratoriach potwierdził swoje przypuszczenia i w raporcie z 1933 roku ostrzegł władze wojskowe o niemieckich próbach broni raketowej z paliwem płynnym.¹⁰ Orientowałem się trochę w tych sprawach, gdyż miałem też w tego rodzaju badaniach skromny udział wywołując w czasie wakacji dla Ojca klisze uczulone na podczerwień.

Eksperymentalny charakter miał też udział Ojca wraz z profesorami Jeżewskim i Szczeniowskim w przygotowaniu polskiego lotu balonem do stratosfery przed samą wojną. Odwiedził nas z tej okazji August Piccard¹¹, który zaimponował mi wówczas techniką rysowania obu rękami na raz.

Gdy idzie o dostęp do pracowni Ojca, to należałem w rodzinie do uprzywilejowanych. Pomagałem bowiem Ojcu wielokrotnie do późnej nocy w odczytywaniu pomiarów. Największe wrażenie zrobiły na mnie komora Wilsona i licznik Geigera, który liczył cząstki promieni kosmicznych. Wspomnienia te wywarły trwały wpływ na mój światopogląd. Ze wzruszeniem wspominam także te deszczowe popołudnia niedzielne, gdy Ojciec zabierał całą rodzinę do Zakładu, by zademonstrować nam co efekowniejsze doświadczenia. Wtedy to zobaczyłem po raz pierwszy sztuczne pioruny, działanie lampy rentgenowskiej i świecenie pierwiastka promieniotwórczego.

Mimo tych licznych dowodów na to, że Ojciec był przywiązany do pracy w laboratorium, mam wątpliwości czy była ona jego najsilniejszą stroną. Zbyt duża była moim zdaniem rozpiętość między jego zdolnościami umysłowymi i manualnymi. Nie był też stworzony do pracy zespołowej. Swoje wybitne osiągnięcia doświadczał zawdzięczał

¹⁰ Bliższe dane w artykule L. Komudy, „Tajna misja profesora Wolfke”, *Kierunki* nr 3 i 4 (1973).

¹¹ Por. załączoną fotografię (przyp. Red.).

głównie współpracy paru zaledwie oddanych mu pracowników, takich jak wyśmienity mechanik precyzyjny Skłodowski, który wykonywał też zamówienia dla Curie-Skłodowskiej, czy laborant Łączyński¹².

Stosunek Ojca do dydaktyki także nie był jednoznaczny. Jego wspaniale reżyserowane wykłady były sławne w całej Warszawie. Nie brakowało na nich nawet mocniejszych wrażeń z potężnymi eksplozjami włącznie powodującymi wylatywanie szyb w gmachu fizyki, na szczęście bez ofiar w ludziach. Miał też Ojciec zasługi w zorganizowaniu kursów dokształcających dla nauczycieli matematyki i fizyki. Z drugiej strony, dydaktyka go wyraźnie nużyła. Było mu na nią coraz bardziej szkoda czasu. Wielokrotnie zwierzał mi się ze swego największego marzenia: etatu profesora-badacza bez obowiązków dydaktycznych.

Zmorą były dla Ojca egzaminy, gdyż rzadko trafiał na studentów należycie przygotowanych z tego trudnego przedmiotu. Aby uczynić ten egzamin maksymalnie obiektywnym, wprowadził metodę losowania tematów i półgodzinnego przygotowania się do nich z udostępnieniem wszelkich pomocy. W ten sposób studenci mieli pełne poczucie obiektywizmu i życzliwości egzaminatora. W rzeczywistości było to ułatwienie dla profesora, gdyż dobry student szybko odnajdował szczegół, który mu wyleciał z pamięci, nieprzygotowany zaś gubił się do reszty i poddawał nawet bez pytania. W związku z egzaminami z fizyki panował wśród studentów nawet przesąd, że Ojciec sam uruchamia w zależności od swego humoru fontannę przed gmachem fizyki. Jeżeli biła wysoko, można ryzykować, jeżeli nisko, lepiej się Ojcu nie pokazywać na oczy.

Jaki był styl pracy Ojca? Nie można go także nazwać szablonowym. Prawda, że pracował bardzo dużo, bez czego jego dorobek byłby zresztą niemożliwy. Od dzieciństwa prowadził skrupulatnie dzienniczek zadań na każdy dzień. Jeszcze jako chłopiec ćwiczył swój charakter według modnych wówczas podręczników kształcenia woli. Wstawał wczesnie i poza posiłkami i krótką drzemką poobiednią spędzał cały czas w zakładzie niekiedy do późnych godzin. Na wakacje, które spędzał z nami nad morzem lub w Zawoi pod Babią Górą, zawsze zabierał maszynę do pisania i pracował po kilka godzin dziennie. Od czasu do czasu spotykał się jednak z kolegami w najlepszych restauracjach stolicy, zwłaszcza u Simona i Steckiego. Uwielbiał bowiem wykwintną kuchnię i szlachetne trunki.

W niedzielę najczęściej fundował rodzinie kino lub inną rozrywkę, a sam zostawał w domu, nastawiał głośno radio jako swego rodzaju barierę dźwięku, kładł się na otomanie i myślał. Niekiedy zostawałem z Ojcem. Wciągał mnie wówczas w rozmowy przeważnie na bardzo poważne tematy. Nie mógł mi tylko darować, że nie umiałem jeszcze delektować się drogim tokajem, jaki mi przy takich okazjach nalewał z omszałej butelki.

Jakie miał poglądy? — odpowiedź na tak poważne pytanie trudno oczywiście skwitować paru słowami. W każdym razie wierzył w poznawalność prawdy i w sens dążenia ku niej. Nie był więc sceptykiem ani agnostykiem. Uważał natomiast, że drogi do prawdy mogą być różne. Oficjalna nauka zresztą także ustawicznie powiększa swój zasięg. Stąd jego tolerancja i szacunek do cudzych poglądów i pomysłów. Był przekonany demokratą. Naraził się nawet już pierwszego dnia w Politechnice Warszawskiej na wymówkę za to, że na przywitanie podał rękę także woźnemu.

¹² Imion nie pamiętam.

Nie jest tajemnicą, że Ojciec był wolnomularzem wysokiego stopnia, a nawet przez kilka lat wielkim mistrzem. Z tego powodu był też obiektem niewybrednych ataków ze strony faszyzujących studentów i ich przewodników. W rzeczywistości Ojciec polityką się nie zajmował, a nawet nie miał czasu jej śledzić. Reagował natomiast żywo, gdy w grę wchodziły sprawy dla niego zasadnicze. Podpisał np. w 1930 roku protest przeciwko złemu traktowaniu więźniów politycznych w Brześciu.

Jak odpoczywał? — Na wakacjach lubił wycieczki w góry i kąpiel. Nieźle pływał. Lubiał towarzystwo dzieci. Kupował mi zawsze drogie mechaniczne zabawki, którymi razem ze mną się bawił. Czasami grywał nam na pianinie najpiękniejsze utwory Beethovena, Szopena i innych jego ulubionych kompozytorów. Bawiły go najgłupsze komedie filmowe. Śledzenie postępów fizyki zbyt go absorbowało, aby mógł sobie pozwolić na systematyczną lekturę. Interesował się jednak filozofią indyjską i oczywiście czytał najciekawsze nowości.

Na ogół bardzo dbał o swój wygląd. Ubierał się u najlepszych krawców. Można go bez przesady nazwać światowcem. Czuł się bowiem doskonale w salonach i na różnych uroczystych spotkaniach, w których musiał często brać udział w kraju i za granicą. W niedzielę natomiast z reguły się nie golił i chodził w starym szlafroku i pantoflach.

Nawet sylwetkę miał mylącą. Jako smakosz był raczej otyły — ponad 100 kilo wagi. Jednocześnie jednak był bardzo ruchliwy i rzutki. Po schodach biegał jak sztubak. Usposobienie chłopięce miał zresztą do końca.

Pod jednym względem Ojciec odpowiadał w pełni stereotypowi uczonego. Był bardzo niepraktyczny i niegospodarny w życiu codziennym. Jako jedynak stosunkowo zamożnych rodziców, przed pierwszą wojną światową nie nabył nawyku liczenia się z pieniędzmi, co rychło stało się koniecznością. W tych sprawach, jak można się łatwo tego domyślać, opatrnościową osobą była nasza wspaniała Matka, która całkowicie poświęciła się swojemu uczonemu mężowi i trójce dzieci. Rola Matki nie ograniczała się jednak bynajmniej do spraw przyziemnych. Była wierną doradczynią Ojca we wszystkich sprawach, z naukowymi włącznie. Pomagała mu w redagowaniu prac do publikacji i w prowadzeniu bogatej korespondencji. Bez wątplenia Rodzice moi byli doskonałym potwierdzeniem tego, że małżeństwo z wybitnym uczonym czy artystą wymaga szczególnego poświęcenia współmałżonka, które zarazem stanowi niebagatelny, choć niewymierny, udział w dorobku wielkiego umysłu.

ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH

Grzegorz Bialkowski

Instytut Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Warszawski
Warszawa

Nauczanie fizyki w szkołach wyższych *

Teaching Physics in Higher Schools

Abstract: The present status of teaching physics (mainly in universities and higher pedagogical schools) is discussed. The „boundary conditions” in the form of teaching physics in secondary schools and perspectives of getting jobs for physicists are also taken into account.

Celem mojego referatu ma być w zasadzie omówienie systemu kształcenia fizyków na uniwersytetach i w wyższych szkołach pedagogicznych. Wydaje mi się jednak, że omawiając ten problem nie można abstrahować od swojego rodzaju warunków brzegowych działalności dydaktycznej na uczelniach wyższych; mam tu na myśli po pierwsze przygotowanie kandydatów na studia, a po drugie perspektywy zatrudnienia absolwentów tych studiów. Jest przecież rzeczą oczywistą, że nasz system dydaktyczny musi być oceniany w zależności zarówno od jakości przygotowania wstępnego osób poddanych kształceniu, jak i od tego, jaką rolę społeczną przyjdzie potem pełnić i jak dobrze będą to czynić.

Przykro mi, że mój referat będzie zapewne należał do najmniej optymistycznych na na tym Zjeździe. Dane, które zamierzam przedstawić dla zilustrowania i udowodnienia moich tez mają bowiem moim zdaniem wymowę niemal dramatyczną, wskazującą na konieczność natychmiastowego działania dla poprawy obecnej sytuacji.

1. System oświatowy obecny i przyszły z punktu widzenia fizyki

Zacznę swój referat od omówienia obecnie obowiązującego w Polsce systemu oświatowego oraz perspektyw jego zmian, które przynosi wprowadzany obecnie w życie system szkoły dziesięcioletniej.

* Referat wygłoszony dn. 24 września 1979 r. na XXVI Zjeździe Fizyków Polskich w Toruniu.

Na system oświatowy składa się wiele elementów. Można tu wymienić najpierw ogólną strukturę programu i jej zróżnicowanie na rozmaite typy szkół wraz z liczbą godzin lekcyjnych przeznaczonych na nauczanie poszczególnych przedmiotów (nas tu oczywiście będzie interesować fizyka). Następnie trzeba uwzględnić istniejące i pożądane korelacje międzyprzedmiotowe na tle programów szczegółowych, wynikających (jak by w każdym razie należało) z ogólniejszych założeń, które by precyzowały cele nauczania. Zasadniczą rolę odgrywają też warunki materialne, w których odbywa się nauczanie — a więc zagęszczenie klas i pracowni, zaopatrzenie szkół w pomoce laboratoryjne i książki oraz czasopisma popularnonaukowe, poziom i dostępność, a także wielowariantowość podręczników szkolnych. Trzeba by uwzględnić system egzekwowania wiadomości, a lepiej — sprawdzania stopnia realizacji celów nauczania, a także system selekcji przy przechodzeniu z jednego szczebla nauczania na inny. Istotną rolę w rozważaniach tych powinna odegrać analiza możliwości pracy z młodzieżą szczególnie uzdolnioną oraz — zarazem — z młodzieżą szczególnie zaniedbaną. Dla oceny skutków społecznych nauczania ważna jest znajomość procentu liczby uczniów w szkołach różnych typów. Jednakże centralne miejsce musi w tych rozważaniach zajmować osoba nauczyciela: przygotowanie nauczycieli do zawodu, ich liczba, ich stabilizacja w zawodzie, ich chęć i zdolność do uzupełniania wykształcenia, ich obciążenia pracą zawodową i społeczną, ich warunki bytowe.

Rozumie się, że nie wszystkie elementy systemu oświatowego są równie ważne. Trudno by mi je zresztą było wyczerpująco omówić w krótkim referacie. Ograniczę się więc tylko do dość pobieżnego przeglądu niektórych danych.

Tabela 1 zawiera dane dotyczące procentu młodzieży w poszczególnych typach szkół wraz z liczbą godzin przeznaczonych na nauczanie fizyki w kolejnych klasach (dla uproszczenia, klasy w szkołach ponadpodstawowych otrzymały numerację od IX wzwyż). Jak wynika z tej tabeli, w cyklu dziesięcioletnim 4,8% młodzieży miało 16 godzin fizyki, 11,5% młodzieży — 13 godzin fizyki, a 27,9% — 12 lub więcej godzin fizyki, zależnie od typu technikum. Należy tu dodać jeszcze 55,6% młodzieży, która kontynuowała naukę w innych szkołach ponadpodstawowych. Znaczna jej część, uczęszczająca do zasadniczych szkół zawodowych, miała dodatkowo w tych szkołach jeszcze 3—4 godziny fizyki.

Dane te należy porównać z danymi dla szkoły dziesięcioletniej, która na fizykę przeznaczona ogółem 11 godzin (i jedną na astronomię). Porównanie obecnego i przyszłego systemu szkolnego jest jednak poważnie utrudnione przez fakt, że nie zapadły jeszcze decyzje w dwu ważnych sprawach. Po pierwsze nie wiadomo, jaki będzie ostateczny profil dwuletnich (pomaturalnych) szkół specjalizacji zawodowej, a w tym, jaką część młodzieży szkoły te obejmą, ani też, jakie będą rodzaje tych szkół i ich programy. Po drugie zaś, nie wiadomo, jaki będzie przyszły los szkolnictwa zawodowego: czy szkolenie w zawodzie odbywać się będzie po szkole dziesięcioletniej, czy też w tzw. ciągach uzawodowionych w ramach tej szkoły, czy może w obu systemach (co się wydaje najbardziej prawdopodobne). Mimo jednak braku tych informacji można się poważnie obawiać, że ranga fizyki w przyszłym systemie szkoły dziesięcioletniej spadnie. Pewne rezerwy tkwią jeszcze w możliwości wykorzystania tzw. godzin wyrównawczych i fakultatywnych, przeznaczonych, pierwsze — dla uczniów zaniedbanych, a drugie — dla uczniów uzdolnionych. W projekcie dziesięcioletki o takich lekcjach się mówi, lecz nie wiadomo, czy i jak lekcje te będą realizowane. Na przeszkodzie może stanąć m. in. brak etatów nauczycielskich.

Szczegółowy program nauczania nie jest doskonały ani w obecnym systemie, ani w systemie dziesięcioletni. Ma on wprawdzie także istotne zalety, ale nie jest przemyślany do końca, a przede wszystkim nie zweryfikowany w praktyce. Z braku czasu nie mogą

Tabela 1

Liczba godzin lekcyjnych fizyki w różnych typach szkół

Typ szkoły	Procent uczniów	Liczba godzin fizyki w klasie						
		VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
szkoły podstawowe	100%	2	3	3				
zas. szk. zawodowe	55,6%				od 3 do 4 godzin			
licea ogólnokształcące	18,6%							
w tym								
typ mat.-fiz.	26,2% = 4,8% całości				4	4	4	4
typ ogólny	41,7% = 7,8% całości				3	2	3	3
typ biol.-chem.	19,8% = 3,7% całości				3	2	3	3
typ humanist.	12,3% = 2,2% całości				2	2	2	2
Technika i licea zawodowe	25,7%	od 8 do 10 godzin w ciągu 5 lat						
Szkoła dziesięcioletnia	100%?	2	2	2	3	2		+1 na astronomię

sprawy tej omawiać szczegółowo. Ograniczę się więc tylko do kilku uwag krytycznych. Po pierwsze, jak mi się wydaje, brak w obecnych i przyszłych programach odpowiednich korelacji międzyprzedmiotowych, nawet między przedmiotami bardzo pokrewnymi, jak fizyka i matematyka czy też fizyka i chemia. Po drugie brak w klasie, powiedzmy, piątej ogólnego wprowadzenia do przyrodoznawstwa, które by pełniło rolę wspólnego wstępu do fizyki, chemii, geologii, astronomii itd. Po trzecie brak ogólnego podsumowania i samej fizyki, i całego przyrodoznawstwa, które by pomogło uczniowi w pozyskaniu scalonego obrazu wiedzy przyrodniczej i ukazało wzajemną łączność między jej poszczególnymi elementami. Mało czasu i miejsca poświęca się ukazaniu ogólnocywilizacyjnej roli fizyki, jej wpływowi na rozwój techniki i kultury, także humanistycznej. Panuje także powszechne przekonanie, że programy są przeładowane i nie dostosowane należycie do rozwoju umysłowego dzieci i młodzieży. Istniejący system egzekwowania wiadomości kładzie zbyt silny nacisk na sprawne rozwiązywanie zadań rachunkowych, co przyczynia się do werbalizacji nauczania, zautomatyzowania nabytej wiedzy i pominięcia eksperymentalnej strony fizyki.

Oddzielnym i trudnym zagadnieniem jest problem podręczników. Podręczniki fizyki tradycyjnie już, od wielu lat, stoją na bardzo niskim poziomie zarówno merytorycznym jak i dydaktycznym. Mógłbym tu zabawić zebranych przez kilka godzin wybranymi cytatami z tych podręczników, wskazującymi na brak w pewnych wypadkach nawet elementarnych wiadomości fizycznych ich autorów lub też może na brak jakiegokolwiek sumienia i odpowiedzialności. Niewątpliwie znaczną część winy należy w tym wypadku przypisać środowisku akademickiemu, które ogólnie mówiąc, nie rwało się do pisania lepszych podręczników. Obecnie sprawa ta zaczyna się powoli zmieniać. Powstał bardzo

dobry podręcznik dla klasy VI szkoły dziesięcioletniej doc. Gintera, a doc. Szymacha i dr Gorzkowski napisali podręcznik dla trzeciej klasy obecnego liceum. Jeśli chodzi o ilościowe zaopatrzenie młodzieży w podręczniki, to jak się wydaje jest ono wystarczające. Nowy tytuł wydawany jest od razu w pełnym nakładzie, po czym są wykonywane dodruki kalkulowane przy założeniu, że średni czas życia podręcznika wynosi 4 lata i że podręczniki są odsprzedawane z klasy do klasy. Natomiast nie jest dobrze, jeśli chodzi o możliwość wyboru przez ucznia lub nauczyciela jednego z dwu lub więcej równoległych podręczników, różniących się nieco doбором materiału i może także ujęciem dydaktycznym. Z reguły istnieje tylko jeden podręcznik obowiązujący wszystkich. Sytuacja ta miała ulec zmianie w przyszłej dziesięciolecie, ale wydaje się, że te nadzieje nie zostaną spełnione w związku z brakiem papieru i trudnościami dystrybucyjnymi.

Zatłoczenie klas, powiedziałbym, jest duże wszędzie tam, gdzie może być duże ze względu na ogólną liczbę dzieci w szkole. Bywają podobno klasy z 25 dziećmi lub mniejsze, ale zwykle w miastach liczba uczniów w klasie zbliża się do granicy 36 dzieci. Nawet tak licznej klasy nie można dzielić na grupy laboratoryjne. Co więcej, nie należą do rzadkości wypadki przeciwne, a mianowicie, że nauczyciel w tej samej izbie lekcyjnej uczy jednocześnie dwie różne klasy, na różnych poziomach. Sytuacja ta nie ulegnie zapewne istotnej poprawie w przyszłych latach, gdyż budownictwo szkół nie nadąża za programem upowszechniania dziesięcioletki. Normatywy dla nowo budowanych szkół przewidują powierzchnię fizyki o powierzchni 51 m², co w wypadku klasy 36-osobowej daje niecałe 1,5 m² na dziecko. Trudno w tych warunkach mówić o realizowaniu programu kształcenia dzieci metodą własnych doświadczeń uczniowskich. Nakłada się na to słabe zaopatrzenie pracowni szkolnych. Według danych Ministerstwa Oświaty i Wychowania, pochodzących ze sprawozdań powizytacyjnych, ocenia się, że w szkołach podstawowych zaopatrzenie w pomoce laboratoryjne waha się od 30%—45% zaopatrzenia minimalnego, a procent ten wzrasta do około 60—65% w szkołach ponadpodstawowych. Zgadza się to z subiektywnymi ocenami nauczycieli, którzy tylko w około 10% uważają, że zaopatrzenie ich pracowni pozwala im na pełne i sprawne realizowanie programu nauczania. Oddzielnym problemem jest, czy i jak nawet te skromne środki są w szkołach realnie wykorzystywane. Z tych samych danych wynikałoby, że tylko na około 15% lekcji wykonywane są doświadczenia uczniowskie, a na 60% lekcji — pokazy przeprowadzane przez nauczyciela. Jeszcze innym problemem jest poziom i sprawność dydaktyczna przyrządów produkowanych przez nasz przemysł pomocy szkolnych. Są wśród nich konstrukcje udane, ale nie tworzą one systemu całościowo przemyślanego i dostosowanego do potrzeb programu. Prace nad pomocami prowadzone są bardzo często w oderwaniu od programów i praktyki szkolnej, w związku z czym znaczna część przyrządów nie jest w szkole przydatna. Pogłębianiu się złej sytuacji na tym odcinku sprzyja brak laborantów, którzy by mogli pomóc nauczycielom w naprawach przyrządów i w zestawieniu pokazów. Przeciążony codzienną pracą nauczyciel często wobec tego unika pokazów, a zepsuty przyrząd odstawia na półkę.

Nie istnieją dane dotyczące zaopatrzenia bibliotek szkolnych w książki i czasopisma popularnonaukowe z fizyki. Ministerstwo dysponuje tylko wykazem literatury zalecanej w szkołach. Tematyka ta niestety nie wchodzi w zakres sprawozdań powizytacyjnych. Na podstawie moich prywatnych kontaktów oceniałbym zaopatrzenie bibliotek w tego

typu wydawnictwa jako złe. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne wydają tytuły popularnonaukowe na poziomie podstawowym w nakładzie 10—15 tys. egzemplarzy, a na poziomie ponadpodstawowym 1—2 tysięcy. Są to liczby mniejsze niż liczba szkół odpowiednich typów, a przecież są jeszcze czytelnicy indywidualni.

Powstaje pytanie czy nasz system szkolny pozostawia miejsce na kształcenie uczniów szczególnie uzdolnionych w zakresie fizyki. W Polsce istnieje ogółem 9 szkół licealnych z klasami z rozszerzonym programem nauczania matematyki. Nie ma takich szkół dla młodych fizyków! Nie wiem, czy dobrze jest, że takie szkoły w ogóle istnieją, w każdym razie zagadnienie to przedstawia się dla mnie jako dyskusyjne. Natomiast negatywnie oceniam fakt, że istnieją szkoły „matematyczne”, natomiast zarazem nie istnieją szkoły „fizyczne”. W rezultacie bowiem znaczna część młodzieży o zainteresowaniach matematyczno-fizycznych nie mając wyboru trafia do szkół o profilu matematycznym. W pewien sposób rzutuje to na przyszły stosunek absolwentów tych szkół do fizyki, a szczególnie fizyki eksperymentalnej.

Inną formą wpływania na rozwój zainteresowań fizycznych młodzieży są olimpiady fizyczne. Muszę powiedzieć, że z satysfakcją dowiedziałem się, iż są one w ostatnich latach bardziej popularne niż olimpiady chemiczne i nawet matematyczne. Na przykład w roku szkolnym 1978/79 w Olimpiadzie Fizycznej brało udział 2880 uczniów, podczas gdy w Olimpiadzie Matematycznej — około 1600, a Chemicznej nieco ponad 1300. Na ten jasny stosunkowo obraz cień rzuca ten podstawowy fakt, że spośród laureatów olimpiad fizycznych tylko jedna trzecia lub nawet mniej wybiera fizykę jako kierunek swoich studiów.

Oceniając ogólnie poziom nauczania fizyki w szkołach przedwzwyższych można wziąć pod uwagę dwa wskaźniki. Po pierwsze, w czasie wizytacji metodyczno-przedmiotowych w szkołach przeprowadzane są sprawdziany testowe zmierzające do ustalenia, w jakim stopniu uczniowie opanowali materiał nauczany w szkole. Wyniki w szkole podstawowej kształtują się w okolicy 2,7, a w szkołach ponadpodstawowych 3,2. Na ten ciemny obraz nie można patrzeć spokojnie, choć niewątpliwie łagodzący wpływ na wymowę faktów ma to, że dzieci i młodzież nie mają obycia z testową formą sprawdzania ich wiadomości.

Niezależną, ale zgodną z powyższymi danymi oceną stanu nauczania fizyki na poziomie przedwzwyższym są wyniki egzaminów wstępnych z fizyki na studia wyższe. Dane te są wymowne.

Oto w r. 1976 egzamin pisemny z fizyki na studia fizyki na uniwersytetach i WSP zaliczyło: z wynikiem bdb. i db. — 18%, z wynikiem dst. — 39% a z wynikiem ndst. — 43%. W wyższych uczelniach technicznych (politechnikach) wynik bdb. i db. uzyskało 15,3%, dst. — 47,3%, a ndst. — 37,4%. W wyższych szkołach inżynierskich odpowiednie procenty wynoszą 7,3%, 41,5% oraz 51,2%; wreszcie w akademiach techniczno-rolniczych — 18%, 37,5% i 46,5%. Dane z r. 1977 nie odbiegają od powyższych. Porównując je z danymi dla innych przedmiotów ścisłych, należy wziąć pod uwagę znacznie większą powszechność egzaminu z matematyki niż z fizyki. Egzamin z matematyki muszą zdawać także ci, dla których nie stanowiła ona w szkole zapewne przedmiotu szczególnego zainteresowania. Mimo to wyniki egzaminów wstępnych z fizyki i matematyki są zbliżone. Natomiast wyniki egzaminu wstępnego z chemii są przeciętnie sporo lepsze — o mniej więcej dziesięć punktów.

Dramatyczną wymowę tego stanu rzeczy wzmocnia fakt, że egzamin wstępny z fizyki zdają właśnie tylko ci absolwenci szkół średnich, dla których fizyka jest, a raczej — być powinna — przedmiotem ważnym, ci zatem, którzy sami ocenili swoją wiedzę z fizyki jako lepszą niż przeciętną, skoro zdecydowali się na wybór odpowiednich kierunków studiów. Co więc umieją z fizyki inni absolwenci szkół średnich?

Sytuację, jeśli chodzi o liczebność i kwalifikacje kadry nauczycielskiej przedstawia tabela 2. Należy przede wszystkim dostrzec, że odróżnia się tu nauczycieli, którzy mają kwalifikacje do nauczania fizyki od tych, którzy fizyki uczą. Przekrywanie się tych dwu

Tabela 2

Przygotowanie zawodowe nauczycieli fizyki

		1973	1975	1977
Nauczyciele przygotowani do nauczania fizyki	ukończone studia wyższe	4078	5461	6555
	studium nauczycielskie	10 336	8872	7402
Nauczyciele uczący fizyki w pełnym wymiarze godzin:	ukończone studia wyższe	?	5938	6744
	studium nauczycielskie	?	6147	4824
	bez kwalifikacji	?	765	462
Nauczyciele niepełnozatrudnieni		?	2000	1200
Liczba godzin fizyki w szkołach wszystkich rodzajów/tydzień		?	326 584	304 034

kategoriis jest rzędu 70%. Widać, że i w jednej, i w drugiej kategorii notujemy w ostatnich latach zmniejszanie się liczby nauczycieli. Jest to jedyny przedmiot nauczania w całym szkolnictwie, który jest dotknięty taką erozją kadry. Przyczyny tego stanu rzeczy są wielorakie. Po pierwsze przez szkoły przechodził ostatnio niż demograficzny, który wpłynął na zmniejszenie się liczby godzin fizyki, a więc i na potrzeby szkolnictwa. Nie może to być jednak jedyny powód, gdyż, jak mówiłem, kadra w innych przedmiotach w tym samym czasie nie uległa redukcji. Są zatem powody dodatkowe, działające tylko w wypadku fizyki. Widzę takie trzy powody. Po pierwsze, następuje rugowanie fizyki z programu nauczania w technikum i liceach zawodowych. W wielu wypadkach zaś lekcje fizyki prowadzone są przez inżynierów i zamieniane w zajęcia na pograniczu fizyki i techniki. Po drugie, w tym okresie została skasowana możliwość podziału klasy na grupy ćwiczeniowe (obecnie dzielić można tylko klasę liczącą powyżej 36 dzieci). Automatycznie doprowadziło to do zmniejszenia liczby godzin do obsadzenia dla nauczycieli fizyki. Po trzecie zaś, ze wzrostem nacisku na uzupełnianie studiów wyższych nauczyciele fizyki częściej niż nauczyciele innych przedmiotów wybierają sobie studia nie w zakresie fizyki, lecz w innych dyscyplinach — najczęściej pedagogiki. Zdarzają się jednak wybory zupełnie egzotyczne, jak np. historia. Ocenia się, jak powiedziałem, że około 30% zajęć z fizyki prowadzą ludzie, którzy nie mają przygotowania do nauczania tego przedmiotu, najczęściej uzupełniając fizyką swoje pensum dydaktyczne. W tej sytuacji szczególnego znaczenia

nabiera problem jakości podręczników, a także wszelkiego rodzaju kursów dokształcających i studiów podyplomowych.

Do wniosków przejdę w ostatniej części mojego wystąpienia, ale chyba widać z tego przeglądu, że sytuacja fizyki w szkole jest alarmująca i wymaga z naszej strony wszechstronnych działań zmierzających ku jej poprawie.

2. Perspektywy zawodowe absolwentów fizyki

Przejdę teraz do omówienia problemów zatrudnienia absolwentów fizyki. Rozumie się, że jeśli chodzi o WSP, to zasadniczo uczelnie te kształcą wyłącznie przyszłych nauczycieli. Natomiast przed absolwentami uniwersytetów stoją trzy możliwości: zawód nauczycielski, kariera w dziedzinie zastosowań i wreszcie kariera naukowa.

Zacznę od pierwszego zagadnienia, a mianowicie przewidywanego zapotrzebowania szkolnictwa na nauczycieli fizyki. Należy sobie uświadomić, że wszelka ekstrapolacja ze stanu obecnego musi doprowadzić do błędnych wniosków. Wynika to z następujących przesłanek. Przede wszystkim, do pierwszych lat szkoły, obecnie już dziesięcioletniej, dotarły roczniki wyżowe. Są one o kilka % (do około 10%) liczniejsze od roczników z poprzednich lat. Z punktu widzenia fizyki, roczniki te staną się ważne za około 5 lat, gdy dotrą do klasy VI. Co to znaczy przyrost o 10%? Jeśli przyrost ten nie zostanie w zasadniczy sposób wchłonięty przez szkoły drogą powiększenia liczby uczniów w i tak bardzo już zagęszczonych klasach, musimy oczekiwać, tylko z tego tytułu, przez kilka lat corocznego przyrostu zapotrzebowania na nauczycieli fizyki w granicach 10% stanu obecnego. To zaś wynosi około 1200—1300 nowych etatów dla fizyków. Drugim czynnikiem wpływającym na konieczność powiększenia liczby kształconych przez nas nauczycieli fizyki jest fakt, że wkrótce wejdziemy w fazę wyżu emerytalnego. Tuż po wojnie w związku z odbudową i rozbudową szkolnictwa trzeba było przyjąć do pracy tysiące, a nawet setki tysięcy nowych nauczycieli. Osoby te, które w owym czasie miały 20—30 lat, obecnie właśnie wchodzi w okres przedemerytalny. Szczyt rozpocznie się na dobre w okolicy 1986 r., a więc zbiegnie się z początkiem szczytu demograficznego wśród uczniów w klasach VI i VII. Można oczekiwać, że z powodu przechodzenia na emeryturę corocznie w końcu lat 1980 będzie się zwalniać od 200 do 500 etatów nauczyciela fizyki. Trzecim wreszcie czynnikiem, który należy uwzględnić, choć będzie on działać nieco później, jest fakt, że dziesięcioletka jest szkołą powszechną. Mimo więc, że wiele dzieci będzie mieć mniej zajęć z fizyki niż miałyby w obecnym systemie, to jednak w sumie nauczycieli potrzeba więcej. Tym większe będą potrzeby, że w grę wchodzi też godziny fakultatywne i wyrównawcze. Szacując ostrożnie można ocenić zapotrzebowanie na nowych nauczycieli fizyki w latach 1985 — na około 1000, 1986 na 2000—3000 i 1987 — podobnie.

Inną możliwą drogą kariery zawodowej absolwenta fizyki jest praca w przemyśle. Zagadnienie to, jak wiemy wszyscy, jest bardzo trudne. Są wprawdzie uczelnie, którym udaje się ulokować spore grupy absolwentów w zakładach przemysłowych, a przede wszystkim w placówkach badawczych przemysłu. Mimo to jednak w skali ogólnokrajowej jest to problem nadal bardzo daleki od właściwego rozwiązania. Przyczyny tego zjawiska są wielorakie i usunięcie niektórych spośród nich leży poza zasięgiem naszego środowiska. Do takich przyczyn zaliczałbym przede wszystkim samą strukturę naszego przemysłu,

który nie jest w zasadzie nastawiony na rozwiązania oryginalne, lecz raczej na kupowanie licencji. Wszędzie tam, gdzie nie ma miejsca dla wynalazcy, nie będzie go również dla fizyka. Jest to oczywiście polityka krótkowzroczna. Opracowanie własnych rozwiązań przynajmniej w skromnym zakresie jest rzeczą niezbędną dla zdrowego funkcjonowania przemysłu i jego konkurencyjności eksportowej. Drugim powodem tego impasu jest niewłaściwe kształcenie inżynierów w zakresie nauk podstawowych, a w tym przede wszystkim fizyki. Fizyka jest nieustannie rugowana z programów politechnicznych. W rezultacie inżynier, przyszły dyrektor czy technolog, nie wie właściwie, do czego może się fizyka w przemyśle przydać i nie stara się o zatrudnienie fizyków, a zatrudniwszy ich wykorzystuje jako biuralistów lub laborantów. Trzecim powodem jest bez wątpienia niedostateczny nacisk, który nasze środowisko kładzie na kształcenie fizyków rozumiejących specyfikę pracy w przemyśle i brak inicjatywy w kierunku nawiązania współpracy z techniką. Słaby jest w porównaniu z krajami o przodującej technice rozwój badań w zakresie fizyki stosowanej. Potencjalnie rynek pracy jest tu również duży, choć trudno go ocenić liczbowo.

Trzecim zasadniczym miejscem pracy dla fizyka jest uczelnia wyższa lub instytut naukowy. Potencjalne możliwości zatrudnienia fizyków w instytutach uczelnianych obecnie nie są wielkie. Wynika to ze ścisłego powiązania limitów zatrudnienia z liczbą kształconych studentów. Liczba ta zaś ostatnio wydatnie malała. Wprawdzie można przewidywać, jak wynika z przytoczonych powyżej ocen, wzrost zapotrzebowania na fizyków, szczególnie w szkole, a może i w przemyśle, ale nie wiadomo, jak szybko za tym popytem podążą limity przyjęć, a za wzrostem tych limitów liczba kandydatów.

Tabela 3

Liczba samodzielnych pracowników naukowych r. ak. 1977/78

Uczelnia	Liczba
Uniwersytet Warszawski	29
Uniwersytet Jagielloński	15
Uniwersytet Wrocławski	15
Uniwersytet AM Poznań	14
Uniwersytet MK Toruń	14
Uniwersytet Śląski	9
Uniwersytet Łódzki	9
Uniwersytet MCS Lublin	6
Uniwersytet Gdański	7
Filia UW Białystok	1
WSP Opole	8
WSP Rzeszów	5
WSP Częstochowa	3
WSP Kraków	2
WSP Zielona Góra	2
WSP Siedlce	2
WSP Kielce	1
WSP Olsztyn	1
WSP Słupsk	1

W tych warunkach wystąpiła tendencja do stabilizacji liczby etatów naukowych w instytutach uczelnianych fizyki, a nawet do jej zmniejszenia. W zasadniczy sposób odcina to możliwości awansu zawodowego i podjęcia kariery naukowej przez młodych uzdolnionych absolwentów fizyki, tym bardziej, że drastycznemu ograniczeniu uległa liczba miejsc na studiach doktoranckich. Dodatkowo negatywny wpływ na rozwój i dopływ młodej kadry naukowej ma nierównomierny w skali ogólnopolskiej rozkład kadry samodzielnych pracowników naukowych. Dane ilustrujące to zagadnienie są przedstawione w tabeli 3. Widać z niej, że wiele ośrodków akademickich nie jest w stanie kształcić wysoko kwalifikowanych specjalistów własnymi siłami z braku kadry samodzielnych pracowników, podczas gdy w ośrodkach najsilniejszych następuje kondensacja tej kadry przesuwająca w górę średni wiek pracownika naukowego i utrudniająca przyjęcie do pracy uzdolnionej młodzieży. To przesuwanie się średniego wieku fizyka obserwuje się także w instytutach pozauczelnianych, w których jest coraz więcej docentów, a coraz mniej magistrów.

Podsumowując, trzeba powiedzieć, że możliwości zatrudnienia po studiach są dla fizyków obecnie nieduże, choć w przyszłości można oczekiwać poważnego wzrostu zapotrzebowania na nauczycieli fizyki — z całą pewnością, na fizyków „stosowanych” — być może, na fizyków pracujących naukowo — w miarę rozwoju sieci szkół wyższych i wyrównania poziomu, a także w miarę napływu kandydatów na studia i wreszcie w miarę wzrostu społecznego odczucia znaczenia fizyki od strony czysto poznawczej i od strony praktycznej.

3. Kształcenie w zakresie fizyki na uczelniach uniwersyteckich i w wyższych szkołach pedagogicznych

Zarówno niski na ogół poziom nauczania fizyki w szkołach średnich i podstawowych jak i brak jasno określonych perspektyw zatrudnienia po studiach, co jest częściowo związane z powszechną niechęcią do podejmowania zawodu nauczyciela fizyki, odbija się szczególnie dramatycznie na rekrutacji na studia fizyki.

Dane dotyczące kandydatów na studia fizyczne przedstawione są w tabelach 4 i 5. Widać z nich, że istnieją zasadnicze trudności z wypełnieniem limitów (ostatnio przecież obniżonych) na studia fizyki w pierwszym terminie i to szczególnie duże na studia nauczycielskie. Ma to swoje konsekwencje w postaci konieczności przyjmowania na studia kandydatów przygotowanych dość przeciętnie, a nawet słabo, a w drugim terminie także kandydatów przypadkowych, którzy w pierwszym terminie wybrali inny kierunek studiów i dla których fizyka jest przykrą koniecznością. Jest rzeczą dość może paradoksalną, że w tym samym czasie na fizykę z reguły trafia także grupa kandydatów doskonale przygotowanych, olimpijczyków i finalistów olimpiad, a także absolwentów niektórych dobrych szkół, a raczej może wychowanków niektórych dobrych nauczycieli.

Konsekwencje tego stanu rzeczy są wielorakie. Po pierwsze już na roku pierwszym pojawia się na sekcji nienauczycielskiej dość wyraźny podział na grupę lepiej przygotowanych studentów piątkowych i „szarą masę” studentów, którzy z trudem zdobywają trójki, a tylko z rzadka czwórki. Lepiej przygotowana grupa studentów zaciemnia obraz osiągnięć dydaktycznych i poprawności dydaktycznej programu nauczania, skłania też do śrubowania poziomu nauczania i w konsekwencji powiększa frustrację pozostałej

części studentów. Drugą konsekwencją jest wyjątkowo duży odsiew szczególnie na pierwszym roku studiów na sekcji nauczycielskiej. Niestety, nie ma systematycznych danych, obrazujących odsiew w skali ogólnopolskiej na sekcji nienauczycielskiej, wobec czego

Tabela 4

Wypełnianie limitów na studia fizyki

	Limit	Kandydaci	Przyjęci	% wypełnionych miejsc
Rok akad. 1977/78				
Uniwersytety	1030	736	605	58,7
WSP	380	252	175	46
Łącznie	1410	877	780	55,3
Rok akad. 1978/79				
Uniwersytety	960	544	450	46,3
WSP	310	154	114	36,8
Łącznie	1270	698	564	44,4

Tabela 5

Wolne miejsca po i przed rekrutacją lipcową

	Fizyka			Matematyka		
	1977	1978	1979	1977	1978	1979
Uniwersytety	425/1030	385/890	410/960	404/1150	264/1020	433/1160
WSP	205/380	180/290	196/310	147/470	95/380	71/405
Łącznie:	630/1420	565/1180	606/1270	551/1620	359/1400	504/1565

opieram się tu na danych z Uniwersytetu Warszawskiego. Dane dotyczące sekcji nauczycielskiej przedstawione są w tabeli 6.

Z danych zawartych w tej tabeli wynika dość jasno, że sprawność studiów fizycznych zarówno w cyklu 1974—78, jak i 1973—77 była niska. Uderza wyższa przeciętna sprawność studiów na WSP niż na uniwersytetach. Uderza także niska sprawność studiów fizycznych w porównaniu zarówno z matematyką, jak i z chemią. Zapewne odsiew na sekcji nienauczycielskiej jest nieco mniejszy, ale, jak powiedziałem, dane zbiorcze nie istnieją.

Przejdę teraz do omówienia programu nauczania fizyki na uniwersytetach i WSP. Jak wszyscy już na pewno wiemy, w bieżącym roku, po kilku latach starań i zabiegów całego naszego środowiska, zapadła decyzja przywrócenia na fizyce (i oprócz tego na chemii) studiów pięcioletnich zarówno na sekcji nienauczycielskiej, jak i nauczycielskiej. Decyzja ta będzie realizowana w dwu etapach: przejście na system pięcioletni obejmuje w tym roku mniej więcej połowę uczelni, a drugą połowę — poczynając od roku akademickiego 1980/81. Ta tak bardzo przez nas oczekiwana decyzja skłania do zastanowienia się na nowo nad ogólną strukturą studiów fizyki.

Pierwszym pytaniem, które należy sobie zadać, jest, czy należy i w jakiej formie utrzymać podział na sekcje nauczycielską i nienauczycielską. Z góry pragnę powiedzieć, że

wszelkie rozważania na ten temat mogą mieć charakter jedynie futurologiczny, ponieważ obecnie, nawet gdyby nasze środowisko uznało to za pożądane, nie istnieje żadna możliwość zmiany obowiązującego systemu, który polega na istnieniu dwu sekcji oddzielnych już od pierwszego roku i z odrębną rekrutacją. Dyskusję na ten temat jednak przeprowadziliśmy, m. in. w ramach zespołu ds. dydaktyczno-wychowawczych fizyki, rozważając trzy warianty: (a) obowiązujący obecnie, (b) przewidujący wspólną rekrutację i wspólne studia aż do 5—6 semestru z następującym potem podziałem na sekcje i wreszcie (c) jednolite studia bez podziału na sekcje z dodatkowym, powiedzmy rocznym, okresem przeszkolenia zawodowego (o charakterze stażu) w zawodzie nauczycielskim. W zasadzie ta ostatnia koncepcja znalazła najwięcej zwolenników. Głównym motywem była konieczność dowartościowania zawodu nauczycielskiego przez danie przyszłym nauczycielom pełnego, a nie uproszczonego wykształcenia fizycznego i zapoznanie ich ze smakiem pracy badawczej. Dzięki temu, jak można by oczekiwać, ich stosunek do nauczanego przedmiotu nabrałby charakteru bardziej osobistego i zaangażowanego. Trudno jest jednak ocenić, jak przyjęcie takiego systemu odbiłoby się na liczbie kształconych nauczycieli, a braki mamy przecież nie tylko jakościowe, ale nawet ilościowe. Tak czy owak w obecnej sytuacji musimy się przystosować do dwu odrębnych sekcji z odrębną rekrutacją.

Nie chciałbym tu omawiać zbyt szczegółowo programu nauczania fizyki na obu sekcjach. Ograniczę się do poruszenia trzech zagadnień o charakterze ogólniejszym.

Oto pierwsze z nich. Biorąc pod uwagę, że studenci sekcji nauczycielskiej mają oprócz zajęć z fizyki i matematyki także sporo zajęć zawodowych — pedagogicznych i metodycznych, a ponadto są obciążeni praktykami szkolnymi, co nieco skracza czas trwania niektórych semestrów, staje się rzeczą jasną, że nawet gdyby kandydaci na studia nauczycielskie byli równie dobrze przygotowani jak ci, którzy się kierują na studia nienauczycielskie, to i wtedy należałoby dla nich choćby ze względów humanitarnych nieco zmniejszyć zakres zajęć merytorycznych. Powstaje więc pytanie, jak i czego należy uczyć z fizyki i matematyki przyszłych nauczycieli, a z czego można i trzeba zrezygnować? Jest to problem bardzo trudny. Opracowywane obecnie programy ramowe i szczegółowe przewidują następujące rozwiązania. Podstawowym wykładem dla przyszłych nauczycieli powinien się stać dwuletni wykład podstaw fizyki, prowadzony na tych studiach w większym jeszcze nieco wymiarze niż na sekcji nienauczycielskiej. Zasadniczym celem tego wykładu jest właśnie ukazanie i przekazanie studentowi całościowego obrazu fizyki przy spełnieniu warunku włączenia w ten obraz całej fizyki „szkolnej”, a więc także tych jej mniejszych czy większych fragmentów, które się pomija na sekcji nienauczycielskiej. Wbrew początkowo wypowiedzanym opiniom ostatecznie nie przewiduje się zmniejszenia programu fizyki teoretycznej, a tylko pewne istotne przesunięcia akcentów. Chcielibyśmy bowiem, aby fizyka teoretyczna uczyła przyszłych nauczycieli nie tyle metod czysto technicznych, obliczeniowych, ale aby systematyzowała wiedzę studenta i pogłębiała jego zrozumienie wewnętrznej struktury fizyki. Podstawowym pytaniem jest, czy uda się studenta sekcji nauczycielskiej tak wykształcić, aby na ostatnim roku jego praca magisterska miała szansę zawierać jakieś elementy oryginalnej pracy badawczej we właściwym tego słowa znaczeniu, to znaczy, aby ani nie miała ona charakteru czysto referatowego, ani też nie polegała tylko na wykonaniu wyrobniczych czynności w ramach szerszej działalności badawczej kierownika pracy. W tej chwili trwają jeszcze prace nad budową takiego pro-

Sprawność nauczania fizyki w poszczególnych uczelniach

Nazwa uczelni	a Studenci I r. 1974/75	b Zaliczony IV r. w r. 1978	c Dyplom mgr 1978	c % b/a	% c/a	% c/a Chemia	% c/a Matem.
Uniw. Gdański	84	25	20	29,8	23,8	46,7	63,6
	poprzedni rocznik			23,8	?		
Uniw. Śląski	136	54	26	39,7	19,1	47,5	27,6
	poprzedni rocznik			32,4	16,2		
Uniw. Jagielloński	77	5	3	6,5	3,9	50,0	38,7
	poprzedni rocznik			14,6	2,1		
UMSC Lublin	82	23	17	28,0	20,7	51,4	35,8
	poprzedni rocznik			36,5	30,1		
Uniw. Łódzki	68	6	2	8,8	2,9	65,7	46,0
	poprzedni rocznik			21,3	7,1		
UAM Poznań	69	33	31	47,8	44,9	61,4	92,2
	poprzedni rocznik			62,3	51,9		
UMK Toruń	89	11	11	12,4	12,4	52,4	27,8
	poprzedni rocznik			14,5	14,5		
Uniw. Warszawski	45	19	11	42,2	24,4	41,9	63,2
	poprzedni rocznik			9,1	9,1		
Filia UW Białystok	54	21	6	38,9	11,1	69,3	21,0
	poprzedni rocznik			27,3	22,7		
Uniw. Wrocławski	93	37	31	39,8	33,4	41,5	35,2
	poprzedni rocznik			32,0	9,8		
Łącznie uniwersytety	797	234	158	29,4	19,8	52,3	44,4
	poprzedni rocznik			31,2	21,1		
WSP Częstochowa	65	44	31	67,7	47,7	82,6	63,9
	poprzedni rocznik			58,8	30,9		
WSP Kielce	35	25	17	71,4	48,6	46,3	50,0
	poprzedni rocznik			93,8	93,8		
WSP Kraków	52	44	17	84,6	32,7		42,0
	poprzedni rocznik			50,0	35,0		
WSP Olsztyn	30	18	14	60,0	46,7		44,4
	poprzedni rocznik			68,8	56,3		

WSP Opole	104	54	52	51,9	50,0	43,3	57,6
	poprzedni rocznik			42,4	39,1		
WSP Rzeszów	49	44	33	89,8	67,3		31,7
	poprzedni rocznik			50,0	41,9		
WSP Słupsk	37	18	18	48,6	48,6		68,3
	poprzedni rocznik			30,0	30,0		
WSP Zielona Góra	37	20	17	54,1	45,9		90,0
	poprzedni rocznik			42,5	42,5		
Łącznie WSP	409	267	199	65,3	48,7	49,8	51,7
	poprzedni rocznik			51,8	40,0		

gramu nauczania i spodziewam się, że zostaną one zakończone w ciągu najbliższych miesięcy.

Drugim ważnym problemem, który chciałbym tu poruszyć, jest zagadnienie miejsca historii fizyki w nauczaniu fizyki. Nie mam tu bynajmniej na myśli wyłącznie ani nawet przede wszystkim oddzielnego wykładu historii fizyki, aczkolwiek byłbym zwolennikiem wprowadzenia takiego wykładu jako obowiązkowego. Chodzi mi o coś innego, a mianowicie, jak dalece nasze nauczanie powinno iść w trop za dziejowym rozwojem fizyki, czyli, mówiąc językiem biologicznym, jak bardzo ontogeneza powinna odtwarzać filogenezę. Obecnie często słyszy się głosy, które zresztą bardzo często znajdują także swoje odzwierciedlenie w praktyce, ażeby „uczyć fizyki nowocześnie”, to znaczy, aby pewne klasyczne działy fizyki traktować po prostu jako szczególne wypadki nowszych działów, takich jak np. mechanika kwantowa czy fizyka relatywistyczna. Wydaje mi się, że stawianie sobie takiego celu od pierwszych tygodni nauczania, nie byłoby właściwe z powodów zarówno merytorycznych, jak i dydaktycznych. Nie jest bowiem wcale jasne do końca, na czym właściwie polega owo przejście graniczne, np. gdy $\hbar \rightarrow 0$. Poza tym, świat naszych wrażeń, a więc i świat naszych naocznych modeli jest światem klasycznym i nowa fizyka do tego świata musi nawiązywać, jeśli nie ma ona polegać tylko na żonglowaniu wzorami. Wreszcie, uczeń w szkole średniej jest szczególnie źle uczony właśnie fizyki współczesnej. Dlatego też dopiero na uczelni wyższej spoczywać musi zadanie wprowadzenia i przedstawienia tej fizyki. Nie może to zaś nastąpić metodą wstrząsową. Student musi sobie uświadomić, że fizyka klasyczna nie jest wystarczająca i dlatego nie jest wystarczająca, ale nie można tego pokazać bez przedstawienia mu tej właśnie fizyki. Jest też, jak mi się wydaje, powód ogólniejszy, aby jednak zwracać większą uwagę na elementy myślenia historycznego. Otóż sądzę, że przedstawianie fizyki tylko takiej jaką jest ona dziś, bez ukazania jakichś fragmentów jej rozwoju, przypomina określenie stanu układu przez podanie położenia, ale bez określenia prędkości. Patrzenie ahistoryczne na fizykę może skłaniać do fetyszyzacji obecnego jej stanu — a przecież jest to tylko jeden z etapów jej rozwoju — i nie uczy myślenia twórczego. Te wszystkie uwagi nie zmiernają bynajmniej do tego, abyśmy mieli uczyć fizyki w jej rozwoju dziejowym naśladowując wszystkie, często przypadkowe meandry tego rozwoju. Chodzi jednak o przedstawienie fizyki także jako pewnego dziania się, w którym my sami możemy i powinniśmy brać udział.

Trzecim wreszcie ogólniejszym zagadnieniem, które chcę tu poruszyć, jest tendencja zmierzająca do ujmowania we wspólnych ramach tych zjawisk, które można jednakowo opisać matematycznie. Typowym przykładem mogą tu być drgania i fale, które w wielu bardzo różnych działach fizyki opisywane są takimi samymi równaniami i za przykładem kursu berkeleyowskiego zwykle są u nas omawiane wspólnie. Ogarniają mnie tu pewne wątpliwości. Z jednej strony bowiem nie ulega chyba dla nikogo wątpliwości, że zasada analogii i bliskość pojęciowa pewnych zjawisk miały wielokrotnie ogromne znaczenie heurystyczne. Poza tym zaś w procesie dydaktycznym pozwalają one na uniknięcie powtarzania tych samych spraw wiele razy, dają więc sporą oszczędność czasową. Z drugiej jednak strony, jak mi się wydaje, korzystanie z zasady analogii ma wtedy głębszy sens, gdy się za nią kryje istotne podobieństwo mechanizmów fizycznych. Jak wytłumaczyć studentowi, dlaczego właściwie fale mechaniczne i fale elektromagnetyczne opisywane są takim samym wzorem? Nawet w ramach mechaniki, gdy wprowadzamy równanie

falowe dla fal w płynach i dla fal w ciałach stałych, musimy postępować zupełnie inaczej. Wydaje mi się, że ujęcie wspólne zjawisk tylko dlatego, że opisują je te same równania, ale dla których nie umiemy zarazem znaleźć wspólnego podłoża fizycznego, jest symptomem obecnego dziś w świecie dążenia do przeceniania roli formalizmu w porównaniu z myśleniem modelowym, obrazowym. Tę dążność, która może być całkowicie usprawiedliwiona w pracy badawczej, uważam za niesłuszną w zastosowaniu do dydaktyki. Staje się ona w konsekwencji jeszcze jednym przyczynkiem do zaniku wyobrażania sobie zjawiska i zastępowania go formułą.

Wydaje mi się też, że dwa ostatnio poruszone przeze mnie zagadnienia mają pewne znaczenie z punktu widzenia przyswajalności programu nauczania fizyki przez studenta przeciętnego, a nawet i dobrego i wobec tego mają też pewien wpływ na wielkość odsiewu. Przypuszczenie to jest tym bardziej prawdopodobne, że aparat formalny w fizyce służy m. in. temu właśnie, aby w zwęższej postaci można było zawrzeć ogromne niekiedy bogactwo faktów. Powstanie i rozwój aparatu formalnego jest wielkim osiągnięciem fizyki. Oczywiście należy studentów z aparatem tym zapoznawać. Głębokie jego zrozumienie jest jednak bardzo czasochłonne i pracochłonne. Toteż istnieje jakaś indywidualnie określona granica chłonności umysłowej, poza którą rozpoczyna się przyswajanie sobie formalizmu w sposób powierzchowny, jako zbioru regulek nie wiadomo czym ze sobą powiązanych.

Jest to jeden z głównych czynników prowadzących do oczywistego przeładowania uniwersyteckich programów nauczania. Piętrzenie trudności na drodze studenta już od pierwszego roku studiów, niepozwalanie mu na stopniowe przystosowywanie się do nowego dlań systemu myślenia, jest jednym z zasadniczych powodów odsiewu właśnie na pierwszym roku.

Innym przykrym skutkiem przeładowania programów nauczania jest dość powszechna bierność studenckiego ruchu naukowego na fizyce. Jest oczywiste, że ruch ten stoi przed wieloma przeszkodami. Jedną z nich jest to, że w fizyce odległość od stanu wiadomości szkolnych do tego stanu, który wymagany jest przy pracy naukowej, jest szczególnie duża. Student fizyki przed ukończeniem trzeciego roku studiów właściwie nie ma szans na to, aby zrozumieć cel prowadzonych badań. Oczywiście można by go zatrudnić jako swojego rodzaju pomoc techniczną przy wykonywaniu pomiarów lub obliczeniach numerycznych, ale trudno by mu było nawet dokładnie wyjaśnić, czemu jego wysiłki mają służyć. Wydaje mi się, że koła naukowe na fizyce, w każdym razie aż do trzeciego roku studiów, skazane są na to, by były kołami samokształceniowymi, a nie naukowymi w ścisłym tego słowa znaczeniu. Jednakże studentom brakuje czasu na takie sterowane samodzielnie przez siebie dokształcanie się i poszerzanie swoich wiadomości. Czasu brak tym bardziej na uczestniczenie w życiu ogólnokulturalnym, na dorywcze choćby zapoznawanie się z dorobkiem innych nauk itp.

Kołem naukowym brak jednak także koncepcji działania. Wydaje mi się, że jednym z rozwiązań mogłoby być studiowanie, pod opieką doświadczonych pracowników naukowych, prac „klasyków” fizyki, co poza lepszym i głębszym zrozumieniem fizyki przyniosłoby studentom zapewne zysk dodatkowy w postaci nauki twórczego myślenia.

Bolączką studiów fizycznych są też braki czysto materialne. Poza tymi, które dokuczają studentom wszystkich właściwie specjalności i wydziałów, jak małe nakłady i wysokie ceny podręczników, jak trudne warunki życia w domach akademickich, jak brak lub

zatłoczenie stołówek i studenckich przychodni medycznych, pojawia się trudność charakterystyczna dla wszystkich nauk eksperymentalnych, a mianowicie duże niekiedy zatłoczenie i nienajlepsze wyposażenie laboratoriów dydaktycznych. Fizyka wymaga dużo miejsca i w rzadko której uczelni ma go dosyć. Ideą byłoby na przykład, gdyby zajęcia na I pracowni nie musiały wyprzedzać z nadmiernym programem wykładu z podstaw fizyki. W obecnych warunkach nie można sobie jednak pozwolić na to, by część sal i przyrządów leżała odłogiem czekając na to, aż wykład posunie się odpowiednio daleko. Słabe często wyposażenie ośrodków akademickich w komputery utrudnia też wczesne przyzwyczajanie studentów do stosowania w praktyce nowoczesnych metod analizy danych doświadczalnych.

Jedną z przeszkód na drodze do zmniejszenia odsiewu jest znaczna liczebność grup ćwiczeniowych. Utrudnia to indywidualizację pracy ze studentem i nie sprzyja dostrzeganiu specyficznych trudności poszczególnych osób. Wprawdzie w wielu uczelniach organizowane są studia trybem indywidualnym, ale ich organizacja jest, moim zdaniem, wadliwa.

Powstają bowiem pytania, czemu właściwie powinny takie studia służyć? czy mają uczyć szybciej? czy tylko najlepszych? kiedy powinny się rozpoczynać? Zasadniczo można chyba powiedzieć, że indywidualizacja studiów powinna mieć jako cel zasadniczy przemianę nauki w studiowanie. Studiowanie zakłada bowiem świadomy, dostosowany do własnych zainteresowań i możliwości wybór materiału, samosterowanie własnym procesem dydaktycznym. Nie widać powodów, aby miało to dotyczyć wyłącznie studentów najlepszych. Można by chyba paradoksalnie powiedzieć, że studia indywidualne są bardziej potrzebne studentom słabszym niż tym najlepszym. Ogólna dostępność studiów indywidualnych nie sprzyjałaby też powstawaniu ujemnych skutków stratyfikacji poszczególnych lat studenckich, z których wyobcowują się po krótkim czasie studenci najlepsi wyłączeni z ogólnego systemu nauczania. Ma to niekorzystne skutki w życiu grup studenckich. Studenci średni pozbawieni są dopingowania w postaci najlepszych kolegów. Cała grupa traci możliwość uczestniczenia w stojących na wyższym poziomie dyskusjach, wysłuchania bardziej dociekliwych pytań i zapoznania się z mniej typowymi metodami rozwiązywania problemów, na które mógłby wpaść lepszy student.

Na zakończenie tych rozważań chciałbym poruszyć zagadnienie trochę odrębne, aczkolwiek uzupełniające zarysowany tu obraz. Mam na myśli fizykę jako przedmiot wykładany na innych kierunkach studiów, a więc poza wydziałami fizyki. Fizyka, jako podstawa wielu innych nauk, a także działalności praktycznej, stanowić powinna, jak należałoby się spodziewać, jeden z głównych elementów kształcenia na wielu kierunkach uniwersyteckich i pozauniwersyteckich.

Tymczasem sytuacja jest zupełnie inna, mówiąc krótko, po prostu niedobra. Fizyka objęta jest planem studiów na następujących kierunkach uniwersyteckich: matematyce, chemii, biologii i geologii, jest też wykładana na politechnikach, akademiach medycznych i rolniczych. Od wielu lat obserwuje się nieustanne uszczuplanie liczby godzin i w konsekwencji zakresu wykładanego materiału przeznaczanego na fizykę na wszystkich tych kierunkach. Pamiętam doskonale, że gdy studiowałem fizykę przed trzydziestu laty, moi koledzy matematycy przechodzili wraz ze mną pełny wykład fizyki doświadczalnej przez dwa lata i odbywali zajęcia na pracowni fizycznej. Dziś z tego wszystkiego pozostało 60 godzin wykładu i 60 — konwersatorium. Podobnie jest wszędzie. W niektórych wypad-

kach (akademie medyczne) liczba godzin przeznaczonych na fizykę jest karykaturalna i wręcz nie wiadomo, czy nie byłoby lepiej w ogóle zajęć tych zaniechać niż prowadzić je w tak okrojonych rozmiarach.

Można się zastanawiać nad przyczynami takiego właśnie przebiegu wydarzeń. Wpłynęło nań na pewno wiele elementów: i rozrost specjalizacji na wielu kierunkach badań, i konieczność wyliczania się rosnącej liczby pracowników naukowych z pensum dydaktycznego (co powoduje wypychanie z programów „obcych” kierunków) i słabe zainteresowanie samego środowiska naukowego fizyków sprawami badań interdyscyplinarnych i z zakresu zastosowań, a wreszcie stopniowo zmieniający się na niekorzyść społeczny obraz fizyki. Nie ulega wątpliwości, że to odsuwanie fizyki na plan dalszy w konsekwencji szkodzi innym kierunkom badań i zastosowań technicznych. Matematyk, który nie zna choć trochę fizyki, będzie miał uboższe pole skojarzeniowe i będzie mu trudniej rozmawiać z ludźmi spoza jego specjalności. Inżynier nie znający fizyki będzie miał kłopot z opanowaniem nowych technologii, z aktualizacją swojej wiedzy fachowej, będzie mniej twórczy, a jego twórczość — mniej głęboka. Niezależnie jednak od strat, które w efekcie ponoszą inni przez zaniedbywanie fizyki, my sami, fizycy, też na tym tracimy. Tracimy miejsca pracy, tracimy prestiż społeczny, a przede wszystkim tracimy możliwość współuczestniczenia w tworzeniu wartości społecznych i cywilizacyjnych.

4. Wnioski

Wydaje mi się, że referat ten nie byłby pełny, gdybym po przedstawieniu obrazu sytuacji, moim zdaniem alarmującego, nie zaproponował podjęcia pewnych działań, które zresztą przez wiele ośrodków i wielu kolegów mniej czy bardziej systematycznie są już podejmowane. Te wnioski praktyczne i propozycje można by podzielić na kilka grup, zależnie od tego, do kogo są one skierowane.

Niewątpliwie największy pakiet propozycji musi być skierowany do nas samych, do całego naszego środowiska. Jeśli bowiem można chyba uznać, że działalność badawcza w fizyce rozwija się u nas prawidłowo, to wiele innych składowych naszej potencjalnej działalności jest zaniedbanych. Sytuacja jest teraz taka, że mówiąc półzartem, każdy fizyk powinien być w jakimś stopniu „misjonarzem” swojej dyscypliny. Działalność popularyzacyjna, szczególnie wśród młodzieży, akcje pro-rekrutacyjne wszelkiego rodzaju, powinny być jednym z naczelných zadań naszego środowiska. Wymaga to znacznej intensyfikacji kontaktów środowiska akademickiego ze szkołami przed-wyższymi i ze środowiskiem nauczycieli fizyki. Jest potrzebna szeroko rozwinięta akcja odczytowa, są potrzebne zajęcia ze szkolnymi kołami fizyków, są potrzebne konsultacje dla nauczycieli, jest potrzebna pomoc materialna dla szkół w postaci zbędnych przyrządów, nieprzydatnych do pracy naukowej i dydaktycznej na poziomie wyższym, jest potrzebne obejmowanie patronatem uczelni wyższych choćby niektórych szkół średnich, są potrzebne obozy letnie dla uczniów z udziałem pracowników uczelni wyższych, jest potrzebny udział nauczycieli akademickich w szkołach i międzyszkolnych konkursach na najlepszego fizyka, są potrzebne liczne i stojące na wysokim poziomie artykuły, audycje i książki popularnonaukowe. Przede wszystkim zaś są potrzebne stojące na możliwie najwyższym poziomie podręczniki szkolne z fizyki, w których przygotowaniu muszą wziąć udział pracownicy uczelni wyższych.

Nasze środowisko musi też zwiększyć zainteresowanie badaniami w zakresie dydaktyki fizyki i dopomóc tej dyscyplinie w jej trudnych początkach w Polsce (por. artykuł w *Postępach Fizyki* 30, 265 (1979)).

Na terenie uczelni wyższych konieczne są prace nad doskonaleniem programów nauczania, podręczników akademickich, w tym — być może — specjalnych podręczników dla kierunków nauczycielskich, a przede wszystkim usilne starania o zmniejszenie odsiewu. Traćmy jak najmniej spośród tych, których z takim trudem udało się nam na fizykę zwerbować.

Wszystkie te starania przyniosłyby większy efekt, gdyby nasze środowisko umiało zarazem aktywniej rozwijać badania interdyscyplinarne i z zakresu zastosowań. W pewnej perspektywie czasowej przyniosłoby to również zysk w postaci zwiększonej liczby miejsc pracy dla fizyków kończących studia.

Wiadomo jednak, że nie wszystko zależy tylko od nas samych. Musimy wystąpić z konkretnymi postulatami pod adresem zarówno Ministerstwa Oświaty i Wychowania, jak i Ministerstwa Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki. Od pierwszego z tych resortów powinniśmy domagać się znacznej intensyfikacji prac nad udoskonaleniem programu fizyki w szkole X-letniej i postulować udział fizyków w opracowaniu programu dla przyszłej szkoły dwuletniej. Następnie powinniśmy zwracać uwagę na konieczność otoczenia nauczyciela fizyki szczególnie troskliwą opieką, m. in. przez poprawę jego warunków pracy, utworzenie wojewódzkich centrów naprawy sprzętu laboratoryjnego, powiększenie (wydatne) liczby wizytatorów-metodyków (nawet dwukrotne nie byłoby zbyt wielkie), powiększenie powierzchni przeznaczonej na pracownie fizyki, umożliwienie dzielenia klas na grupy ćwiczeniowe przy mniejszej liczbie uczniów niż 36 (może choćby 30?) itd. Aktywny współdziałanie aparatu administracyjnego Ministerstwa Oświaty w koniecznej akcji rekrutacyjnej jest rzeczą niezbędną, musi więc powstać powszechny klimat wzajemnego zaufania i współpracy.

Do resortu szkolnictwa wyższego powinniśmy zwrócić się z prośbą o nadzwyczajnie pomniejszenie liczebności grup studenckich na studiach fizyki w celu umożliwienia otoczenia każdego studenta indywidualną opieką. Musimy też zdecydowanie domagać się wydatnego uwzględnienia fizyki w programach innych kierunków akademickich i studiów technicznych.

Miejmy nadzieję, że te i inne działania, które będą podjęte przez nasze środowisko, zdołają jeszcze w porę wyprowadzić fizykę z trudnej sytuacji, w której się ona obecnie znajduje.

Autor pragnie złożyć najserdeczniejsze podziękowania za życzliwą i miłą współpracę przy udostępnieniu, a nawet wyszukaniu danych liczbowych, na których opiera się niniejszy artykuł, przedstawicielom następujących instytucji:

A. Departamentu Kształcenia Ogólnego MOiW.

B. Departamentu Studiów i Badań Uniwersyteckich, Pedagogicznych i Ekonomicznych MNSzWiT

C. Instytutu Kształcenia Nauczycieli.

Szczególne podziękowania składam na ręce mgr Władysławy Piwońskiej oraz mgr Barbary Roykiewicz.

N O W O Ś C I N A U K O W E

*Masanori Murakami*Fusion Energy Division
Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA*Harold P. Eubank*Princeton Plasma Physics Laboratory
Princeton University, New Jersey, USA**Najnowsze wyniki doświadczeń z tokamakami *****Recent Progress in Tokamak Experiments**

Abstract: Plasmas confined by magnetic fields in a toroidal geometry can reach confinement times, densities and temperatures approaching those needed for producing useful fusion energy.

W roku 1968 w Nowosybirsku, podczas konferencji na temat kontrolowanej syntezy jądrowej, grupa L. A. Arcymowicza z Instytutu im. Kurczatowa w Moskwie przedstawiła przekonujące dane świadczące o tym, że w dziedzinie badań nad ograniczaniem i utrzymaniem plazmy duże nadzieje na przyszłość rokuje pewna prosta metoda nadawania plazmie konfiguracji pierścieniowej. Nazwa pierwszego ich urządzenia — tokamak — jest dziś powszechnie używana jako nazwa ogólna wszelkich urządzeń tego typu [1]. Sukces radziecki spowodował tak szybki rozwój badań nad tokamakami, że o ile w r. 1968 było zaledwie 9 takich urządzeń — wszystkie w ZSRR, to teraz ich liczba przekracza 100 i znajdują się one w ZSRR, USA, Europie, Japonii i w kilku innych krajach.

Plazmę w tokamaku, w toroidalnej komorze próżniowej, utrzymuje silne pole magnetyczne skierowane wzdłuż torusa oraz pole słabsze wytwarzane przez prąd płynący w samym pierścieniu plazmowym. Słabe, pionowe (tj. prostopadłe do płaszczyzny torusa — A. S.) pole magnetyczne służy do zapewnienia stałego położenia pierścienia plazmowego, równoważąc ekspansyjne działanie sił hydromagnetycznych i ciśnienia. Prąd w plazmie jest indukowany zewnętrznym polem magnetycznym, przy czym plazma gra rolę jedno-

* Artykuł opublikowany w *Physics Today* 32 (5), 25 (1979), został przetłumaczony z zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission, Copyright © 1979 by American Institute of Physics] (Przyp. Red.)

zwojowego wtórnego uzwojenia transformatora. Przepływowi tego prądu towarzyszy opornościowe grzanie plazmy. To grzanie omowe jest najprostszym i najwydajniejszym sposobem otrzymania stosunkowo gorącej i gęstej plazmy, choć ogólnie uważa się, że doprowadzenie plazmy do temperatur termojądrowych będzie wymagało jeszcze dodatkowego grzania.

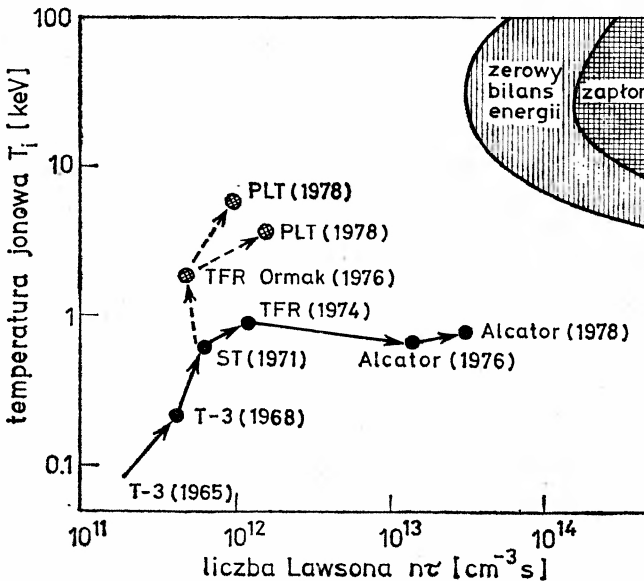
W niniejszym artykule przedstawimy pokrótce stan eksperymentów z tokamakami. W ostatnich badaniach wyeliminowano wiele efektów spowodowanych zanieczyszczeniami i niestabilnościami makroskopowymi plazmy, które ograniczały działanie wcześniejszych tokamaków. Niedawno dokonano też znacznego postępu w technice iniekcji wiązek neutralnych oraz w innych metodach dodatkowego grzania plazmy. Do oceny funkcjonowania urządzenia termojądrowego można posłużyć się kilkoma parametrami: temperaturą jonów T_i , czasem utrzymania τ oraz gęstością liczbową plazmy n . (Iloczyn $n\tau$ zwany jest liczbą Lawsona). Całkiem niedawno uzyskano nowe rekordowe wartości tych parametrów [2] (por. także *Physics Today* 31 (11), 17 (1978)):

$\tau = 100$ ms (działający w Princeton tokamak PLT — Princeton Large Torus),

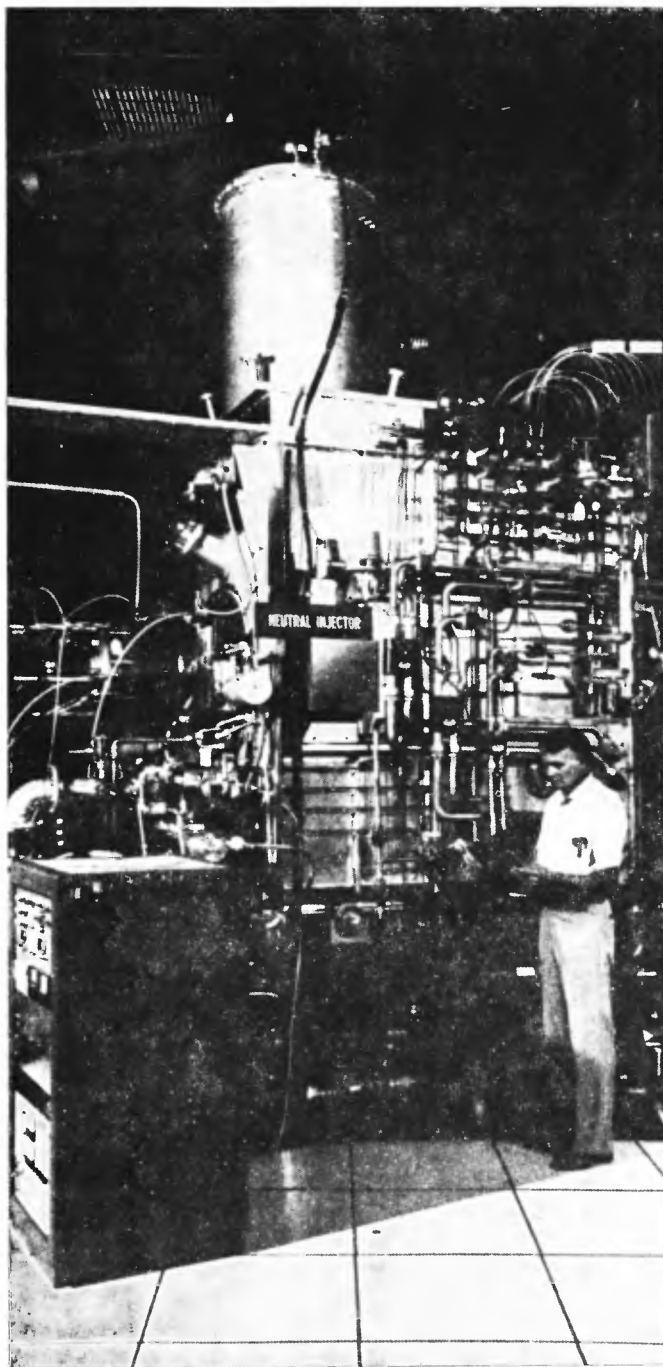
$n\tau = 3 \cdot 10^{13}$ cm⁻³s (tokamak Alcator w Massachusetts Institute of Technology),

$T_i = 6,5$ keV = $7 \cdot 10^7$ K (tokamak PLT, z iniekcją wiązek neutralnych).

Podane tu liczby są już bardzo bliskie wartościom wymaganych w reaktorze termojądrowym, które wynoszą: $n\tau \approx 10^{14}$ cm⁻³s, $T_i \approx 10$ keV. Obiecujący jest zwłaszcza wynik uzyskany w tokamaku PLT metodą iniekcji wiązek neutralnych. Wynik ten oznacza bowiem, że przy małej częstotliwości zderzeń utrzymanie energii elektronów i jonów nie ulega pogorszeniu, wbrew przewidywaniom teorii niestabilności cząstek schwytych. Ten wniosek, w połą-



Rys. 2. Diagram ilustruje postęp dokonany w dziedzinie doświadczeń z tokamakami, oceniany osiągniętą temperaturą jonową i liczbą Lawsona. Kółka czarne odpowiadają doświadczeniom z grzaniem czysto omowym. Kółka zakreskowane odpowiadają doświadczeniom z dodatkowym grzaniem wiązkami neutralnymi



Rys. 1. Skonstruowany w Plasma Technology Section w Oak Ridge National Laboratory iniektor wiązek neutralnych, który współpracował z urządzeniem ISX-B w ORNL. Cztery podobne urządzenia współpracują z tokamakiem PLT w Princeton Plasma Physics Laboratory. Iniektor wytwarza wiązkę obojętnych atomów wodoru lub deuteru o dużym natężeniu i wprowadzają do gorącej plazmy w tokamaku znajdującym się z prawej strony, poza rysunkiem

czeniu z wynikami uzyskanymi w innych tokamakach, stanowi dobry prognostyk dla eksperymentów z większymi tokamakami oraz dla projektowanych reaktorów termojądrowych opartych na tokamaku.

1. Dodatkowe grzanie plazmy

Ciepło dostarczane plazmie musi skompensować straty związane z promieniowaniem i przewodnictwem cieplnym oraz spowodować podniesienie temperatury do odpowiednio dużej wartości. Ilość energii, której można dostarczyć plazmie stosując grzanie omowe, jest ograniczona zjawiskiem malenia oporności plazmy wraz ze zwiększaniem się jej temperatury oraz tym, że gęstości prądów płynących w plazmie nie mogą być zbyt duże, aby nie wywołać niestabilności. Jak wynika z obliczeń, nie można doprowadzić temperatury plazmy do wartości zapłonu stosując wyłącznie klasyczne grzanie omowe, zwłaszcza w urządzeniu o rozmiarach projektowanych reaktorów, przy gęstościach plazmy rzędu kilka razy 10^{14}cm^{-3} .

Jakie więc mamy możliwości, jeśli zgodzimy się, że do osiągnięcia warunków pracy reaktora potrzebne będzie jakieś dodatkowe grzanie? Do metod już zaproponowanych i przetestowanych w tokamakach należy grzanie kompresją, promieniowaniem elektromagnetycznym wielkiej częstości oraz wiązkami neutralnymi. Wszystkie te metody wydatnie zwiększają temperaturę jonową, bądź elektronową, a niekiedy obie temperatury jednocześnie. Grzanie kompresją stanowiło przedmiot specjalnych badań w pracującym w Princeton urządzeniu ATC (Adiabatic Toroidal Compression). Zwiększanie składowej pionowej natężenia pola magnetycznego powodowało w tym urządzeniu zmniejszanie się obu promieni toroidalnego obszaru zajmowanego przez plazmę. Z badań tych wynika, że jeżeli czas kompresji jest odpowiednio krótki w porównaniu z charakterystycznym czasem malenia całkowitej energii plazmy, to kompresja adiabatyczna powoduje zwiększanie się temperatury w stosunku $C^{4/3}$, gdzie C — współczynnik kompresji (tj. stosunek objętości początkowej do końcowej — A.S). Uzyskiwanie dużych wartości współczynnika kompresji (w urządzeniu ATC osiągał on wartość 2,3) byłoby jednak bardzo kosztowne z uwagi na konieczną dużą wartość stosunku objętości obszaru toroidalnego pola magnetycznego do objętości plazmy. Wydaje się, że w przyszłości rola grzania kompresją w tokamakach polegać będzie na niewielkim kompresyjnym zwiększeniu gęstości i temperatury, aby spowodować przekroczenie progu zapłonu lub bilansu zerowego, do którego przybliżyliśmy się w inny sposób.

W ostatnich latach wypróbowano z powodzeniem metodę dodatkowego grzania plazmy promieniowaniem elektromagnetycznym wielkiej częstości. Używano przy tym fal o częstościach równych jonowej częstości cyklotronowej (dziesiątki MHz) oraz dolnej częstości hybrydowej (setki MHz). W wyniku dokonanego niedawno postępu w dziedzinie urządzeń mikrofalowych wielkiej mocy (ok. 200 kW) pracujących w zakresie częstości ok. 30 GHz, do konkurencji być może dołączy grzanie promieniowaniem elektromagnetycznym o częstości równej elektronowej częstości cyklotronowej. Atrakcyjność tych metod grzania wynika z łatwości wytwarzania i przesyłania mocy wielu megawatów za pomocą fal elektromagnetycznych o częstościach zbliżonych do jonowej częstości cyklotronowej lub dolnej częstości hybrydowej. Odnosi się to zwłaszcza do promieniowania w zakresie dolnych częstości hybrydowych, do którego przesyłania można użyć falowodów i elementów

sprzęgających o stosunkowo niewielkich rozmiarach. Interpretacja wyników uzyskanych w eksperymentach z grzaniem plazmy przy tych częstościach była skomplikowana, ponieważ rozmiary używanych tokamaków były małe w porównaniu z rozmiarami orbit jonów nadtermicznych, generowanych przez przyłożone pola wielkiej częstości. Szczegółowa ocena metody grzania plazmy promieniowaniem elektromagnetycznym wielkiej częstości przekraczałaby ramy tego artykułu. Wydaje się wszakże rzeczą jasną, że tego typu metodę grzania, zapewniającą uzyskanie warunków utrzymania i mocy niezbędnych do tego, by drogą bezpośredniej ekstrapolacji wyników można było przewidzieć przebieg podobnych doświadczeń w urządzeniach o rozmiarach reaktorów termojądrowych, należy dopiero opracować. Niemniej pewną liczbę takich eksperymentów się projektuje, a realizacja kilku już się rozpoczęła. Z doświadczeń nad grzaniem plazmy promieniowaniem o częstości równej jonowej częstości cyklotronowej na uwagę zasługują przede wszystkim eksperymenty realizowane w Princeton (tokamak PLT; moc generatora będzie osiągała 5 MW) i w Fontenay-aux-Roses (urządzenie TFTR-600). Eksperymenty nad grzaniem plazmy promieniowaniem elektromagnetycznym o częstości równej dolnej częstości hybrydowej planuje się w Princeton (tokamak PLT) i we Frascati (Włochy), o mocach nieco powyżej 1 MW, a także w MIT (tokamak Alcator C), o przewidywanej mocy ok. 3 MW.

Najpowszechniej stosowaną, uwieńczoną największymi sukcesami i najlepiej od strony teoretycznej wyjaśnioną metodą dodatkowego grzania plazmy jest dziś metoda iniekcji wiązek neutralnych z izotopów atomu wodoru. Wiązki takie otrzymuje się przyspieszając jony pochodzące z dużych, konwencjonalnych źródeł. Rozpędzone jony ulegają następnie neutralizacji w wyniku przyłączania elektronów odbieranych nie przyspieszonym atomom, które wylatują wraz z jonami ze źródła. Technika wytwarzania wiązek neutralnych o dużym natężeniu szybko się dziś rozwija. Dysponujemy obecnie metodami wytwarzania wiązek neutralnych o mocy rzędu megawatów i energii cząstek od 50 do 100 keV. Osiągnięcie tych wartości kilka lat temu wydawało się niemożliwe. Wszystkie te sukcesy wcale jednak nie oznaczają, że grzanie wiązkami neutralnymi spełnia wszystkie wymagania stawiane idealnemu układowi dodatkowego grzania plazmy. Znane są, wciąż nie rozwiązane, problemy dotyczące efektywnego wnikania wiązek do plazmy w projektowanych dużych tokamakach z plazmą o dużej gęstości. I tak np., z uwagi na to, że przekrój czynny na przyłączanie elektronów przez jony szybko maleje, gdy prędkość względna cząstek przekroczy $2 \cdot 10^8$ cm/s, wytwarzanie wiązek neutralnych o dużym natężeniu i energiach cząstek przekraczających ok. 100 keV jest bardzo trudne. Jeden ze sposobów ominięcia tej trudności polega na użyciu źródeł jonów ujemnych. Wiązka neutralna powstaje wówczas nie w wyniku reakcji przyłączania elektronów, lecz jako rezultat reakcji zdzierania (*strippingu*). Systemy grzania wiązkami neutralnymi są ciągle jeszcze bardzo złożone i kosztowne (powyżej 1 \$ na 1 W dostarczanej mocy) i jest rzeczą całkiem możliwą, że w przyszłości zostaną opracowane inne, równie skuteczne lecz tańsze metody grzania.

2. Stabilność makroskopowa

Pierwszym etapem w każdym eksperymencie z magnetycznym ograniczaniem plazmy jest otrzymanie plazmy makroskopowo stabilnej. Kluczową rolę w tokamaku, i to zarówno z punktu widzenia stabilności, jak i utrzymania oraz grzania plazmy, odgrywa płynący

w plazmie prąd. Poloidalne pole magnetyczne B_p , towarzyszące prądowi w plazmie, nakłada się na pole toroidalne B_ϕ wytwarzane przez prąd płynący w uzwojeniach. Linie sił pola wypadkowego są liniami śrubowymi. Konfigurację pola można opisać „współczynnikiem bezpieczeństwa” q ,

$$q(r) = r B_\phi / R B_p,$$

gdzie R — duży promień torusa, r — odległość od osi (pierścieniowej) kolumny plazmowej. Współczynnik q ma prosty sens geometryczny: na 1 obieg linii sił pola w kierunku poloidalnym (tj. wokół osi kolumny plazmowej — A.S.) przypada q jej obiegów w kierunku toroidalnym. Śrubowa konfiguracja pola zabezpiecza plazmę przed rozwijaniem się w niej prostej niestabilności przewężeniowej (*sausage instability*), w której kolumna plazmowa jest ściskana swym własnym polem magnetycznym. Istnieją jednak inne niestabilności, których wystąpienie zmniejsza skuteczność utrzymywania plazmy. Wszystkie te niestabilności przyjęto dzielić na dwie klasy: niestabilności opisywane teorią makroskopową — magnetohydrodynamiką, oraz te, które można opisać jedynie teorią mikroskopową, kinetyczną. Tych ostatnich nie rozumiemy jeszcze tak dobrze, jak pierwszych. W plazmie wytwarzanej w tokamakach obserwuje się zaburzenia makroskopowe trzech głównych typów:

- niestabilności rozrywające,
- drgania Mirnowa,
- wewnętrzne niestabilności rozrywające.

Niestabilność rozrywająca jest to nagle, nie dające się zwykle przewidzieć „pęcznienie” kolumny plazmowej połączone z wystąpieniem ostrego minimum siły elektromotorycznej warunkującej przepływ prądu w plazmie, tj. siły elektromotorycznej mierzonej wzdłuż kolumny plazmy. Podczas jednego wyładowania może wystąpić wiele kolejnych słabych niestabilności rozrywających, natomiast pojawienie się silnej niestabilności rozrywającej zwykle przerywa przepływ prądu w plazmie. W warunkach danego wyładowania, niestabilności tego rodzaju ograniczają z góry maksymalne osiągnięte wartości natężenia prądu i gęstości plazmy. Poniżej tych maksymalnych wartości krytycznych mody rozrywające samorzutnie nie występują, można je jednak wzbudzić kształtując odpowiednio warunki eksperymentu.

W tokamaku, w zwykłych warunkach eksploatacyjnych, gdy niestabilności rozrywające nie występują, na brzegu plazmy można wykryć małe zaburzenia składowej poloidalnej pola magnetycznego, mające postać drgań śrubowych. Częstości tych drgań (drgania Mirnowa) mają zakres 10—30 kHz. W miarę wzrostu amplitudy drgań Mirnowa maleją czasy utrzymania energii i cząstek. Fakt ten wskazywałby na to, że drgania Mirnowa zwiększają szybkość odprowadzania energii i cząstek od kolumny plazmowej do ścianek komory.

Ostatnie z wyżej wymienionych, wewnętrzne niestabilności rozrywające, zauważono po raz pierwszy podczas pomiarów emisji miękkiego promieniowania rentgenowskiego, a później istnienie ich wykrywano wieloma innymi metodami diagnostycznymi. Niestabilności te przejawiają się drganiami relaksacyjnymi temperatury plazmy (przybierającymi na wykresie kształt zębów piły) [3]. (Promieniowanie rentgenowskie w zakresie od 1 do 20 keV służy do wyznaczania temperatury elektronów — zob. artykuł C. B. Whartona

o diagnostyce plazmy w *Physics Today* 32 (5), 52 (1979)¹). Wewnętrzne niestabilności rozrywające skupiają się w pobliżu centralnej części obszaru wyładowania, a ich wpływ na globalne utrzymywanie plazmy jest zwykle niewielki.

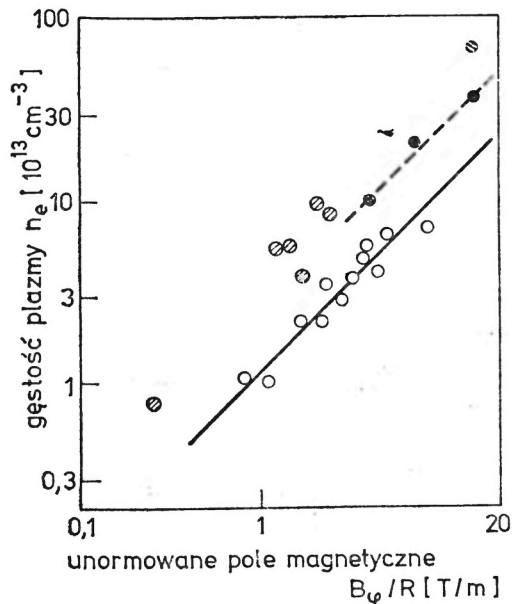
Jak wynika z równań magnetohydrodynamiki, niestabilną reakcję plazmy mogą wywołać zaburzenia śrubowe (*kinks*) o skoku równym skokowi śrubowych linii sił pola magnetycznego. Może się to zdarzyć wówczas, gdy współczynnik bezpieczeństwa q wyraża się liczbą wymierną, tj. gdy $q(r) = m/n$. Jeżeli dla jakiegoś r wartość współczynnika q jest mniejsza od jedności, to plazma jest niestabilna (wartość natężenia prądu w plazmie, której odpowiada $q = 1$ na brzegu plazmy, nosi nazwę wartości granicznej Kruskala-Szafranowa). Niestabilności śrubowe o małym skoku mogą powstawać nawet wówczas, gdy nierówność $q > 1$ obowiązuje w całym obszarze plazmy, o ile tylko warunek rezonansu jest spełniony w punkcie, w którego otoczeniu przewodnictwo plazmy jest małe, stąd nazwa — mody „opornościowe” (*resistive modes*). Linie pola magnetycznego mogą wtedy ulec przerwaniu (co tłumaczy istniejącą w języku angielskim inną nazwę tych niestabilności — *tearing modes*), by następnie zamknąć się w taki sposób, że w pobliżu punktu rezonansu powstaną „wyspy magnetyczne”. Ponieważ zaś wzdłuż linii sił pola zachodzi szybki transport plazmy, więc głównym skutkiem powstawania „wysp magnetycznych” są efekty typu zwarcia w kierunku poprzecznym, co pogarsza warunki utrzymywania plazmy.

Niezły opis obserwowanych własności drgań Mirnowa i wewnętrznych niestabilności rozrywających uzyskuje się rozważając nieliniową ewolucję modów opornościowych [4]. Modele takie tłumaczą też wiele cech niestabilności rozrywających. Jednakże w tym ostatnim wypadku, wskutek trudności natury rachunkowej i doświadczalnej, porównanie eksperymentu z teorią jest mniej pewne. Niemniej wydaje się, że szybkie narastanie odpowiedniego modu opornościowego (w szczególności modu o $m = 2, n = 1$, odpowiedzialnego za drgania Mirnowa) związane jest z występowaniem ostrego maksimum gęstości prądu w pobliżu punktu rezonansowego.

Opracowano różne metody doświadczalne mające zapobiec zwiężaniu się kanału prądowego w plazmie, aby tym samym zmniejszyć szybkość narastania modów opornościowych. Osiągnięto dzięki temu znaczne poszerzenie zakresu parametrów uzyskiwanych w tokamakach, a także istotną poprawę utrzymywania plazmy. Na rys. 3 pokazano, jak zwiększały się maksymalne gęstości plazmy osiąmane w tokamakach. Porównano maksymalne wartości gęstości według danych opublikowanych do połowy lat 70. z analogicznymi danymi uzyskanymi później. Na osi odciętych odłożono stosunek składowej toroidalnej indukcji pola magnetycznego B_ϕ do dużego promienia torusa R (por. [5]), na osi rzędnych zaś podano średnie maksymalne wartości gęstości osiągalne bez wzbudzenia niestabilności rozrywających. Jak wynika z wykresu, w warunkach statycznego napełniania gazem większość punktów leży na jednej prostej. Wskazywałoby to na taki model,

¹ Artykuł „Najnowsze wyniki doświadczeń z tokamakami” został opublikowany w majowym (5) numerze *Physics Today* (1979), poświęconym problemom kontrolowanej syntezy termojądrowej. Oprócz artykułu o tokamakach numer ten zawierał przegląd innych sposobów realizacji kontrolowanej syntezy termojądrowej napisany przez F. F. Chena, oraz artykuły C. B. Whartona o diagnostyce plazmy i H. A. Bethego o urządzeniach hybrydowych. Artykuł F. F. Chena ukaże się w tłumaczeniu polskim w jednym z następných numerów *Postępów Fizyki* (przyp. Red.).

wg którego kurczeniu się kanału prądowego przeciwdziałała moc wydzielana podczas grzania omowego, proporcjonalna, z grubsza biorąc, do stosunku B_ϕ/R . Doświadczenia z urządzeniami Alcator (w MIT) i Pulsator (w Instytucie Fizyki Plazmy w Garching, w RFN) wykazały, że dodatkowe wprowadzanie gazu krótkotrwałymi podmuchami pozwala na osiągnięcie gęstości znacznie większych niż w wypadku techniki napełniania statycznego. Ostatnio uzyskano jeszcze większe gęstości stosując programowane



Rys. 3. Ilustracja praw skalowania — zależność gęstości plazmy od rozmiarów tokamaka oraz indukcji pola magnetycznego. Na wykresie przedstawiono maksymalną wartość uśrednioną wzdłuż linii pola gęstości elektronowej n_e plazmy jako funkcję stosunku indukcji B_ϕ toroidalnego pola magnetycznego do dużego promienia R tokamaka. Zauważmy, że w warunkach statycznego napełniania komory próżniowej (kółka białe) uzyskuje się niższe gęstości niż przy napełnianiu metodą impulsową (kółka zakreskowane i czarne). Ostatnio uzyskane wyniki oznaczone są kółkami zakreskowanymi

impulsowe wdmuchiwanie gazu i dokładając specjalnych starań, by otrzymaną plazmę wodorową utrzymać w stanie jak najwyższej czystości.

Aby zapobiec zwięzaniu się kanału prądowego, w japońskim tokamaku JIPPT-2 w Nagoya oraz w tokamaku Alcator połączono iniekcję gazu ze zwiększeniem gęstości prądu wyładowania przy brzegu kolumny, uzyskując w wyniku „naskórkowe” grzanie plazmy. Zastosowanie niektórych z wymienionych wyżej środków umożliwiło również innym grupom prowadzącym badania z tokamakami osiągnięcie warunków pracy tych urządzeń w zakresie $q(a)$ od 2,0 do 2,5. W tokamaku DIVA zbudowanym w Japan Atomic Energy Research Institute uzyskano warunki stabilnej pracy przy $q = 1,3$.

3. Problem czystości plazmy

Obecność zanieczyszczeń może spowodować zmianę niemal każdej własności plazmy, nie wykluczając omówionej wyżej stabilności makroskopowej. Wpływ domieszki zanieczyszczającej zależy od charakteryzującej ją liczby atomowej Z . Do typowych zanie-

czyszczeń o małej liczbie atomowej należą domieszki tlenu i węgla. Głównym ich źródłem są ścianki komory plazmowej i takich zanieczyszczeń jest w plazmie stosunkowo dużo. Ich wpływ polega przede wszystkim na zmianie efektywnego (tj. średniego) ładunku jonów plazmy, co z kolei odbija się na przewodności plazmy oraz jej własnościach transportowych. Ponieważ w środkowej części kolumny plazmowej atomy takich domieszek są całkowicie zjonizowane, straty na promieniowanie spowodowane ich obecnością występują głównie na brzegu plazmy. Wynikające stąd chłodzenie pociąga za sobą zważanie się kanału prądowego i w konsekwencji wpływa na omówioną powyżej makroskopową stabilność plazmy. Źródłem domieszek zanieczyszczających o dużej liczbie atomowej Z , takich jak np. wolfram i molibden, są zwykle pierścieniowe diafragmy (*limiters*), które umieszcza się w komorze próżniowej, by uniemożliwić kolumnie plazmowej kontakt ze ściankami. Atomy takich domieszek nie ulegają całkowitej jonizacji nawet w temperaturach, jakie panują w centralnej części kolumny plazmowej i dlatego powodowane przez nie w tym obszarze straty na promieniowanie są znaczne.

W najnowszych tokamakach problemowi zanieczyszczeń poświęcono szczególną uwagę, a związane z tym wysiłki bez wątpienia opłaciły się. Do wstępnego przygotowania powierzchni ścianek i usunięcia zanieczyszczeń o małych liczbach atomowych używa się oczyszczającego wyładowania elektrycznego małej mocy (wg pomysłu R. J. Taylora z UCLA). Użycie wyładowania małej mocy ma zapewnić dysocjację wodoru i umożliwić utrzymanie dysocjacji pary wodnej i węglowodorów na jak najniższym poziomie. W wielu ośrodkach badawczych stosuje się nakładanie na ściankę co pewien czas cienkiej warstwy tytanowej (tzw. geteru tytanowego), która pokrywa zaadsorbowane zanieczyszczenia oraz wzmacnia adsorpcję cząstek docierających z peryferyjnych obszarów plazmy. Aby utrzymać niską koncentrację zanieczyszczeń charakteryzujących się dużymi liczbami atomowymi, stosuje się diafragmy z materiałów o małych liczbach atomowych (np. z węgla lub stali nierdzewnej).

W wielu tokamakach zastosowano inną technikę zwiększania stabilności gęstej plazmy, a mianowicie wspomnianą powyżej metodę impulsowego wdmuchiwania gazu. W ten sposób dodatkowe porcje paliwa są dostarczane już po rozpoczęciu wyładowania w gazie rozrzedzonym. Towarzyszące wdmuchiwaniu gazu chłodzenie brzegowego obszaru plazmy ogranicza rozpryski i osłabia oddziaływanie plazmy z diafragmami. W niektórych ośrodkach w walce z zanieczyszczeniami zastosowano bardziej wymyślne metody. Z użytych urządzeń należy wymienić dywertory poloidalne, stosowane w tokamakach DIVA i radzieckim T-12, z Instytutu im. Kurczatowa, a także — dywertory specjalnego typu (*bundle divertors*) zastosowane w tokamaku DITE w W. Brytanii. Dzięki zastosowaniu tego rodzaju środków efektywny ładunek otrzymany w ostatnio zbudowanych tokamakach jest bliski jedności, a straty mocy na promieniowanie wynoszą ok. 1/3 wartości mocy wejściowej.

Z punktu widzenia zachodzących w tokamakach procesów przenoszenia energii wygodnie jest wyróżnić w plazmie dwa obszary: wewnętrzny i brzegowy. Za straty w obszarze brzegowym odpowiedzialne są niemal wyłącznie mechanizmy atomowe. Wymienimy tu straty na promieniowanie uwarunkowane obecnością domieszek oraz straty związane ze zjawiskami wymiany ładunku i jonizacji. W ostatnich eksperymentach z tokamakami udało się zlokalizować procesy atomowe w cienkiej warstwie brzegowej. Stało się to możliwe

dzięki zastosowaniu skutecznych metod kontroli i ograniczania zanieczyszczeń. Przepływ energii z wnętrza plazmy do obszaru brzegowego jest głównie wynikiem zjawisk transportu takich jak przewodnictwo cieplne i konwekcja. W makroskopowo stabilnym wyładowaniu straty te są spowodowane klasycznymi zderzeniami kulombowskimi (transport neoklasyczny) oraz mikroniestabilnościami (transport anomalny).

4. Utrzymywanie energii plazmy

W teorii neoklasycznej [6] procesy transportu zderzeniowego w jednorodnym polu magnetycznym są modyfikowane orbitami cząstek charakterystycznymi dla niejednorodnego pola magnetycznego tokamaka. Składowa toroidalna pola magnetycznego wzrasta wraz ze zmniejszaniem się odległości od środka torusa. Wskutek tego śrubowe linie pola od strony wewnętrznej pierścienia ulegają zagęszczeniu, po stronie zewnętrznej zaś — rozrzedzeniu. W polu o takiej konfiguracji powstają płytkie „jamy magnetyczne”, mogące przechwytywać cząstki plazmy. Cząstki o wystarczająco dużej składowej prędkości w kierunku pola magnetycznego przechodzą bez przeszkód przez takie pułapki i krążą w pierścieniu plazmy względnie swobodnie. Natomiast cząstki, których prędkości są bardziej poprzeczne względem kierunku pola, zostają schwyte i poruszają się w pułapce tam i z powrotem pomiędzy obszarami silniejszego pola magnetycznego. Całkowitą liczbę odbić, jakich może doznać cząstka w swym ruchu między takimi zwierciadłami magnetycznymi, określa parametr ν^* , mający sens unormowanej częstości zderzeń. Jeżeli wartość ν^* jest mała, wówczas plazmę nazywa się bezzderzeniową, a jej cząstki są wyłapywane przez opisane wyżej pułapki i doznają wielu odbić od zamykających pułapkę zwierciadeł magnetycznych (z tego powodu $\nu^* \ll 1$ odpowiada zakresowi parametrów zwanemu również reżymem „cząstek schwytych”). W drugiej skrajnej sytuacji, odpowiadającej $\nu^* \gg 1$, plazmę nazywa się zderzeniową. Średnia droga swobodna cząstek w takiej plazmie jest mała w porównaniu z obwodem pierścienia plazmy. Plazma niskotemperaturowa i o znacznej gęstości jest zwykle plazmą zderzeniową. Zwiększaniu się temperatury lub maleniu gęstości odpowiada natomiast na ogół malenie parametru ν^* .

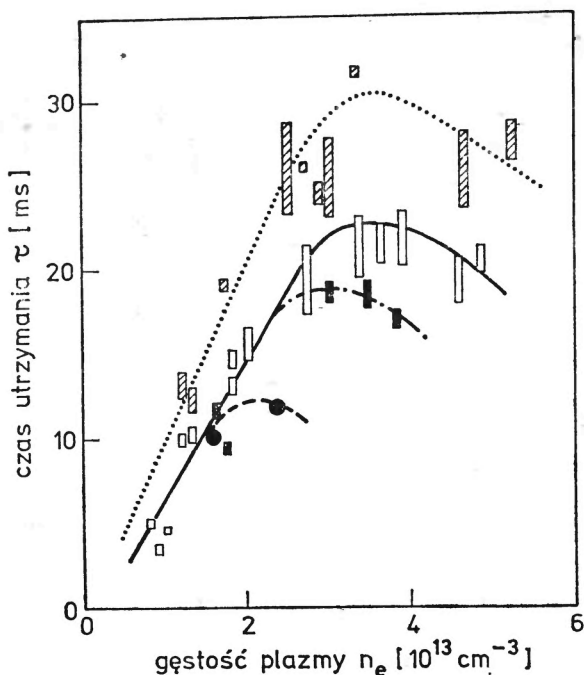
Podstawowym problemem jest stopień zgodności obserwowanych w doświadczeniu przekazów energii elektronów i jonów z odpowiednimi wartościami przewidywanymi przez teorię neoklasyczną. Straty energii jonowej zachodzące w tokamakach w obszarze pośrednim ($\nu^* \simeq 1$) były wielokrotnie badane, a uzyskane wyniki zgadzają się na ogół z dokładnością do czynnika 3—5 z rezultatami teorii neoklasycznej; niekiedy zgodność ta wyraża się nawet czynnikiem równym 2. Plazmę zderzeniową ($1 < \nu^* \leq 8$) o gęstościach dochodzących do 10^{15} cm^{-3} badano w Alcatorze. Wielkości opisujące straty energii jonowej były znów zadowalająco zgodne z wynikami teorii neoklasycznej. Natomiast transport energii elektronowej jest niezgodny z teorią neoklasyczną. W myśl tej teorii straty energii zachodzące za pośrednictwem elektronów powinny być o wiele mniej istotne niż straty związane z jonowym przewodnictwem cieplnym. W rzeczywistości, przy niezbyt dużej gęstości plazmy, w większości doświadczeń z tokamakami stwierdzono coś wręcz przeciwnego. Obserwowane doświadczalnie straty energii związane z elektronowym przewodnictwem cieplnym przewyższają oceny teorii neoklasycznej o czynnik rzędu 10 do 500.

Straty energii i cząstek z kolumny plazmy nasilają się pod wpływem turbulencji spowodowanej różnego rodzaju mikroniestabilnościami. Szczególnie groźnymi niestabil-

nościami, przewidzianymi teoretycznie, są mody związane z obecnością cząstek schwytych [7]. Mody te rozwijają się z małych fluktuacji pola elektrycznego w plazmie, które w warunkach bezzderzeniowych ulegają wzmocnieniu wskutek istnienia cząstek schwytych. Przewiduje się, że niestabilności te powodują gwałtowną dyfuzję masy i energii poza kolumnę plazmową. Doświadczalnie jednak modów tych jeszcze nie zaobserwowano.

5. Prawa skalowania

Przewidywania teoretyczne strat energii plazmy w warunkach zbliżonych do tych, jakie są niezbędne dla syntezy termojądrowej, nie są zbyt pewne. Z tego powodu fizycy związani z tokamakami posługują się empirycznymi prawami skalowania, by dokonywać ekstrapolacji uzyskanych danych doświadczalnych na warunki doświadczalnie jeszcze nie osiągnięte. Zakresy zmienności parametrów używane w poszczególnych tokamakach są dosyć wąskie i dlatego, aby wyprowadzić prawa skalowania, porównuje się dane pochodzące z różnych tokamaków. Szczególnie dużą rolę odgrywa skalowanie w przewidywaniu anomального transportu elektronowego, gdyż nie zidentyfikowano jeszcze podstawowych mechanizmów fizycznych tego zjawiska. Do najważniejszych praw podobieństwa należą te, które wiążą czas utrzymywania energii elektronowej plazmy z takimi parametrami, jak gęstość, temperatura lub rozmiary urządzenia.



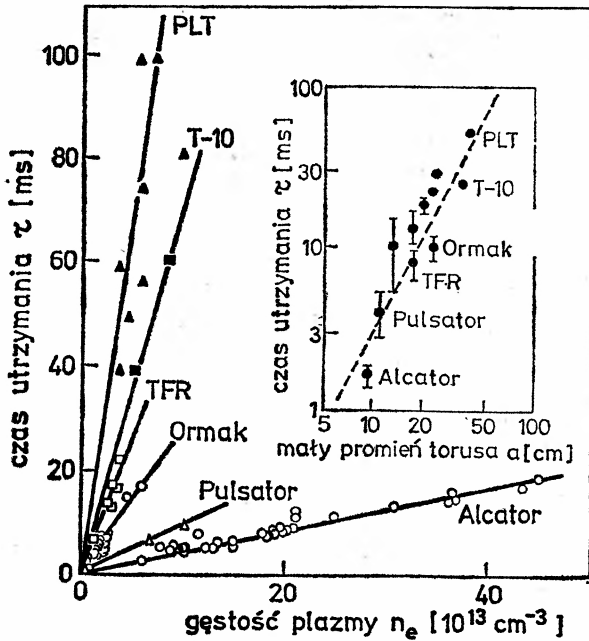
Rys. 4. Globalny czas utrzymania plazmy jako funkcja gęstości uśrednionej wzdłuż linii pola, dla wyładowania przeprowadzonego w urządzeniu ISX-A w deuterze (prostokąty zakreskowane) i w wodorze. Rozmiary prostokątów ilustrują niepewność wyznaczania profilów temperatury jonowej. Dane odnoszące się do wodoru odpowiadają indukcji pola magnetycznego 1,5 T (prostokąty białe), 1,25 T (prostokąty czarne) i 0,8 T (kółka czarne). Dane dotyczące deuteru uzyskano przy 1,25 T

W ustalaniu takich praw skalowania bardzo pomocne okazały się przeprowadzone ostatnio doświadczenia z tokamakami. Dla przykładu przedstawiamy (rys. 4) dane uzyskane w doświadczeniu oznaczonym kryptonimem ISX-A (Impurity Study Experiment), przeprowadzonym w Oak Ridge. W doświadczeniu tym zmieniano gęstość plazmy, a grzanie było wyłącznie omowe [8]. Najwyższa krzywa odpowiada eksperymentowi z deuterem, niższe uzyskano dokonując doświadczeń z wodorem, a każda z krzywych grupuje dane odpowiadające innemu natężeniu pola magnetycznego. Oszacowany globalny czas utrzymania energii elektronowej i jonowej τ najpierw rośnie liniowo wraz z gęstością, lecz następnie osiąga maksimum i być może nawet maleje. Przebieg temperatury jonowej w tym eksperymencie był, jak zwykle, z dokładnością do czynnika 2, zgodny z przewidywaniami teorii neoklasycznej. Bazując na takim z grubsza neoklasycznym utrzymywaniu energii jonowej można wyliczyć czas utrzymywania energii elektronowej i stwierdzić, że nadal rośnie on liniowo wraz z gęstością. Choć jednak czas τ_e utrzymywania energii elektronowej skaluje się proporcjonalnie do gęstości, to jednak utrzymywanie całej plazmy jest ograniczone (zasadniczo neoklasycznym) utrzymywaniem jonów. Grupa prowadząca eksperymenty z Alcátorem (MIT) zaobserwowała podobny przebieg globalnego czasu utrzymania energii określanego w centrum obszaru plazmy. Uzyskane dane wskazują, że czas utrzymywania elektronów skaluje się liniowo ze średnią gęstością aż do gęstości równych $5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. W przygotowywanym eksperymencie Alcator C zwiększenie (do 120 kG = 12 T) osiąganych wartości indukcji toroidalnego pola magnetycznego umożliwi uzyskanie danych odpowiadających większym gęstościom i zapewne dłuższym czasom utrzymywania plazmy. W eksperymencie tym zostanie podjęta próba przebadania własności plazmy w zakresie liczb Lawsona $n \cdot \tau$ aż do wartości $10^{14} \text{ cm}^{-3}\text{s}$, co odpowiada warunkom bliskim zapłonu.

Na rys. 5 przedstawiono wyniki doświadczeń uzyskane w różnych tokamakach [2, 9], obejmujące szeroki zakres zmienności innych parametrów. Jak wynika z wykresów stanowiących główną część rysunku, w większości wypadków czas utrzymania całkowitej energii plazmy skaluje się liniowo z gęstością, przy czym, oczywiście, różnym urządzeniom eksperymentalnym odpowiadają proste o różnych nachyleniach. Ta liniowa zależność czasu utrzymywania energii od gęstości jest najłatwiejszym do wykrycia prawem skalowania w tokamakach. Inne prawa skalowania, związane np. z temperaturą, są trudniejsze do wykrycia. Na przykład w plazmie grzanej wyłącznie omowo temperatura zależy od natężenia prądu płynącego w plazmie, co maskuje rzeczywistą zależność różnych parametrów od temperatury. Możliwość niezależnego zmieniania temperatury istnieje jedynie w warunkach dodatkowego grzania plazmy i tego rodzaju badania zostały już rozpoczęte.

Mniejszy wykres na rys. 5 ilustruje skalowanie urządzeń o różnych rozmiarach. Jak wynika z wartości nachylenia (≈ 2) tego wykresu, sporządzonego w skalach logarytmicznych, czas utrzymania plazmy jest wprost proporcjonalny do kwadratu małego promienia tokamaka. Ponieważ zaś większość danych zebranych na tym wykresie uzyskano w warunkach przewagi strat energii elektronowej nad innymi procesami w plazmie, można więc wyciągnąć wniosek [10], że czas utrzymania energii elektronowej skaluje się wprost proporcjonalnie do wyrażenia $n_e \cdot a^2$. Proporcjonalności do a^2 należałoby się spodziewać w wypadku, gdyby dominującym mechanizmem strat były procesy turbulენტne, które w zakresie zaburzeń krótkofalowych tak właśnie się skalują.

Omówione powyżej wyniki empiryczne, dotyczące skalowania strat elektronowych,



Rys. 5. Skalowanie czasu utrzymania energii przy zmianach gęstości plazmy i rozmiarów tokamaka. Część główna wykresu uwidacznia globalny czas utrzymania energii w funkcji koncentracji elektronów dla różnych urządzeń termojądrowych. W mniejszym prostokącie podano czas utrzymania w funkcji małego promienia tokamaka. Przedstawione dane, uzyskane z interpolacji wyników doświadczalnych, odpowiadają gęstości plazmy równej $3,5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Linia prosta na wykresie sporządzonym w podwójnej skali logarytmicznej wskazuje, że czas utrzymania skaluje się wprost proporcjonalnie do a^2 .

w połączeniu ze zgodnym z teorią neoklasyczną charakterem strat jonowych wskazują, że być może w tokamaku o niezbyt wielkim (a przynajmniej — osiągalnym praktycznie) małym promieniu a uda się wytworzyć warunki zapewniające zapłon reakcji termojądrowej w plazmie. Wyniki uzyskane ostatnio w tokamaku PLT w Princeton wydają się potwierdzać ten optymizm.

6. Grzanie plazmy wiązkami neutralnymi

We wspomnianych powyżej ostatnich eksperymentach z tokamakiem PLT uzyskano po raz pierwszy tak wydajne grzanie plazmy, że wystarczyło ono do wytwarzania plazmy bezzderzeniowej, wymaganej dla działania reaktora termojądrowego. Nie zaobserwowano przy tym wcale zwiększania się strat związanych z transportem elektronowym lub jonowym. W połączeniu z wynikami osiągniętymi w innych tokamakach [11], rezultat ten stanowi pomyślny prognostyk dla dalszych eksperymentów, a w przyszłości — dla reaktorów termojądrowych.

Jak już wspominaliśmy, we wcześniejszych eksperymentach z tokamakami uwidoczniło się skuteczne grzanie jonów, jak również znaczny wzrost temperatury elektronów dzięki grzaniu wiązkami neutralnymi. Interpretacja wyników dotyczących grzania elektronów była jednak do pewnego stopnia utrudniona możliwymi zmianami równowagi lub zmianą

skuteczności grzania omowego spowodowaną zależnymi od zanieczyszczeń zmianami oporności plazmy. Zbudowanie tokamaka PLT, dzięki jego znacznym rozmiarom (duży promień $R = 130$ cm, mały promień $a = 40$ cm), stworzyło możliwość uzyskania dłuższego czasu utrzymania plazmy (w myśl prawa skalowania, $\tau \sim a^2$), a także — możliwość istotnego zwiększenia wejściowej mocy wiązki neutralnej w porównaniu z wcześniej osiąganymi wartościami.

Zastosowany w tokamaku PLT zespół urządzeń do iniekcji wiązek neutralnych składa się z 4 kanałów doprowadzających i 4 źródeł jonowych o napięciu ekstrakcyjnym 40 kV, zaprojektowanych i wykonanych w Fusion Energy Division of the Oak Ridge National Laboratory [12]. Wiązki z dwóch spośród tych źródeł wprowadzane są do plazmy w kierunku zgodnie równoległym do prądu płynącego w plazmie, a dwie pozostałe wiązki — w kierunku przeciwnie równoległym. Grupa z Princeton wybrała to rozwiązanie kilka lat temu, gdy zajmowano się w niej problemami, jakie mogłoby stworzyć przekazanie plazmie określonego pędu toroidalnego. Doświadczenia rzeczywiście wykazały, że zastosowanie iniekcji wprowadzającej pęd toroidalny powoduje wystąpienie toroidalnej rotacji plazmy z prędkościami liniowymi dochodzącymi do 10^7 cm s⁻¹. Równocześnie jednak stwierdzono, że rotacji tej nie towarzyszyły żadne szkodliwe skutki. Obecnie w optymalnych warunkach możliwe jest uzyskiwanie w Princeton wiązek obojętnych atomów wodoru o mocy 400—500 kW z każdego iniektora. Użycie źródła deuterowego pozwoliło dodatkowo wzmoczyć wydajność neutralizacji i zwiększyć moc wiązki z iniektora do 600 kW.

Absorbowanie przez plazmę energii wiązki neutralnej jest wynikiem procesów binarnych prowadzących do produkcji jonów, tj. wymiany ładunków z jonami plazmy i jonizacji w zderzeniach z jonami i elektronami. Do procesów tych należy zaliczyć również podobne oddziaływania z zanieczyszczeniami. Do niedawna sądzono nawet, że przenikanie wiązki przez plazmę silnie zależy od koncentracji zanieczyszczeń. Przeprowadzone ostatnio pomiary, a także teoria wykazały jednak, że zależność ta jest słabsza. Niemniej, w wypadku wiązek o bardzo wielkich energiach należy się spodziewać, że wpływ zanieczyszczeń na skuteczność oddziaływania wiązki z plazmą nie będzie już pomijalny.

Schwytane w wyniku jonizacji wysokoenergetyczne cząstki neutralne przekazują następnie swą energię jonom i elektronom plazmy. Odbywa się to za pośrednictwem wielokrotnych niskokątowych zderzeń kulombowskich. Do opisanego tego przekazu energii używa się często parametru E_c , oznaczającego taką energię cząstki w wiązce, dla której szybkości przekazywania energii jonom i elektronom są sobie równe. Ta wartość krytyczna E_c określana jest wyrażeniem

$$E_c = 15 k T_e K,$$

gdzie T_e — temperatura elektronowa, k — stała Boltzmanna, K — stała bezwymiarowa rzędu 1, zależna od własności zarówno wiązki padającej, jak i samej plazmy. Szybkość przekazywania energii jonom przez wiązkę cząstek o energii E jest proporcjonalna do $E_c^{3/2} E^{-1/2}$, szybkość zaś przekazywania energii elektronom — proporcjonalna do E . Gdy $E = E_c$, wówczas jony plazmy przejmują ok. 75% całkowitej energii wiązki². W więk-

² Wynika to stąd, że równość $E = E_c$ zachodzi jedynie na początku procesu spowalniania wysokoenergetycznego jonu, po czym malejąca stopniowo energia jonu staje się mniejsza od E_c (przyp. Red.).

szości dokonywanych dziś eksperymentów nad grzaniem wiązkami neutralnymi spełniony jest warunek $E \approx E_c$ i większa część mocy wiązki przekazywana jest jonom plazmy. Metoda wiązek neutralnych okazała się więc efektywną metodą grzania głównie w odniesieniu do jonów.

Metody pomiaru temperatury jonowej, stosowane w doświadczeniach z tokamakiem PLT, można podzielić na trzy kategorie. Do pierwszej należą metody analizy masowej i energetycznej szybkich cząstek neutralnych emitowanych z plazmy, które powstają w reakcjach wymiany ładunku. Metody kategorii drugiej polegają na pomiarach dopplerowskiego poszerzenia linii widmowych domieszek zanieczyszczających, leżących w zakresie ultrafioletu i w zakresie promieniowania rentgenowskiego. Trzecia kategoria — to pomiary termojądrowej emisji neutronów, towarzyszącej iniekcji wiązek neutralnych atomów wodoru (H^0) do plazmy deuterowej (D^+). Bardziej szczegółowe omówienie tych technik diagnostycznych można znaleźć w artykule C. B. Whartona w *Phys. Today* **32** (5), 52 (1979). Wskazane jest równoczesne stosowanie rozmaitych metod pomiarowych, ponieważ każda z takich metod daje wyniki obarczone pewną, charakterystyczną dla niej niepewnością. Zgodność wyników uzyskanych różnymi metodami zwiększa ich wiarygodność. Rozbieżności między wynikami pomiarów temperatury nie przekraczają na ogół 10%. W porównaniu z wcześniejszymi wynikami, omówionymi w *Phys. Today* **31** (11) z 1978 r., zaobserwowano obecnie istotny postęp. Grupa z Princeton (tokamak PLT) zarejestrowała temperatury jonowe plazmy wodorowej w zakresie do 6,5 keV, wykorzystując do pomiaru cząstki neutralne wytwarzane w reakcjach wymiany ładunku. Ta sama grupa wyznaczyła również temperaturę jonową zanieczyszczeń, wynoszącą 8,1 keV, stosując metodę pomiaru poszerzenia dopplerowskiego linii widmowej żelaza Fe-XXIV z zakresu ultrafioletu. Grzanie jonów żelaza przez jony pochodzące z wiązki jest bardzo skuteczne, należy więc oczekiwać, że ich temperatura będzie wyższa niż temperatura jonów wodorowych. Jak wynika z obliczeń, różnica ta może dochodzić do 1,7 keV, a więc oba przytoczone wyżej wyniki są w istocie ze sobą zgodne.

Godne uwagi jest osiągnięcie temperatury jonowej wyższej od tej, która jest niezbędna do uzyskania zapłonu w idealnym deuterowo-trytowym reaktorze termojądrowym (ok. 4 keV). Jednakże najbardziej godne uwagi było stwierdzenie, że zależność temperatury jonowej od mocy wiązki pozostaje liniowa w zakresie temperatur odpowiadających plazmie bezzderzeniowej. Jak przewidywano, należało się bowiem liczyć w tym zakresie parametrów ze zwiększonym transportem energii związanym z modami niestabilnymi towarzyszącymi cząstkom schwytanym. W miarę, jak plazma staje się bezzderzeniowa, w wyniku wzrostu temperatury jonów, podnosi się wyraźnie poziom fluktuacji gęstości, co można stwierdzić mierząc rozpraszanie promieniowania mikrofalowego. Dotychczas jednak nie zauważono dostrzegalnego wpływu tego zjawiska ani na bilans energii jonów, ani na tory szybkich cząstek wiązki. Przyrost temperatury jonowej pozostaje wprost proporcjonalny do mocy wiązki i odwrotnie proporcjonalny do średniej koncentracji elektronów (por. rys. 6), mimo że największym wartościom stosunku mocy do gęstości (punkty czarne) odpowiada wzrost fluktuacji aż o rząd wielkości.

Dokonanie iniekcji do plazmy deuterowej (D^+) wiązki o mocy 2,2 MW, składającej się z obojętnych atomów deuteru (D^0) o energiach około 40 keV, spowodowało emisję strumienia neutronów o natężeniu $1,6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$ czyli $2 \cdot 10^{13}$ /impuls (patrz rys. 7), co zgadza

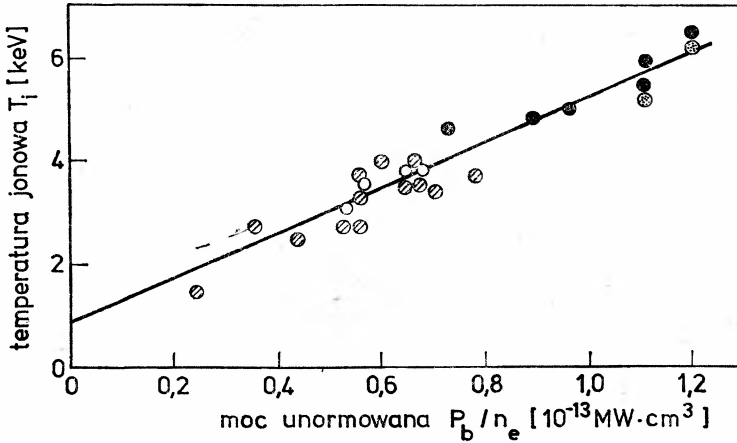
szości dokonywanych dziś eksperymentów nad grzaniem wiązkami neutralnymi spełniony jest warunek $E \approx E_c$ i większa część mocy wiązki przekazywana jest jonom plazmy. Metoda wiązek neutralnych okazała się więc efektywną metodą grzania głównie w odniesieniu do jonów.

Metody pomiaru temperatury jonowej, stosowane w doświadczeniach z tokamakiem PLT, można podzielić na trzy kategorie. Do pierwszej należą metody analizy masowej i energetycznej szybkich cząstek neutralnych emitowanych z plazmy, które powstają w reakcjach wymiany ładunku. Metody kategorii drugiej polegają na pomiarach dopplerowskiego poszerzenia linii widmowych domieszek zanieczyszczających, leżących w zakresie ultrafioletu i w zakresie promieniowania rentgenowskiego. Trzecia kategoria — to pomiary termojądrowej emisji neutronów, towarzyszącej iniekcji wiązek neutralnych atomów wodoru (H^0) do plazmy deuterowej (D^+). Bardziej szczegółowe omówienie tych technik diagnostycznych można znaleźć w artykule C. B. Whartona w *Phys. Today* 32 (5), 52 (1979). Wskazane jest równoczesne stosowanie rozmaitych metod pomiarowych, ponieważ każda z takich metod daje wyniki obarczone pewną, charakterystyczną dla niej niepewnością. Zgodność wyników uzyskanych różnymi metodami zwiększa ich wiarygodność. Rozbieżności między wynikami pomiarów temperatury nie przekraczają na ogół 10%. W porównaniu z wcześniejszymi wynikami, omówionymi w *Phys. Today* 31 (11) z 1978 r., zaobserwowano obecnie istotny postęp. Grupa z Princeton (tokamak PLT) zarejestrowała temperatury jonowe plazmy wodorowej w zakresie do 6,5 keV, wykorzystując do pomiaru cząstki neutralne wytwarzane w reakcjach wymiany ładunku. Ta sama grupa wyznaczyła również temperaturę jonową zanieczyszczeń, wynoszącą 8,1 keV, stosując metodę pomiaru poszerzenia dopplerowskiego linii widmowej żelaza Fe-XXIV z zakresu ultrafioletu. Grzanie jonów żelaza przez jony pochodzące z wiązki jest bardzo skuteczne, należy więc oczekiwać, że ich temperatura będzie wyższa niż temperatura jonów wodorowych. Jak wynika z obliczeń, różnica ta może dochodzić do 1,7 keV, a więc oba przytoczone wyżej wyniki są w istocie ze sobą zgodne.

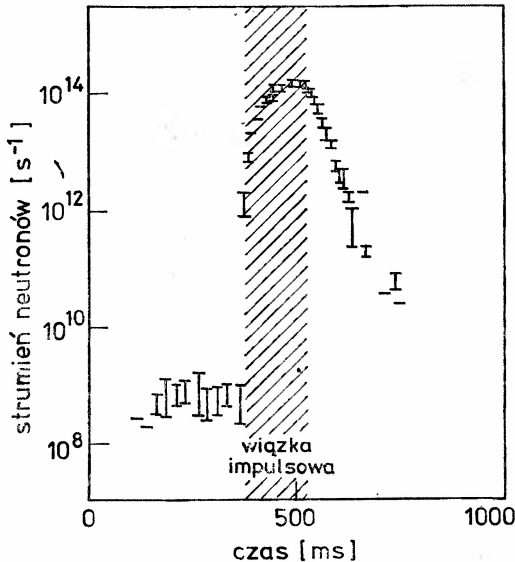
Godne uwagi jest osiągnięcie temperatury jonowej wyższej od tej, która jest niezbędna do uzyskania zapłonu w idealnym deuterowo-trytowym reaktorze termojądrowym (ok. 4 keV). Jednakże najbardziej godne uwagi było stwierdzenie, że zależność temperatury jonowej od mocy wiązki pozostaje liniowa w zakresie temperatur odpowiadających plazmie bezzderzeniowej. Jak przewidywano, należało się bowiem liczyć w tym zakresie parametrów ze zwiększonym transportem energii związanym z modami niestabilnymi towarzyszącymi cząstkom schwytanym. W miarę, jak plazma staje się bezzderzeniowa, w wyniku wzrostu temperatury jonów, podnosi się wyraźnie poziom fluktuacji gęstości, co można stwierdzić mierząc rozpraszanie promieniowania mikrofalowego. Dotychczas jednak nie zauważono dostrzegalnego wpływu tego zjawiska ani na bilans energii jonów, ani na tory szybkich cząstek wiązki. Przyrost temperatury jonowej pozostaje wprost proporcjonalny do mocy wiązki i odwrotnie proporcjonalny do średniej koncentracji elektronów (por. rys. 6), mimo że największymi wartościami stosunku mocy do gęstości (punkty czarne) odpowiada wzrost fluktuacji aż o rząd wielkości.

Dokonanie iniekcji do plazmy deuterowej (D^+) wiązki o mocy 2,2 MW, składającej się z obojętnych atomów deuteru (D^0) o energiach około 40 keV, spowodowało emisję strumienia neutronów o natężeniu $1,6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$ czyli $2 \cdot 10^{13}$ /impuls (patrz rys. 7), co zgadza

się dobrze z przewidywaniami teoretycznymi. Jak wynika z obliczeń, neutrony te pochodzą w równej mierze z oddziaływań wiązka-plazma, co z oddziaływań wiązka-wiązka, przy czym oddziaływania wzajemne cząstek termicznych dostarczają nie więcej niż 10% wszystkich wytworzonych neutronów. Moc termojądrowa wytwarzana w obu kanałach reakcji D-D wynosi 170 W. Odpowiednia moc, która wydzieliliby się w reakcji D-T, oszacowana przez porównanie przekrojów czynnych, wynosi 50 kW.



Rys. 6. Temperatura jonowa w funkcji stosunku mocy wiązki do uśrednionej koncentracji elektronów. Kółka czarne i zakreskowane odpowiadają pomiarom wykorzystującym reakcje wymiany ładunku a zakropkowane i białe odnoszą się do promieniowania jonów żelaza. Należy zauważyć, że liniowy związek temperatury z P/n_e zachodzi zarówno przy silnych fluktuacjach gęstości (kółka czarne i zakropkowane), jak i przy braku fluktuacji (kółka zakreskowane i białe)



Rys. 7. Emisja neutronów w funkcji czasu, zachodząca podczas impulsowej iniekcji neutralnej wiązki deuterowej o mocy 2,2 MW do plazmy deuterowej. Szczytowa moc wyjściowa reakcji syntezy w tym doświadczeniu wynosiła 170W

- gromadzenie się w plazmie zanieczyszczeń podczas impulsów trwających dłużej niż 10 s, w czasie których ścianki pochłaniają dużą energię;
- zbudowanie uzwojeń nadprzewodzących do wytwarzania pola magnetycznego;
- ulepszenie wysokonapięciowych źródeł wiązek;
- opracowanie wydajnych systemów zasilania paliwem, np. układów z iniekcją granuliek zamrożonego paliwa (pellet injectors);
- zrozumienie i zmniejszenie ucieczki cząstek i energii z plazmy.

Aby projekty budowy reaktora termojądrowego zakończyły się sukcesem, konieczne będzie także rozwiązanie technicznych problemów niezawodności poszczególnych urządzeń, opracowanie systemów zdalnego sterowania itp.

Niektóre z tych problemów dotyczą wyłącznie tokamaków, inne są ogólnymi problemami związanymi z syntezą termojądrową. O postępie osiągniętym w doświadczeniach z tokamakami zdecydowało rozwijanie specjalnych technik umożliwiających grzanie i utrzymywanie gorącej plazmy. Sama technika również skorzystała na takiej koncentracji środków na określonym programie eksperymentalnym. Pięknym przykładem takiej współzależności i współpracy fizyki i techniki stało się opracowanie metody iniekcji wiązek neutralnych. Należy żywić nadzieję, że przyszłość przyniesie więcej tego rodzaju sukcesów.

Autorzy pragną podziękować za pomoc przy opracowywaniu tego artykułu swym kolegom z ORNL (Oak Ridge National Laboratory) i PPPL (Princeton Plasma Physics Laboratory); na szczególną wdzięczność pierwszego z autorów zasłużyli J. L. Dunlap, J. T. Hogan i J. L. Lyon, drugi zaś dziękuje zwłaszcza R. Goldstonowi.

Tłumaczył *Andrzej Senatorski*

Institut Badań Jądrowych
Warszawa

Literatura

- [1] Ogólne omówienie problematyki tokamaków można znaleźć w następujących źródłach: L. A. Arcymowicz, *Nucl. Fusion* **12**, 215 (1972); H. P. Furth, *Nucl. Fusion* **15**, 2, 487 (1975); R. F. Post, *Phys. Today* **26** (4), 30 (1973); B. B. Kadomcew, T. K. Fowler, *Phys. Today* **28** (11), 36 (1975); S. O. Dean et al., *Status and Objectives of Tokamak Systems for Fusion Research*, US Atomic Energy Commission, WASH-1295 (1974).
- [2] Dane uzyskane w eksperymentach z tokamakami zrelacjonowano na konferencji w Innsbrucku, w Austrii, w sierpniu 1978 r. Dane te będą opublikowane w *Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research* (Proc. 7 th. Int. Conf.), IAEA, Vienna.
- [3] S. von Goeler, W. Stodiek, N. Sauthoff, *Phys. Rev. Lett.* **33**, 1201 (1974).
- [4] G. Bateman, *MHD Instabilities*, MIT Press, Cambridge, Mass. 1978.
- [5] M. Murakami, J. D. Callen, L. A. Berty, *Nucl. Fusion* **16**, 347 (1976).
- [6] Przegląd teorii neoklasycznej znajdzie Czytelnik w artykule F. L. Hinton, R. D. Hazeltine, *Rev. Mod. Phys.* **48**, 239 (1976).
- [7] Niestabilności związane z obecnością cząstek schwytych omówiono w artykułach: B. B. Kadomcew, O. P. Pogutse, *Nucl. Fusion* **11**, 67 (1971); W. N. Tang, *Nucl. Fusion* **18**, 1089 (1978).
- [8] M. Murakami et al., *Phys. Rev. Lett.* **42**, 655 (1979).
- [9] *Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research* (Proc. 6 th Int. Conf., Berchtesgaden) IAEA, Vienna 1977.

- [10] Skalowanie tego typu, zwane „alcatorowym”, zaproponował R. A. Parker, *Bull. Am. Phys. Soc.* **20**, 1392 (1975).
- [11] J. G. Cordey et al., *Nucl. Fusion* **14**, 441 (1973); K. Bol et al., *Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion* (Proc. 5th Int. Conf., Tokyo) IAEA, Vienna 1975, vol. I, str. 77; L. A. Berry et al., [9], vol. I, str. 49; TFR Equipe, [9], vol. I, str. 69; J. W. M. Paul, et al., *Controlled Fusion and Plasma Physics* (Proc. 8th Europ. Conf., Prague) IAEA, Vienna 1977, vol. II, str. 49; V. S. Vlasenkov et al., [9], vol. I, str. 85.
- [12] J. Kim et al., *Second Topical Meeting on Technology of Controlled Fusion*, NTIS, Springfield, Virginia 1976, str. 1213.
- [13] H. Eubank et al., [2].
- [14] D. Steiner, J. F. Clarke, *Science* **199**, 1395 (1978).

Z E Z J A Z D Ó W I K O N F E R E N C J I

Konferencja na temat ekstremalnych stanów w układach jądrowych w Dreźnie

W dniach od 7 do 9 lutego 1980 r. odbyła się w Dreźnie konferencja pod nieco intrygującym tytułem „stany ekstremalne w układach jądrowych”, zorganizowana przez Ośrodek Badań Jądrowych w Rossendorfzie i Politechnikę Drezdeńską, pod patronatem IUPAP. Uczestniczyło w konferencji około 320 osób, w tym około 100 z NRD, 55 z ZSRR, 48 z RFN, 21 z USA. Delegacja polska liczyła 16 osób. Główny nurt konferencji dotyczył fizyki jądrowej — omawiano reakcje zderzeń ciężkich jonów przy energiach rzędu kilku MeV/nukleon, dotychczasowe poszukiwania pierwiastków superciężkich, stany z wysokimi spinami oraz prace teoretyczne związane z tymi zagadnieniami. Około 20% wszystkich sesji poświęcono problematyce relatywistycznej fizyki jądrowej, a więc fizyce zderzeń jonów przy energiach powyżej 0,5 GeV/nukleon. Ja ograniczę się tutaj do omówienia tylko tych zagadnień.

Badanie zderzeń relatywistycznych jonów rozwija się głównie w dwu ośrodkach, a mianowicie w ZIBJ w Dubnej przy synchrotronie przyspieszającym jony do 5 GeV/nukleon oraz w Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), gdzie osiąga się energie 2 GeV/nukleon. W pracach w LBL uczestniczą aktywnie fizycy z ośrodka GSI w Darmstadt. Z tych właśnie laboratoriów pochodziła większość zgłoszonych prac.

Najciekawsze dla mnie referaty przeglądowe oraz komunikaty na sesjach równoległych dotyczyły głównie następujących zagadnień:

1. Badanie rozkładów jednocząstkowych
2. Poszukiwanie efektów kolektywnych — prace doświadczalne i teoretyczne
3. Projekty nowych akceleratorów
4. Projekty nowych detektorów.

Liczne doświadczenia dotyczące rozkładów jednocząstkowych dla cząstek emitowanych w zderzeniach relatywistycznych jonów pozwoliły określić główne cechy tych zderzeń. Jednocześnie okazało się, że takie rozkłady nie pozwalają na rozstrzygnięcie między różnymi zaproponowanymi mechanizmami modelowymi oddziaływać, jak stwierdzili autorzy referatów przeglądowych, m. in. H. Gutbrod z LBL. Danych takich wciąż przybywa; m. in. na Konferencji przedstawiono nowe i bardzo ciekawe wyniki prac prowadzonych w Instytucie Energii Atomowej im. Kurczatowa w Moskwie na temat emisji protonów w zderzeniach cząstek α i jąder C o energii 3,6 GeV/nukleon z tarczą Pb (A. Antonienko i in.). Wracając do referatu Gutbroda należy dodać, że omówił on obecny stan poszukiwania efektów kolektywnych w zderzeniach relatywistycznych jonów. Zdaniem referenta obecna sytuacja przedstawia się następująco:

a) W zderzeniach lekkich jonów z ciężkimi tarczami (dane z LBL) obserwowano maksima w rozkładzie kątowym cząstek emitowanych z obszaru silnego wzbudzenia w zderzeniach centralnych; maksima te mogą być rezultatem tzw. *side splash* — preferencyjnej produkcji cząstek w kierunku poprzecznym względem osi zderzenia. Zjawisko to było przewidywane przez modele hydrodynamiczne.

b) Badanie temperatury emisji pionów i protonów w zderzeniach jonów o porównywalnej masie doprowadziło do stwierdzenia, że piony mają temperatury niższe niż protony; może to świadczyć o pojawianiu się w wyniku zderzenia tzw. *blast wave* — fali wybuchu.

c) Badanie zależności średniej krotności pionów produkowanych w zderzeniach relatywistycznych jonów od energii wiązki nie wykazuje na razie żadnej anomalii, która by mogła wynikać z istnienia izomerów gęstości.

podpisany, który wygłosił także wykład na posiedzeniu tematycznym zjawisk międzyfazowych (Diffuse Interface Dynamics, praca wspólna z J. S. Langerem z Carnegie-Mellon Univ. w Pittsburghu). Organizatorem konferencji był dobrze znany polskiemu środowisku naukowemu prof. M. G. Velarde. Bez jego wielkiego wkładu pracy i wręcz niewyczerpanej energii Konferencja nie doszłaby do skutku.

Atmosfera Konferencji była prawdziwie „hiszpańska”. Następna Konferencja PCH ma odbyć się w New Yorku (City Univ.). Miejmy nadzieję, że do tego czasu nastąpi bardziej precyzyjne określenie co jest a co nie jest PCH. Uczestnicy Konferencji w Madrycie niewątpliwie będą zainteresowani w dalszym rozwoju i PCH, i kontaktów naukowych wewnątrz tej oryginalnej grupy naukowej.

Lukasz A. Turski

Instytut Geofizyki oraz
Instytut Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Warszawski
Warszawa

Europejska Konferencja Fizyki Materii Skondensowanej Europejskiego Towarzystwa Fizycznego w Antwerpii

W dniach 9—11 kwietnia 1980 r. odbyła się w Antwerpii Doroczna Konferencja Sekcji Materii Skondensowanej (CMD) Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS). W konferencji uczestniczyło ponad 500 fizyków pracujących w tej dziedzinie. Wygłoszono ponad 300 komunikatów z prac własnych oraz ponad 60 tzw. zaproszonych wykładów (invited talk) niemal ze wszystkich dziedzin fizyki materii skondensowanej. Oprócz sesji plenarnych obrady odbywały się w 8 równoległych sesjach. Powszechnie uznano, że konferencja w Antwerpii była wielkim sukcesem CMD EPS. Dotychczasowe konferencje CMD jak np. w 1979 w Warwick były połączone z narodowymi konferencjami Fizyki Ciała Stałego. Konferencja w Antwerpii pomyślana została jako europejski odpowiednik corocznego „Marcowego Spotkania Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego”. Zebrani jednomyślnie poparli koncepcję organizowania tego typu konferencji w przyszłości. Początkowo będą one odbywały się co dwa lata, aby następnie przekształcić się w coroczne ogólnoeuropejskie spotkania fizyków pracujących w dziedzinie materii skondensowanej.

Zakres tematów, które obejmowała konferencja najlepiej przedstawiają tematy niektórych sekcji i tak np. były to: lokalizacja i nieuporządkowanie, metale i stopy, półprzewodniki i półmetale, ekscytyny i krople elektronowo-dziurkowe, fizyka powierzchni, techniki doświadczalne, fale spinowe i magnetyzm, przemiany fazowe, superjonowe przewodniki, kryształy molekularne, nadprzewodnictwo, szkła spinowe, fotoemisja.

Trudno w krótkiej notatce wymienić najciekawsze prace i referaty przeglądowe. Z mojego punktu widzenia obok kilku bardzo interesujących prac z dziedziny fizyki półprzewodników, którą się zajmuje, największe wrażenie zrobiły dwa referaty przeglądowe: prof. J. Silvera z Uniwersytetu w Amsterdamie oraz dr S. Komiyamy z Hamburga.

Pierwszy z nich dotyczył badań atomowego wodoru. Dzięki zastosowaniu silnych pól magnetycznych (~ 11 T) oraz ścianek naczynia pokrytych nadciekłym helem, udało się utrzymać wodór w stanie atomowym przez okres ponad godziny, podczas gdy normalnie po czasie $\sim 10^{-8}$ s atomy wodoru tworzą cząsteczki H_2 . Metoda ta pozwoliła przeprowadzić podstawowe badania wodoru w stanie atomowym.

Drugi referat dotyczył badań galwanomagnetycznych polaronów w kryształach jonowych. Udało się uzyskać w kryształach AgCl ruchliwość polaronów w temperaturach helowych $\sim 200\,000\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{ s}^{-2}$. Silne oddziaływanie z fononami optycznymi w polu magnetycznym staje się źródłem niesłychanie interesującego zachowania się tak ruchliwych polaronów w polu magnetycznym i otwiera nowe możliwości badań galwanomagnetycznych i magnetoptycznych polaronów w kryształach jonowych w silnych polach magnetycznych.

Referaty przeglądowe wydane zostaną nakładem wydawnictwa Plenum Press, natomiast komunikaty z prac własnych w oddzielnym zeszycie prawdopodobnie *Solid State Communication*.

Wśród zaproszonych mówców oprócz fizyków europejskich znalazło się 8 fizyków amerykańskich i jeden japoński. Około 70% zaproszonych referatów wygłoszonych było przez fizyków pracujących na

uniwersytetach, pozostali reprezentowali narodowe centra badań jądrowych i laboratoria przemysłowe. Wyjątkowo mało fizyków z krajów Europy Wschodniej uczestniczyło w konferencji, oprócz dwóch fizyków z Warszawy, którzy wygłosili referaty zaproszone i jednego z Budapesztu nie było nikogo. Wydaje się, że przy następnych tego typu konferencjach należałoby zadbać, aby fizyka polska mogła być reprezentowana w znacznie pełniejszy sposób. Niewątpliwym sukcesem konferencji przypisać należy prof. J. T. Devreese z Uniwersytetu w Antwerpii, który był organizatorem.

Marian Grynberg

Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Warszawski
Warszawa

Informacje dla autorów

Komitet Redakcyjny w celu skrócenia cyklu wydawniczego prosi autorów o opracowywanie materiałów przeznaczonych do druku w „Postęпах Fizyki” zgodnie z podanymi niżej wytycznymi:

1. Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Bardziej szczegółowe wskazówki co do ich charakteru przedstawione są w *Postępy Fizyki* 24, 701 (1973).

2. Maszynopisy pracy (oryginał i jedną pełną — z ryunkami, tablicami itd. — kopię) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja Postępów Fizyki, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres do dalszej korespondencji (do przesłania korekty i honorarium autorskiego). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.

3. Maszynopis winien być napisany na arkuszach formatu A4 jednostronnie, z podwójną interlinią (nie więcej niż 30 wierszy na stronie) i marginesem 3,5 cm z lewej strony.

4. Pierwsza strona maszynopisu winna zawierać imię i nazwisko autora, miejsce pracy z adresem, tytuł pracy w języku polskim i angielskim oraz streszczenie (do 20 wierszy maszynopisu w języku angielskim (angielski tytuł i streszczenie nie są potrzebne do recenzji książek, notatek do kroniki i sprawozdań ze zjazdów i konferencji).

5. Rozdziały, paragrafy, wzory, rysunki, tablice i odsyłacze do literatury (te ostatnie w nawiasach kwadratowych) należy numerować kolejno przy użyciu cyfr arabskich. Prosimy używać liter tylko łacińskich i greckich oraz nawiasów okrągłych (a nie pochylonych kresek), kwadratowych czy sześciennych i wpisywać je ręcznie przy braku odpowiednich czcionek.

6. Wzory należy wpisywać czytelnie, a w szczególności bardzo wyraźnie wpisywać wskaźniki i wykładniki potęg. Symbole wielkości wektorowych należy podkreślić czarnym ołówkiem, gdyż będą wydrukowane tłustym drukiem (nie rysować strzałek).

7. Rysunki należy wykonać starannie na oddzielnych arkuszach w formie 2 do 4 razy większej niż mają być w druku. Napisy, ograniczone do minimum, winny być czytelne i tylko w języku polskim. Na odwrocie rysunku należy podać jego numer, nazwisko autora i pierwsze wyrazy tytułu pracy. Podpisy do rysunków, tablice (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.

8. Wszelkie przypisy i uwagi, numerowane kolejno cyframi arabskimi u góry, winny być zamieszczone nie w spisie literatury, a u dołu strony, na której są odsyłacze.

9. Spis literatury winien być sporządzony według wzoru:

[1] A. Białas, W. Czyż, *Acta Phys. Pol.* B5, 523 (1974).

[2] A. Bohr, B. R. Mottelson, *Nuclear Structure*, t. 1, Benjamin, New York 1969, str. 100.

[3] N. N. Bogolyubov, D. V. Shirkov, *Vvedenie v teoriu kvantovannykh polei*, Nauka, Moskva 1973, str. 240.

Skróty nazw czasopism i transliteracja z alfabetów niełacińskich według *Physics Abstracts*. Odsyłacze dla literatury w tekście pracy powinny być w nawiasach kwadratowych.

10. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej, którą należy zwrócić w ciągu 3 dni pod adresem: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Dział Czasopism, ul. Smoleńsk 14, 31-112 Kraków. Przetrzywanie korekty może spowodować przesunięcie artykułu do następnego zeszytu.

11. Autor otrzymuje bezpłatnie 25 egz. odbitek pracy. Dodatkowe odbitki można zamawiać odpłatnie przy przesyłaniu korekty autorskiej. Cena za 1 egz. odbitki o objętości 1—16 s. wynosi zł 8.—

12. Maszynopisów prac nie zamówionych i nie zakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.

R E C E N Z J E

August Chełkowski: *Fizyka dielektryków*, wydanie II zmienione, PWN, Warszawa 1979, str. 343, cena zł 90.—

Recenzowana książka, według Autora „... przeznaczona jest przede wszystkim dla fizyków, chociaż poruszone w niej zagadnienia mogą zainteresować na pewno i fizykochemików”. Faktyczny krąg odbiorców każdego wydawnictwa o dielektrykach jest znacznie szerszy. Należą do niego chemicy różnych specjalności, „inżynierowie materiałowi”, biolodzy i fizjologowie, wszyscy, którzy poszukują podstaw fizycznych i interpretacji obserwowanych zjawisk molekularnych.

Książka Chełkowskiego (pierwsze wydanie w roku 1972) wypełniła poważną lukę w polskojęzycznej literaturze z dziedziny fizyki molekularnej. Poza wydanym w roku 1968 (Małe Monografie PWN) tłumaczeniem książki Mansela Daviesa *Elektryczne i optyczne właściwości cząsteczek*, przeznaczonej zgodnie z intencją Autora „... dla studentów podejmujących wstępne studia nad momentami dipolowymi i polaryzowalnością cząsteczkową...” nie mieliśmy w języku polskim solidnej monografii dotyczącej fizyki dielektryków. Tak się złożyło, że nie otrzymaliśmy tłumaczenia żadnej spośród 5—6 poważnych monografii z dziedziny dielektryków, napisanych po wojnie. Jako ekwiwalent wybrano swego czasu, w początkach lat 60-tych, serię książek A. R. von Hippela, zapoczątkowaną przez głośne *Dielektryki i fale*. Niczego nie ujmując oryginalnej trylogii Hippela, należy tym niemniej zauważyć, że nie mogła ona zastąpić na przykład teoretycznych dzieł Fröhlicha i Böttchera, bądź też ukierunkowanej eksperymentalnie *Dielectric Behavior and Structure* C. P. Smytha.

Książka Chełkowskiego powstała na podstawie wykładów monograficznych dla studentów IV i V roku fizyki na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach.

Jak została przyjęta? Pytałem o to wielu zainteresowanych, również nie-fizyków. Książka się podoba. Można w niej wiele znaleźć, świetne są uwagi, opinie i komentarze odautorskie, których zwykle poszukuje w opracowaniach teoretycznych czytelnik-eksperymentator. Nikomu natomiast nie przemówiła do przekonania konwencja przyjęta przez Autora, który do opisu własności dielektrycznych stosuje podatność elektryczną χ , a nie przenikalność ϵ . Nawet najwięksi zwolennicy książki nie akceptują tej innowacji, zmieniającej nie do poznania nawet utarte wyrażenia, znane z kursu elementarnego. Rzecz charakterystyczna — najbardziej konserwatywni w tej sprawie są najmłodszy czytelnicy.

Treść książki podzielona jest na 5 rozdziałów. Rozdziały I i II (łącznie 109 stron) dotyczą fundamentalnych zagadnień fizyki dielektryków — teorii statycznej podatności elektrycznej gazów i cieczy (polaryzacja dielektryczna, polaryzowalność, teorie pola lokalnego) i własności dynamicznych w polach przemiennych (dyspersja, absorpcja, relaksacja dipolowa). Przy omawianiu tych standardowych zagadnień, każdy współczesny autor na ogół ma niewiele do zyskania, może natomiast znużyć czytelnika rozwlekłymi i nudnymi rachunkami, bądź też zagubić treść fizyczną w rozbudowanych formalizmach (vide — mało zachęcające rozdziały poświęcone dielektrykom w niektórych podręcznikach akademickich). Przechodząc do porządku nad kontrowersyjnym stosowaniem podatności zamiast przenikalności, należy stwierdzić, że rozdziały te są u Chełkowskiego udane. Dzięki umiejętnemu połączeniu komentarza z esencjonalnym opisem matematycznym, dobrze czyta się na przykład teorie Onsagera, Kirkwooda, Fröhlicha tak małostrawne u niektórych autorów.

W rozdziale III Autor omawia anizotropię polaryzowalności oraz strukturę drobin. Przedstawia elektrooptyczne zjawisko Kerra, magnetoptyczne zjawisko Cottona-Moutona, rozpraszanie światła i podstawy kilku teorii rozpraszania molekularnego. Motywem przewodnim jest pokazanie sposobów uzyskiwania na podstawie tych zjawisk informacji o wielkościach charakteryzujących drobinę izolowaną i oddziaływaniach międzydrobinowych w ośrodkach skondensowanych.

Rozdział IV poświęcony jest zjawiskom nieliniowym w dielektrykach (używany skrót NDE) znanym bardziej jeszcze pod nazwą nasycenia dielektrycznego. Badanie tych zjawisk jest obecnie uznana metodą stosowaną w wielu ośrodkach badawczych celem uzyskania wielu cennych informacji o oddziaływaniach międzymolekularnych, niedostępnych innymi metodami. Jest to zasługą pionierskich prac Piekary i jego współpracowników: Chełkowskiego, Kielicha, Małeckiego — twórców „polskiej szkoły fizyki dielektryków”.

Omawiany rozdział został w II wydaniu znacznie zmieniony i uzupełniony. Wpłynęło to korzystnie na usystematyzowanie i pogłębienie przedstawionego przeglądu teorii NDE. Podobać się może metodyczne prowadzenie opisu teoretycznego, od NDE gazu niedipolowego poczynając, a kończąc na czterech modelach opisujących własności ośrodków skondensowanych. W dalszych częściach rozdziału dokonano przeglądu najważniejszych wyników doświadczalnych. Omówiono przejawy NDE w cieczach, od cieczy prostych (o zaniedbywalnych oddziaływaniach międzydrobinowych), poprzez badanie rotacji wewnętrznej na podstawie przebiegów NDE, do roztworów nitrobenzenu i nitropochodnych, alkoholi, makromolekuł i ciekłych kryształów. Przedstawiono najnowszą teorię termodynamiczną Małeckiego. Jako pierwszy z autorów monografii, Chełkowski omawia bardzo obecnie aktualne badania roztworów krytycznych przy pomocy różnych metod. Achillesową piętą tego doskonałego rozdziału jest jego wstęp. Dlaczego nie zmieniono go w II wydaniu?

Historia rozwoju badań NDE (do niedawna zawsze używany termin „nasycenie dielektryczne”) jest niezwykle ciekawa i chyba zasługuje na odrębne opracowanie. Oby udało się w nim zobrazować cały jej wręcz dramatyczny wątek! W latach 1920—1930 przeprowadzono w Niemczech kilka niezależnych prób pomiaru nasycenia dielektrycznego. Udanych — dla dwóch prostych cieczy (eter, chlorobenzen), nieudanych (ale o tym dowiedziano się znacznie później) — dla wszystkich innych, które zbadano. W Polsce (1936 — pierwsze pionierskie prace Piekary) nadano badaniom NDE właściwą rangę, długo i z uporem dezawuowano wyniki Malscha i Gundermanna, które znalazły sobie długotrwałe miejsce w całej literaturze przedmiotu (cytuje je jeszcze C. P. Smyth w roku 1955). Rzecz w tym, że we wstępie Chełkowskiego, pioniera badań NDE, pobrzmiewają echa dawnych kontrowersji. We „wstępie” historię badań NDE zakłóca bardzo już niepotrzebna dziś apologetyka (niefortunny Malsch wymieniany jest 11 razy, w tym 6-krotnie wraz z Gundermannem).

W rozdziale V przedstawiono doświadczalne metody pomiarowe. Opisano kilkanaście najczęściej stosowanych metod pomiarowych z rzadko spotykaną rzeczowością i znajomością istoty fizycznej.

Język książki jest dobry, terminologia poprawna. Cząsteczki, drobinę, molekule? U Autora występują konsekwentnie drobinę, chociaż zauważyłem „orientację molekularną” (przedmowa) i „orientację drobinową” (wstęp). Zdecydowanie wolę „makromolekule” niż „makrodrobinę”. Dobór treści i zawartość poszczególnych partii książki są na ogół dobrze wyważone. Przydałoby się jednak, aby ogólna teoria Piekary i Kielicha (§ 16), z której wyników często się w książce korzysta, została przedstawiona w formie bardziej rozbudowanej. Konieczne wydaje się wyprowadzenie wzoru (16.9).

Zauważone błędy rzeczowe i usterki: str. 76, tabela 17.2: brak informacji, w jakich temperaturach wykonano pomiary podatności; str. 78, rys. 17.5: błąd we wzorze dimeru; str. 161, tabela 28.1: wszystkie dane pochodzą z roku 1952. Istnieją nowsze; str. 241, rys. 42.19: opis w tekście nie odpowiada rysunkowi; str. 248, rys. 42.2: dwa błędy we wzorze strukturalnym, bezpośrednio niżej — nieaktualną już „domenowe” tłumaczenie istoty fazy nematycznej w ciekłych kryształach; str. 250—252: cytowaną pracę omawia się zbyt obszernie, poświęcając jej więcej uwagi niż zasługuje. Rys. 38.8, 38.10, 39.2: brak informacji, że wykresy dotyczą roztworów (i w jakich rozpuszczalnikach). Nie podoba mi się spis treści rozdziału 4. Tytuły zbyt długie, nieprzejrzyste, podobne do siebie. Tytuły § 34 i § 33 liczą po 6 identycznych słów i różnią się jedynie przedrostkiem nie-.

W pracy jest zbyt dużo niepoprawionych błędów drukarskich. Błąd ortograficzny: rys. 42.20... w cykloheksanie...

Reasumując, recenzowana książka jest udaną monografią z dziedziny fizyki dielektryków. Sądzę, iż warto ją wznawiać, uzupełniając systematycznie o najnowsze wyniki badań z dziedziny fizyki chemicznej uzyskane w kraju i za granicą.

Teodor Krupkowski
Instytut Podstawowych
Problemów Chemii
Uniwersytet Warszawski
Warszawa

L. D. Landau, E. M. Lifszyc: *Mechanika kwantowa*. Teoria nierelatywistyczna. Wydanie drugie zmienione, tłumaczyli z rosyjskiego Ludwik Dobrzyński i Andrzej Pindor, PWN, Warszawa 1979, str. 646, cena zł 110.—

Niniejsze, drugie wydanie *Mechaniki kwantowej* Landaua i Lifszycy jest tłumaczeniem trzeciego rosyjskiego wydania (z 1974 r.) tego podręcznika. Pierwsze polskie wydanie tej książki pojawiło się w 1958 r. jako tłumaczenie wydania rosyjskiego z 1948 r.; pomiędzy oboma tłumaczeniami polskimi tego podręcznika uptynęło więc aż 19 lat. Nowe wydanie opracował E. M. Lifszyc przy udziale L. P. Pitajewskiego, uwzględniając uwagi wielu radzieckich fizyków teoretyków, rozszerzając materiał i dokonując wielu zmian w tekście książki.

Mechanika kwantowa jest jednym z tomów *Kursu fizyki teoretycznej* i podobnie jak inne tomy tej serii jest przeznaczona dla zaawansowanych studentów i dla pracowników naukowych. Główna jej wartość polega na tym, że zawiera ona wiele zastosowań mechaniki kwantowej do zagadnień szczegółowych, dotyczących przede wszystkim atomów, cząsteczek, jąder atomowych, problemów ruchu cząstek w różnych polach sił oraz zjawisk rozpraszania. Czytelnik przystępujący do studiowania tej książki powinien jednak znać już zasady mechaniki kwantowej z innych podręczników.

Pierwsze rozdziały *Mechaniki kwantowej* Landaua i Lifszycy, poświęcone podstawom tego działu fizyki, zawierają wiele interesujących dla zaawansowanego czytelnika uwag, jednak dla początkującego czytelnika mogą być trudne i nie całkiem zrozumiałe. Zasadom tym poświęcone są rozdziały: pierwszy zatytułowany „Podstawowe pojęcia mechaniki kwantowej”, drugi noszący tytuł „Pęd i energia”, część trzeciego pt. „Równanie Schrödingera”, rozdział szósty o rachunku zaburzeń, siódmy, omawiający przy- padek quasi-klasyczny i zajmujący się przejściami od praw mechaniki kwantowej do praw mechaniki klasycznej, oraz związane ze sobą rozdziały siódmy i ósmy, mówiące o spinie i identyczności cząstek. Rozdział pierwszy rozpoczyna się od sformułowania zasady niezachowności i roli pomiaru w mikro- fizyce, po czym następuje omówienie zasady superpozycji: następnie autorzy zajmują się własnościami operatorów. Pojęcia podstawowe omówione są w sposób oryginalny, lecz niektóre sformułowania odnośnie do pomiarów w mikrofizyce wydają się kontrowersyjne; nie całkiem wyraźnie przeprowadzone jest rozróżnie- nie pomiędzy pomiarami rzeczywistymi a pomysłowymi, co znajduje swój wyraz np. w stwierdzeniu auto- row, że „nie należy jednakże myśleć, że makroskopowość jest konieczną cechą przyrządu”.

W rozdziale drugim autorzy mówią o hamiltonianie, stanach stacjonarnych, o macierzach, a w szczegól- ności o macierzy gestości. Wprowadzone są w tym rozdziale w lakoniczny sposób obraz Heisenberga i Schrödingera, nazwane niewłaściwie też reprezentacjami, co może być dla początkującego czytelnika my- lące. W pierwszej połowie trzeciego rozdziału autorzy zajmują się równaniem Schrödingera i jego własnościami oraz formułują zasadę wariacyjną mechaniki kwantowej, druga część poświęcona jest najprostszemu zastosowaniu równania Schrödingera. Szósty rozdział poświęcony jest momentowi pędu i jego własno- ciom. W rozdziale tym autorzy bez słowa objaśnienia przechodzą od zwykłego oznaczania elementów macie- rzy do znakowania Diraca, co chyba oznacza, że wymagają oni od czytelnika znajomości teorii przestrzeni Hilberta i symboliki Diraca. W każdym z rozdziałów, począwszy od trzeciego, omówione są jako ilustracje zasad problemowe szczegółowe, a każdy rozdział kończą zadania (z rozwiązaniami). W omawiany obecnie części książki, dla fizyka teoretyka szczególnie interesujące są rozdziały o spinie, gdzie autorzy przedsta- wiają teorię spinorów, oraz o identyczności cząstek, gdzie też znajduje się wprowadzenie do drugiego kwantowania.

Reasumując, recenzowana książka jest udaną monografią z dziedziny fizyki dielektryków. Sądzę, iż warto ją wznawiać, uzupełniając systematycznie o najnowsze wyniki badań z dziedziny fizyki chemicznej uzyskane w kraju i za granicą.

Teodor Krupkowski
Instytut Podstawowych
Problemów Chemii
Uniwersytet Warszawski
Warszawa

L. D. Landau, E. M. Lifszyc: *Mechanika kwantowa. Teoria nierelatywistyczna*. Wydanie drugie zmienione, tłumaczyli z rosyjskiego Ludwik Dobrzyński i Andrzej Pindor, PWN, Warszawa 1979, str. 646, cena zł 110.—

Niniejsze, drugie wydanie *Mechaniki kwantowej* Landaua i Lifszycy jest tłumaczeniem trzeciego rosyjskiego wydania (z 1974 r.) tego podręcznika. Pierwsze polskie wydanie tej książki pojawiło się w 1958 r. jako tłumaczenie wydania rosyjskiego z 1948 r.; pomiędzy oboma tłumaczeniami polskimi tego podręcznika upłynęło więc aż 19 lat. Nowe wydanie opracował E. M. Lifszyc przy udziale L. P. Pitajewskiego, uwzględniając uwagi wielu radzieckich fizyków teoretyków, rozszerzając materiał i dokonując wielu zmian w tekście książki.

Mechanika kwantowa jest jednym z tomów *Kursu fizyki teoretycznej* i podobnie jak inne tomy tej serii jest przeznaczona dla zaawansowanych studentów i dla pracowników naukowych. Główna jej wartość polega na tym, że zawiera ona wiele zastosowań mechaniki kwantowej do zagadnień szczegółowych, dotyczących przede wszystkim atomów, cząsteczek, jąder atomowych, problemu ruchu cząstek w różnych polach sił oraz zjawisk rozpraszania. Czytelnik przystępujący do studiowania tej książki powinien jednak znać już zasady mechaniki kwantowej z innych podręczników.

Pierwsze rozdziały *Mechaniki kwantowej* Landaua i Lifszycy, poświęcone podstawom tego działu fizyki, zawierają wiele interesujących dla zaawansowanego czytelnika uwag, jednak dla początkującego czytelnika mogą być trudne i nie całkiem zrozumiałe. Zasadom tym poświęcone są rozdziały: pierwszy zatytułowany „Podstawowe pojęcia mechaniki kwantowej”, drugi noszący tytuł „Pęd i energia”, część trzeciego pt. „Równanie Schrödingera”, rozdział szósty o rachunku zaburzeń, siódmy, omawiający przypadek quasi-klasyczny i zajmujący się przejściem od praw mechaniki kwantowej do praw mechaniki klasycznej, oraz związane ze sobą rozdziały siódmy i ósmy, mówiące o spinie i identyczności cząstek.

Rozdział pierwszy rozpoczyna się od sformułowania zasady nieoznaczoności i roli pomiaru w mikrofizyce, po czym następuje omówienie zasady superpozycji: następnie autorzy zajmują się własnościami operatorów. Pojęcia podstawowe omówione są w sposób oryginalny, lecz niektóre sformułowania odnośnie do pomiarów w mikrofizyce wydają się kontrowersyjne; nie całkiem wyraźnie przeprowadzone jest rozróżnienie pomiędzy pomiarami rzeczywistymi a pomyślanymi, co znajduje swój wyraz np. w stwierdzeniu autorów, że „nie należy jednakże myśleć, że makroskopowość jest konieczną cechą przyrządu”.

W rozdziale drugim autorzy mówią o hamiltonianie, stanach stacjonarnych, o macierzach, a w szczególności o macierzy gęstości. Wprowadzone są w tym rozdziale w lakoniczny sposób obrazy Heisenberga i Schrödingera, nazwane niewłaściwie też reprezentacjami, co może być dla początkującego czytelnika mylące. W pierwszej połowie trzeciego rozdziału autorzy zajmują się równaniem Schrödingera i jego własnościami oraz formułują zasadę wariacyjną mechaniki kwantowej, druga część poświęcona jest najprostszemu zastosowaniu równania Schrödingera. Szósty rozdział poświęcony jest momentowi pędu i jego własnościom. W rozdziale tym autorzy bez słowa objaśnienia przechodzą od zwykłego oznaczania elementów macierzy do znakowania Diraca, co chyba oznacza, że wymagają oni od czytelnika znajomości teorii przestrzeni Hilberta i symboliki Diraca. W każdym z rozdziałów, począwszy od trzeciego, omówione są jako ilustracje zasad problemy szczegółowe, a każdy rozdział kończą zadania (z rozwiązaniami). W omawianej obecnie części książki, dla fizyka teoretyka szczególnie interesujące są rozdziały o spinie, gdzie autorzy przedstawiają teorię spinorów, oraz o identyczności cząstek, gdzie też znajduje się wprowadzenie do drugiego kwantowania.

Rozdział piąty książki poświęcony jest zagadnieniom rozwiązywania równania Schrödingera dla cząstki w polu sił o centralnej symetrii. W rozdziałach dziesiątym i jedenastym przedstawione są szczegółowo zastosowania mechaniki kwantowej do teorii atomu i drobiny dwuatomowej. Rozdziały dwunasty i cztertnasty mają charakter matematyczny, pierwszy z nich poświęcony jest wykładowi teorii grup i ich reprezentacji, przy tym autorzy omawiają szczegółowo grupy punktowe. Teoria grup zastosowana jest w rozdziale trzynastym do teorii cząsteczek wieloatomowych. W rozdziale czternastym zebrana jest i omówiona w sposób systematyczny i nowoczesny teoria dodawania momentów pędu, która w poprzednim polskim wydaniu była rozmieszczona po różnych rozdziałach książki. Teoria ta zastosowana jest w następnym, piętnastym rozdziale do badania ruchu w polach magnetycznych i widm atomowych w tych polach. Rozdział ten, w całości nowy w omawianym wydaniu mechaniki kwantowej, zawiera materiał szczególnie cenny dla zastosowań astrofizycznych.

Po omówieniu w rozdziale czternastym teorii struktury jądra atomowego, autorzy przechodzą do przedstawienia teorii zderzeń elastycznych i nieelastycznych. Rozdziały te zostały w stosunku do pierwszego wydania bardzo rozszerzone i uzupełnione wynikami badań ostatnich kilkunastu lat nad analitycznymi własnościami amplitud rozpraszania i nad zastosowaniami teorii funkcji analitycznych do teorii zderzeń.

Z tego krótkiego przedstawienia treści omawianej książki widoczne jest, że główne zmiany poczynione w jej nowym wydaniu dotyczą głównie zastosowań mechaniki kwantowej. Przede wszystkim, usystematyzowano i unowocześniono wykład aparatu matematycznego teorii, głównie w odniesieniu do teorii grup i zastosowano go do zagadnień cząstek ze spinem. Poza tym przedstawiono zastosowania teorii funkcji analitycznych do zagadnień zderzeń cząstek. Oprócz tego, w różnych miejscach wprowadzono mniejsze zmiany, dodano pewne paragrafy w kilku rozdziałach (najwięcej w rozdziale o teorii atomu) i zmieniono niektóre sformułowania w różnych miejscach książki.

Biorąc pod uwagę trzy obszerne podręczniki mechaniki kwantowej, przetłumaczone na język polski, mianowicie podręczniki Dawydowa, Schiffa oraz Landaua i Lifszycy widać, że ten ostatni jest najobszerniejszy, zawiera najwięcej zastosowań i posiada nieco inne podejście do podstaw mechaniki kwantowej niż poprzednio wymienione. Dlatego wydanie książki Landaua i Lifszycy w języku polskim było celowe; te trzy podręczniki dobrze się uzupełniają.

Tłumaczenie jest poprawne, wydaje się jednak, że używanie wyrażen polskich, jak np. zwyrodnienie zamiast degeneracji, sprężysty zamiast elastyczny, uczyniłoby język wykładu mniej technicznym, a bardziej zbliżonym do języka literackiego; sądzę, że tłumacz książki naukowej powinien do tego dążyć. Jeszcze ostatnia uwaga: rosyjski tekst *Mechaniki kwantowej* ukończono w listopadzie 1973 r., książkę wydano w rok później, natomiast na tłumaczenie polskie trzeba było czekać do listopada 1979 r., a więc pięć lat.

Bronisław Średniawa
Instytut Fizyki UJ
Kraków

K R O N I K A

PTF

Medal Smoluchowskiego 1980

Polskie Towarzystwo Fizyczne przyznało Medal im. Mariana Smoluchowskiego za rok 1980 prof. Benowi Mottelsonowi, fizykowi duńskiemu, wybitnemu specjalście w dziedzinie teorii jądra atomowego.

Krótką informację o osiągnięciach Mottelsona zamieściliśmy w Kronice, w zesz. 2/1976, z okazji przyznania mu nagrody Nobla.

Nagrody PTF

Komisja Nagród i Odznaczeń PTF postanowiła przyznać w 1980 r. dwie równorzędne nagrody (po 10 000 zł) za prace naukowe:

dr Andrzej Bielski (Oddział Toruński PTF) za pracę „Badania ciśnieniowego rozszerzenia linii widmowych neonu w zakresie niskich ciśnień w warunkach wyładowania jarzeniowego” oraz za prace poświęcone interferometrycznej analizie kształtów linii widmowych,

dr Andrzej Jezierski (Oddział Poznański PTF) za opracowanie metody obliczania własności nieuporządkowanych stopów metali.

Komisja przyznała następujące nagrody za prace magisterskie:

Nagrody I stopnia (po 3000 zł):

Justyn Lisicki (Kraków) — „Struktura atomu i równanie stanu materii w silnym polu magnetycznym. Model Thomasa-Fermiego”,

Andrzej Łusakowski (Warszawa) — „Stany wzbudzone ekscytonu wodoropodobnego”,

Tomasz Wójtowicz — „Magnetoptyczne badania półprzewodników z wąską przerwą energetyczną w dalekiej podczerwieni”.

Nagrody II stopnia (po 2000 zł):

Tomasz Haupt (Kraków) — „Analiza ładunków hadronów produkowanych w oddziaływaniach $K-p$ przy pędzie 110 GeV/c”,

Jacek Tuszyński (Poznań) — „Sprężenia magnetoelastyczne w przemianach metamagnetycznych”.

Oddział Gliwicki

Dnia 25 czerwca 1980 odbyło się Walne Zebranie Oddziału Gliwickiego PTF. Referat „Spektroskopia fononowa” wygłosił prof. Aleksander Opilski. Wybrano nowe władze Oddziału:

przewodniczący — Andrzej Sycz,
zastępca przewodniczącego — Franciszek Kumasza,
sekretarz — Andrzej Bluszcz,
skarbnik — Adam Walamus,
członkowie — Jan Białoń, Joachim Gmyrek, Michał Kobylański, Roman Kolano, Mieczysław Pazdur.

Komisja Rewizyjna: Józef Szpilecki (przewodniczący), Aleksander Opilski, Andrzej Zastawny.

W ubiegłej kadencji od 1 marca 1978 do 30 maja 1980 działalność Oddziału rozwijała się w następujących kierunkach:

1. *Posiedzenia naukowe.* Było ich 7, frekwencja 40—60 osób.

2. *Współpraca ze szkołami średnimi.* Wspólnie z Instytutem Fizyki Politechniki Śląskiej i Wydziałem Oświaty w Gliwicach zorganizowano 2 cykle po 10 wykładów. Akcję prowadził dr Andrzej Sycz. Cykle wykładów dla młodzieży mają już swoją tradycję w Oddziale Gliwickim, na inauguracji dziesiątego z nich był obecny kurator Okręgu Szkolnego Katowickiego. Oddział nadal prowadzi klub Fizykus dla zdolnej młodzieży szkolnej interesującej się fizyką. Odbywają się tam wykłady na wybrane tematy i ćwiczenia laboratoryjne, omawiane są zadania olimpijskie i inne. Zajęcia

prowadzili dr Joachim Gmyrek i mgr Kazimierz Wanat. Członkowie Oddziału biorą udział w organizowaniu olimpiad fizycznych — Komitet olimpiad jest wspólny dla Oddziału Katowickiego i Oddziału Gliwickiego. W XXIX Olimpiadzie brało udział 430 uczniów, jeden z nich uzyskał tytuł zwycięzcy.

3. *Współpraca z przemysłem* polegała na przeprowadzeniu sondażu gdzie i jacy pracują fizycy oraz na zwerbowaniu ich do PTF.

W dniu 30. 5. 1980 Oddział liczył 97 członków zwyczajnych oraz 3 członków wspierających.

Józef Szpilecki

Oddział Opolski

Rok akademicki 1979/80 był kolejnym rokiem ożywionej działalności Oddziału Opolskiego. Odbyło się 5 posiedzeń naukowych, na których referaty wygłosili: dr Z. Dworecki (WSP, Opole), prof. J. Czerwonko (Politechnika Wroclawska), doc. Ignacy Bójko (WSP, Opole), prof. J. Z. Damm (Uniwersytet Wroclawski) i prof. E. Lilley (Uniwersytet Sussex, Wielka Brytania).

Przeprowadzono XIV Międzyszkolny Turniej Fizyczny o Puchar Zarządu Głównego PTF. Puchar zdobyła drużyna I Liceum Ogólnokształcącego w Opolu, zwycięzcą indywidualnym został uczeń Zespołu Szkół Ogrodniczych z Prudnika — Bogusław Janocha.

Sekcja Dydaktyczna patronowała II Ogólnopolskiej Sesji Kół Naukowych Fizyków. Tematem dwudniowej konferencji były „Problemy nauczania fizyki w przyszłej 10-letniej szkole powszechnej”. Kontynuowano otwarte pokazy z fizyki dla nauczycieli i uczniów szkół średnich. Przeprowadzono dwa seminaria dla nauczycieli szkół podstawowych dotyczące nauczania fizyki w klasie VI. Wspólnie z Kuratorium zorganizowano, jak co roku, konferencję sierpniową dla nauczycieli szkół średnich woj. opolskiego. Nową inicjatywą Sekcji Dydaktycznej było zorganizowanie Międzyszkolnego Koła Fizyków. Zajęcia, przeznaczone dla szczególnie zdolnych uczniów klas I licealnych, cieszyły się dużą popularnością. W cotygodniowych spotkaniach brało udział średnio po 25 uczniów, którzy korzystali z możliwości swobodnego zadawania pytań, dyskusji i przedstawiania własnych prac i pomysłów.

Wojciech Dindorf

EPS

W czerwcu 1980 r. Europejskie Towarzystwo Fizyczne (EPS) miało 3342 członków indywidualnych. Są oni reprezentowani w Radzie EPS przez swoich delegatów, którymi są obecnie: M. Balkanski (Paryż), D. Blackburn (Oxford), H. de Waard (Groningen), G. Eilenberger (Jülich), C. Hilsum (Great Malvern), A. Janner (Nijmegen), A. Messiah (Saclay), E. A. Mueller (Genewa), J. P. Toennies (Getynga).

Aktualny skład Komitetu Wykonawczego ogłosiliśmy w Kronice w zesz. 4/80. Teraz podajemy wykaz Komitetów Doradczych i Wydziałów (w nawiasach liczba członków), nazwiska przewodniczących, sekretarzy i polskich członków zarządów.

KOMITETY DORADCZE

Fizyka Stosowana i Fizyka w Przemysle — J. P. Hurault (Laboratoire d'Electronique et de Physique Appliquée, Limeil-Brévannes) przew., F. A. Kuijpers (Philips Medical Systems Division, Best) sekr., A. Oleś (AGH, Kraków), R. Zelazny (IBJ, Świerk).

Konferencje — W. J. Merz (RCA Labs, Zurych) przew., I. Eisenegger (RCA Labs, Zurych) sekr., A. Kujawski (IF PAN, Warszawa).

Europhysics News — J. Muller (Uniwersytet w Genewie) przew., E. N. Shaw (EPS) sekr., A. Sobiczewski (IBJ, Warszawa), A. Strzałkowski (Uniwersytet Jagielloński, Kraków).

Fizyka i Społeczeństwo — H. van Regemorter (Observatorium Paryskie, Meudon) przew., S. Aegerter (Schweizerischer Nationalfonds, Berno), sekr., W. Zych (Politechnika Warszawska).

Kształcenie Fizyków — L. Samuelsson (Uniwersytet w Linköping) przew., M. G. Ebison (Institute of Physics, Londyn) sekr., F. Kaczmarek (Uniwersytet Poznański).

Publikacje — E. R. Dobbs (Bedford College, Londyn) przew., E. N. Shaw (EPS) sekr., W. Czyż (IFJ, Kraków).

WYDZIAŁY

Wydział Astronomii i Astrofizyki (327) — przewodniczący i sekretarz zostaną wybrani w terminie późniejszym.

Sekcja Słońca (83) — P. Maltby (Uniwersytet w Oslo) przew., H. Nussbaumer (ETH, Zurych)

Wydział Fizyki Atomowej (558) — E. W. Otten (Uniwersytet Johannesena Gutenberga w Moguncji) przew., I. Martinson (Uniwersytet w Lund) sekr., W. Kołos (Uniwersytet Warszawski).

Sekcja Fizyki Molekularnej (305) — J. Depireux (Uniwersytet w Liège) przew., F. Comes (Uniwersytet we Frankfurcie nad Menem) sekr., B. Jeżowska-Trzebiatowska (Uniwersytet Wrocławski), Z. Pająk (Uniwersytet Poznański).

Sekcja Chemii Fizycznej (191) — E. A. C. Lucken (Uniwersytet Genewski) przew., G. Wagnière (Uniwersytet w Zurychu), W. Kolos (Uniwersytet Warszawski).

Sekcja Zderzeń Elektronowych i Atomowych (321) — F. Linder (Uniwersytet w Kaiserlautern) przew., F. H. Read (Uniwersytet w Manchester) sekr.

Spektroskopia Atomowa (EGAS) (285) — B. Cagnac (Univ. Pierre et Marie Curie, Paryż) przew., A. Doenszelmann (Zeeman Laboratorium, Amsterdam) sekr., J. Heldt (Uniwersytet Gdański).

Wydział Fizyki Wysokich Energii i Cząstek (466) — G. Preparata (Uniwersytet Paryski VI) przew., J. Charap (Queen Mary College, Londyn).

Wydział Fizyki Jądrowej (539) — A. Strzałkowski (Uniwersytet Jagielloński) przew., J. Sharpey-Schafer (Uniwersytet w Liverpoolu) sekr., A. Budzanowski (IFJ, Kraków).

Wydział Materii Skondensowanej (887) — J. Devreese (Uniwersytet w Antwerpii) przew., V. Van Doren (Uniwersytet w Wilrijk) sekr., M. Grynberg (Uniwersytet Warszawski).

Sekcja Niskiej Temperatury (269) — W. J. Huiskamp (Uniwersytet Królewski w Lejdzie) przew., J. Souletie (Centrum Badań Niskich Temperatur, Grenoble) sekr.

Sekcja Fizyki Makromolekularnej (169) — I. M. Ward (Uniwersytet w Leeds) przew., A. Ziabicki (PAN, Warszawa).

Sekcja Magnetyzmu (360) — L. Van Gerven (Uniwersytet w Leuven) przew.

Sekcja Metali (400) — P. Averbuch (Université Scientifique et Médicale de Grenoble) przew.

Sekcja Półprzewodników i Izolatorów (472) — C. Hilsum (Royal Signals and Radar Establ., Great Malvern) przew.

Sekcja Powierzchni i Międzypowierzchni (232) — C. J. Todd (Post Office Research Centre, Ipswich) przew.

Wydział Fizyki Plazmy (285) — F. Engelmann (FOM-Institut voor Plasmafysica, Nieuwegein) przew., F. Troyon (Centre de Recherches en Physique des Plasmas, Lausanne) sekr.

Wydział Elektroniki Kwantowej (245) — S. D. Smith (Heriot Watt University, Edynburg) przew., R. Dändliker (Uniwersytet w Neuchâtel) sekr.

Grupa Fizyki Obliczeniowej (315) — F. James (CERN) przew., R. Böck (CERN) sekr., R. Zelazny (IBJ, Świerk).

Europhysics News 11, No (1980)

Nagrody Państwowe 1980

Komitet Nagród Państwowych przyznał w 1980 r. m. in. następujące nagrody:

W zakresie Nauk Matematyczno-Fizycznych, Chemicznych i Nauk o Ziemi nagrodę I stopnia prof. Bohdanowi Paczyńskiemu (Centrum Astronomiczne PAN im. Mikołaja Kopernika, Warszawa) za opracowanie teorii dysków akrecyjnych wokół gwiazd.

W wielu obiektach astrofizycznych często występującym procesem jest grawitacyjne akreowanie (wychwytywanie) materii przez masywne zwarte centrum. Jeżeli opadająca materia posiada znaczny moment pędu, nie może opaść radialnie i formuje dysk albo pierścień. Lepkość w dysku powoduje powolne, spiralne opadanie materii na obiekt centralny, a dysponowana energia zostaje wypromieniowana. Typowymi obiektami, w których występują dyski akrecyjne, są podwójne gwiazdy wybuchowe. Materia z jednej gwiazdy w takich układach „przelewa się” na drugi składnik. Jeżeli jest nim obiekt o niewielkich rozmiarach (biały karzeł, gwiazda neutronowa lub czarna dziura), należy oczekiwać znacznego wydzielania się energii grawitacyjnej. Istnienie dysków akrecyjnych postuluje się również wokół masywnych czarnych dziur (10^7 – $10^{11} M_{\odot}$), które stanowiłyby jądra aktywnych galaktyk i kwazarów. Prace prof. Paczyńskiego dotyczyły głównie modeli tzw. grubych (geometrycznie) dysków. W szczególności w modelach tych można oczekiwać kolimacji promieniowania wzdłuż osi z-wej dysku. Efekt ten może wyjaśnić bardzo duże jasności kwazarów i obserwowane struktury liniowe w wielu radioźródłach.

Andrzej Soltan

W zakresie Nauk Technicznych nagrodę II stopnia zespołowi w składzie dr inż. Jerzy Kaliński (Zakład Aparatury Mikrofalowej WILMER, PAN), doc. dr hab. Janusz Konopka (Instytut Fizyki PAN), dr inż. Andrzej Kraszewski (Zakład Aparatury Mikrofalowej WILMER, PAN) — za rozwinięcie mikrofalowych metod pomiarów wilgotności materiałów sypkich. Metody te zostały opracowane

przy wykorzystaniu zaobserwowanego przez J. Koponkę efektu wyraźnych zmian własności dielektrycznych mieszanin ciał stałych w zakresie mikrofal przy bardzo nawet słabym zawilgoceniu. Mikrofalowe Mierniki Wilgotności, konstruowane w Zakładzie WIMER, znalazły wielu odbiorców krajowych i zagranicznych.

Mirosława Jastrzębska

Nowi członkowie zagraniczni PAN

Polska Akademia Nauk wybrała nowych członków zagranicznych. Wśród nich są dwaj wybitni fizycy Aage Bohr i Richard H. Dalitz.

Aage Bohr

Aage Bohr urodził się w Kopenhadze w 1922 r., a więc w tym samym roku, w którym ojciec jego Niels Bohr otrzymał nagrodę Nobla z fizyki za opracowanie kwantowej teorii atomu. W r. 1946 ukończył Uniwersytet Kopenhaski i od tej chwili



pracuje w Instytucie Fizyki Teoretycznej tego Uniwersytetu. Instytut ten został założony przez Nielsa Bohra w r. 1921 i obecnie nosi jego imię. Aage Bohr, który od 1956 r. jest profesorem, przez wiele lat pełnił funkcję dyrektora Instytutu.

Specjalnością Aage Bohra jest teoretyczna fizyka jądrowa. W latach 1950—52 opracował on podstawy modelu kolektywnego jądra oraz modelu uogólnionego, który pozwala opisać zarówno kolektywne jak i jednoczątkowe własności jąder. Oba modele rozwinął następnie i szczególnie zbadał ich konsekwencje wspólnie z B. R. Mottelsonem (tegoroczny laureat Medalu Smoluchowskiego), z którym współpracuje do chwili obecnej. Na podstawie tych modeli przewidzieli oni wiele regularności we własnościach jąder, w szczególności w ich widmach energetycznych oraz w prawdopodobieństwach przejść pomiędzy stanami jądrowymi, potwierdzonych następnie w doświadczeniu. A. Bohr rozwinął adiabatyczny model rozszczepienia. Odegrał także istotną rolę w rozwinięciu i zastosowaniu modelu nadprzewodnikowego do opisu własności jąder. Obecnie wiele uwagi poświęca zagadnieniu symetrii w jądrach i ich konsekwencji w strukturze jąder. W szczególności, dotyczy to warunków powstawania w jądrach struktury powłokowej. Dużo uwagi poświęca teraz także własnościom jądra w stanach o wysokim spinie.

Niełatwo byłoby podać dział w fizyce jądrowej, do którego nie wniósłby on bezpośrednio lub pośrednio istotnego wkładu. Od ok. 30 lat jest on, obok B. R. Mottelsona, centralną postacią w kopenhaskiej szkole fizyki jądrowej, inicjując wiele nowych kierunków badań. Wiele z tych badań przeprowadzone zostało przez innych fizyków, ale pierwsze sugestie, pomysły ich rodziły się w dyskusjach z A. Bohrem. Dużą rolę odegrała tu dwutomowa monografia poświęcona strukturze jądra, którą A. Bohr pisał wspólnie z B. R. Mottelsonem przez ok. 20 lat. Można powiedzieć, że stała się ona dla autorów pretekstem do uzupełniania, poprawiania, a nawet tworzenia od nowa wielu działów teorii jądra. Była też przez te prawie 20 lat pomocą i źródłem inspiracji dla fizyków jądrowych, zarówno teoretyków jak i eksperymentatorów z całego świata. Kopie różnych jej wersji, odpowiadające różnym fazom jej opracowania, krążyły bowiem wśród fizyków od samego początku tworzenia tego dzieła. Po ukazaniu się monografii, została ona przetłumaczona na kilka języków, m. in. rosyjski, niemiecki i chiński (napisana została w języku angielskim). Ukazało się także polskie tłumaczenie

pierwszego tomu (PWN, 1975), a tom drugi tłumaczony jest obecnie.

Za swoje prace z teorii jądra Aage Bohr otrzymał w roku 1975, wspólnie z B. R. Mottelsonem i J. Rainwaterem, nagrodę Nobla z fizyki (por. *Postępy Fizyki* 27, 187 (1976)). Jest on członkiem Duńskiej, Norweskiej, Amerykańskiej, a teraz także Polskiej akademii nauk.

Aage Bohr ma wybitny wkład w utrzymywaniu, rozwijaniu i pogłębianiu bardzo charakterystycznej cechy ośrodka kopenhaskiego: niezwykle życzliwej atmosfery dla współpracy fizyków z całego świata i w szczególności fizyków ze Wschodu i Zachodu. Nikt nie czuje się tu obco. Atmosfera ta troskliwie tworzona przez Nielsa Bohra, starannie pielęgnowana jest nadal. Stanowi ona, poza względami czysto naukowymi, ważny czynnik w atrakcyjności tego ośrodka. W każdej chwili, większość pracujących tu fizyków stanowią właśnie goście zagraniczni.

Bliskie są kontakty Aage Bohra z fizykami polskimi. W ośrodku kopenhaskim przebywali niemal wszyscy polscy fizycy jądrowi, a dla wielu z nich kontakt z tym ośrodkiem jest wciąż bardzo bliski i regularny. Znaczna a często podstawowa część ich dorobku naukowego związana jest z tym ośrodkiem. Także i z drugiej strony współpraca ta została oceniona wysoko. W przedmowie do polskiego wydania wspomnianej wyżej monografii, A. Bohr i B. R. Mottelson napisali: „Współpraca z polskimi kolegami była poważnym źródłem inspiracji w pracy i życiu naszych Instytutów, a ich udział wywarł istotny wpływ na wiele idei, które próbowaliśmy przedstawić w tej monografii”.

Polskę odwiedził Aage Bohr dwukrotnie. Ostatni raz brał udział w Sympozjum poświęconym 100-leciu urodzin Marii Skłodowskiej-Curie, które obchodzone było w 1967 r.

Adam Sobiczewski, Zdzisław Szymański

Richard H. Dalitz

Richard Henry Dalitz urodził się 28 lutego 1925 r. w Australii. Studiował na uniwersytecie w Melbourne. W 1951 r. uzyskał stopień doktora uniwersytetu w Cambridge. Od 1963 r. jest profesorem fizyki teoretycznej uniwersytetu w Oxfordzie. W 1960 r. został wybrany na członka londyńskiego Towarzystwa Królewskiego.

Podstawowe prace Dalitza dotyczą teorii pola, elektrodynamiki kwantowej, teorii jądra i teorii

cząstek elementarnych. Jako jeden z pierwszych, obliczył on prawdopodobieństwo rozpadu mezonu π^0 na foton gamma i parę elektronów — parę tę nazywa się „parą Dalitza”. Wprowadził wygodną metodę opisu rozpadów trójcząstkowych cząstek elementarnych tzw. wykresy Dalitza. Przeprowadzona przez niego analiza trójcząstkowego rozpadu mezonów K^+ była jednym z elementów umożliwiających Lee i Yangowi zbudowanie teorii niezachowania parzystości w oddziaływaniach słabych.



W latach 70 Dalitz rozwija model kwarków w celu klasyfikacji cząstek elementarnych, czyniąc to w sposób mniej abstrakcyjny niż w innych ujęciach.

Bardzo istotne wyniki uzyskał Dalitz w fizyce hiperjader i oddziaływaniu hiperonów Λ z nukleonami. Stworzył pierwszą fenomenologiczną teorię wiązania hiperonu Λ w hiperjadrze. Przewidział istnienie podwójnych hiperjader na cztery lata przed ich odkryciem, dokonany przez zespół warszawski. Przewidział również istnienie stanów wzbudzonych hiperjader. Szereg prac poświęca zagadnieniu spinu wyliczając w oparciu o różne modele oczekiwane wielkości energii wzbudzenia. Szereg prac poświęca także zagadnieniom spinu i czasu życia hiperjader.

Prof. Dalitz ma bliskie kontakty z polską fizyką. W szczególności, wielu młodych fizyków war-

szwaskich pracowało pod jego kierunkiem. Posiada on również liczne kontakty z fizykami krakowskimi.

Richard Dalitz jest obywatelem brytyjskim. Warto jednak tu wspomnieć, że jego przodkowie wylegali z Polski w początku XIX w. W linii męskiej jego pochodzenie jest słowiańskie: polsko-serbsko-łużyckie, co sam w czasie swych licznych wizyt w Polsce skrupulatnie przeszedlił

Jerzy Pniewski

Przewidywania energetyczne Amerykańskiej Akademii Nauk

Po czterech latach pracy i wydaniu na badania 4.1 mln dolarów, Komitet Jądrowych i Innych Systemów Energetycznych (Committee on Nuclear and Alternative Energy Systems — CONAES) amerykańskiej Narodowej Akademii Nauk opracował końcowy raport *Energy in Transition 1985—2010* o roli, jaką powinny odgrywać w omawianym okresie te systemy energetyczne w USA.

W pracach CONAES brały udział 22 grupy konsultantów — w sumie około 300 osób. Intencją organizatorów było objąć jak najszerszy zakres opinii na temat problemów energetycznych. Zarówno bardzo zróżnicowane poglądy tych konsultantów, jak też to, że w latach 1975—79 zasadniczo zmieniła się sytuacja energetyczna, sprawiły, że opracowanie raportu zajęło aż cztery lata.

Raport nie zawiera definitywnych rekomendacji ani przepisów na politykę energetyczną. Raczej zwraca uwagę na kierunki, którym należałoby dać pierwszeństwo i przedstawia możliwości różnych rozwiązań. CONAES zdecydowanie twierdzi, że wiele decyzji trzeba odłożyć do czasu, aż zdobędzie się odpowiednią wiedzę co do różnych źródeł energii. Na przykład, na temat reaktorów produkujących pluton CONAES pisze: „Przy tak szybkim wzroście zapotrzebowania na energię, reaktory produkujące pluton będą prawdopodobnie konieczne. Dlatego też zaleca się kontynuowanie prac rozwojowych tego typu reaktorów, których może trzeba będzie używać w szerokiej skali na początku przyszłego stulecia. Jednak samą decyzję co do tego szerokiego użycia trzeba odsunąć do czasu, aż wyjaśni się dalszy wzrost zapotrzebowania na energię, sytuacja źródeł paliwa płynnego i inne ważne czynniki”.

Raport podkreśla konieczność ograniczania przez USA importu ropy, co można uzyskać zarówno przez przechodzenie na inne technologie, jak i przez

oszczędności. Wskazano na konieczność rozwijania technologii wytwarzania syntetycznych paliw płynnych z węgla, a w sprawie wytwarzania energii elektrycznej — na konieczność właściwych proporcji elektrowni konwencjonalnych i jądrowych. Energia z kontrolowanej syntezy jądrowej nie będzie prawdopodobnie produkowana w skali przemysłowej przed rokiem 2010, jednak trzeba podjąć dostateczny wysiłek techniczny, aby w pierwszym dziesięcioleciu XXI w. stało się jasne czy synteza jądrowa będzie mogła konkurować z reaktorami rozmnażającymi (breeder) i z konwersją energii słonecznej.

Na zakończenie raport stwierdza: „Przyszłe decyzje dotyczące energii jądrowej będą zdeterminowane co najmniej w takim samym stopniu przez społeczną świadomość ryzyka i korzyści, jak przez wnioski przedstawione przez naukowców na podstawie analizy naukowej. Trzeba pamiętać, że problem energii nie wynika z ogólnego fizycznego braku źródeł. Problem leży w przejściu, w sposób gładki i akceptowany przez społeczeństwo, od stopniowo zanikających źródeł ropy i gazu ziemnego do nowych technologii, których możliwości nie są jeszcze w pełni rozwinięte i których koszty nie są jeszcze do przewidzenia. Do zagadnień energetycznych wchodzi ważne czynniki społeczne i polityczne, które są znacznie trudniejsze do zrozumienia niż czynniki techniczne”.

Phys. Today 33, No 4 (1980)

B.W.

Salam przeznaczą swoją Nagrodę Nobla na stypendia

Abdus Salam, laureat Nagrody Nobla 1979 z fizyki, postanowił przeznaczyć swoją część nagrody (dzielił ją z S. Weinbergiem i S. Glashowem) na utworzenie funduszu stypendialnego dla młodych naukowców z krajów rozwijających się. Przemawiając na zebraniu Komitetu Wykonawczego UNESCO Salam zwrócił uwagę na ogromną dysproporcję między możliwościami otwierającymi się przed naukowcami rozwiniętych krajów a naukowcami trzeciego świata. Obecnie dla młodych fizyków ze 100 rozwijających się krajów jedynym miejscem, gdzie mogą pogłębiać swoją wiedzę i nawiązywać owocne kontakty jest Międzynarodowe Centrum Fizyki Teoretycznej w Trieście (Salam był jednym z twórców tego Centrum i jest jego dyrektorem). Roczny budżet Centrum w Trieście wynosi zaledwie 1.5 mln dolarów. Salam zaapelował do wszystkich narodów, a przede wszystkim

do islamskich państw należących do organizacji OPEC (jako do potomków przodujących w nauce VIII, IX, X i XI stulecia ludów arabskich) o podjęcie wysiłku celem efektywnego zmniejszenia przepaści dzielącej te dwa światy.

Salam proponuje, aby fundusz zapewniał środki na kształcenie, aż do stopnia doktora, wybitnie uzdolnionych studentów nauk ścisłych. „Mój skromny wkład do tego funduszu — powiedział Salam — stanowić będzie wszystko co posiadam — 60 000 dolarów, które Akademia Szwedzka tak hojnie mi przyznała”.

Phys. Today 33, No 6 (1980)

B. W.

Sześćdziesiąte urodziny Jacka Prentkiego

Prof. Jacek Prentki, kierownik Wydziału Teorii CERN, ukończył 17 kwietnia 1980 r. sześćdziesiąt lat. Z tej okazji odbyło się w CERN-ie spotkanie, na którym jego najbliżsi przyjaciele i współpracownicy wspominali różne okresy jego kariery: P. Meyer mówił o „dobrych czasach paryskich” Prentkiego, Bernard d'Espagnat o „pionierskich latach w CERN-ie”, Daniele Amati o „złotym wieku”, Tatiana Fabergé o historii Wydziału Teorii, a Paul Musset o „teoretykach w oddziaływaniu”. Po referatach odbył się krótki koncert muzyki kameralnej.

Dodajmy, że Jacek Prentki jest blisko związany z Polską. Ojciec jego był Polakiem, a matka Francuzką. Jacek Prentki przebywał w Polsce w czasie wojny, studiował fizykę na tajnym uniwersytecie, był żołnierzem AK, walczył w Powstaniu Warszawskim. Po wojnie był przez pewien czas asystentem w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego. Później wyjechał do Francji. Jest profesorem Collège de France.

CERN Courier 20, No 4 (1980)

B. W.

Kontrolowana synteza termojądrowa

Na początku lat osiemdziesiątych możemy oczekiwać osiągnięcia w tokamaku bilansu zerowego (*breakeven*) — równowagi między energią włożoną i otrzymaną z urządzenia. Pod tym kątem konstruowana jest obecna generacja tokamaków — TFTR (USA), JET (Anglia), JT-60 (Japonia), T-15 (ZSRR). Jednak budowa przemysłowego reaktora termojądrowego, opartego na tokamaku, wymagać będzie jeszcze jednego etapu ekspery-

talnego — skonstruowania dużego urządzenia, w którym nastąpi zapłon plazmy i reakcja będzie podtrzymywana w czasie rzędu minut. Koszt takiego projektu szacuje się na ok. 1 miliard (obecnych) dolarów. Nic dziwnego, że zaproponowano budowę tylko jednego takiego tokamaka, wspólnie przez wszystkie państwa liczące się w tego rodzaju eksperymentach.

Roczny, wstępny etap prac projektowych nad Międzynarodowym Tokamakiem (INTOR — International Tokamak Reactor), prowadzonych w ramach Międzynarodowej Agencji Atomowej w Wiedniu, zakończył się w grudniu 1979 roku. Ustalono, że INTOR mógłby być zbudowany około roku 1990. Pozwoli on na rozwiązanie wielu trudnych problemów inżynierskich związanych m. in. z diwerterami usuwającymi zanieczyszczenia z plazmy, impulsowym działaniem nadprzewodzących uzwojeń, płaszczami zabezpieczającymi czy odprowadzeniem wydzielonej w reakcji energii.

Ekspersi z Japonii, USA, ZSRR i Europy Zachodniej wstępnie ustalili niektóre parametry pracy tokamaka. Planuje się osiągnięcie gęstości plazmy rzędu $n \approx 1,4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, a czasu utrzymania energii $\tau \approx 1,4 \text{ s}$. Daje to wartość iloczynu $n \cdot \tau$ rzędu $2 \times 10^{14} \text{ s/cm}^3$, wystarczającą do zapłonu plazmy D-T ze średnią temperaturą jonów rzędu 10 keV. Duży promień torusa wynosić będzie 5,2 m (dwa razy więcej niż w TFTR), a mały ok. 1,6 m. Oprócz grzania omowego użyte zostaną neutralne wiązki atomów deuteru oraz grzanie wspomagające przy pomocy fal radiowych, w warunkach bliskich zapłonowi.

Projektowane parametry INTOR-a są kompromisem między stanowiskami USA i ZSRR a Japonii i krajów Europy Zachodniej. Różnica zdań wyniknęła w związku z planowanym sposobem prowadzenia eksperymentu na gotowym już urządzeniu. Fizykom amerykańskim i radzieckim chodziło głównie o wytworzenie jak najsilniejszego strumienia neutronów i wypróbowanie właściwości materiałów konstrukcyjnych, poddanych jego działaniu. Japończycy i eksperci z krajów europejskich pragnęli wykorzystać działanie INTOR-a dla osiągnięcia efektywnej produkcji energii elektrycznej i powielania trytu. Tryt konieczny jako paliwo może być wytworzony przez termojądrowy przemysł zbrojeniowy; nie jest to zatem problem dla USA i ZSRR, w przeciwieństwie do Japonii czy RFN.

Pierwsza, projektowa faza zakończy się w połowie 1981 r. Wtedy to zapadną ostateczne decyzje

o rozpoczęciu budowy. Jeśli nawet do tego nie dojdzie, projekt INTOR-a odegra i tak bardzo ważną rolę przez zgromadzenie, analizę i syntezę wszystkich najnowszych danych dotyczących tokamaków.

Phys. Today 33, No 3, 1980

W. R.

XIII Ogólnopolskie Seminarium Anihilacji Pozytonów w Piechowicach

Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego zorganizował w dniach 21–26 kwietnia 1980 r. w Piechowicach kolejne Ogólnopolskie Seminarium Anihilacji Pozytonów. Impreza ta zdobywa sobie coraz większe uznanie w świecie, czego wyrazem jest m. in. udział w niej w obecnym roku fizyków z zagranicy, reprezentujących aż 9 krajów. Ogółem w Seminarium uczestniczyło 76 fizyków (w tym 17 gości zagranicznych), którzy wysłuchali 34 referatów i komunikatów naukowych. Wśród gości zagranicznych znaleźli się m. in. znani specjaliści w dziedzinie fizyki powolnych pozytonów, profesorowie: W. Brandt (USA), K. Fujiwara (Japonia) i W. P. Szantarowicz (ZSRR). W referatach dominowała tematyka dotycząca wpływu procesów dyfuzji i pułapkowania na los pozytonu w substancji. Z nowości w tym zakresie należy wymienić przedstawioną w referacie prof. Brandta możliwość zmiany temperatury „gazu pozytonowego w substancji” w wyniku selektywnego (ze względu na energię) pułapkowania pozytonów. Z dużym zainteresowaniem przyjęto również wystąpienia fizyków szwajcarskich, którzy przedstawili nowe rozwinięcie dwuwymiarowego spektrometru anihilacyjnego.

Komitet Organizacyjny pod kierownictwem naukowym prof. B. Rozenfelda i organizacyjnym dr E. Dębowskiej zapewnił uczestnikom Seminarium dobre warunki pracy i miłą atmosferę. W imieniu Organizatorów należy w tym miejscu zaznaczyć istotną pomoc w pracach przygotowawczych do Seminarium, fizyków z Wyższej Szkoły Pedago-

gicznej w Opolu i, jak od kilku już lat, duże zaangażowanie Pani Longiny Dyrko, kierowniczką Domu Wczasowego „Uroczysko” w Piechowicach.

Wacław Świątkowski

50 lat *Electronics*

W kwietniu 1980 r. upłynęło 50 lat od ukazania się pierwszego numeru znanego czasopisma *Electronics*. Z tej okazji ukazał się specjalny zeszyt tego dwutygodnika przedstawiający historię rozwoju elektroniki oraz przewidywania na przyszłość.

Zaczyna się on od krótkiej historii samego czasopisma, potem przedstawiono sytuację społeczną, ekonomiczną i stan technologii w r. 1930. Dalej następuje historia rozwoju radia i początki telewizji w latach przedwojennych. Tu wspomniane są najważniejsze odkrycia fizyki leżące u podstaw elektroniki. Następnie przedstawiono gwałtowny rozwój elektroniki w latach wojennych, a dalej to co nazywa się erą ciała stałego — złącza *p-n*, triody krystaliczne, przyrządy planarne, układy scalone, mikroprocesory, pamięci optoelektronika, lasery; historia maszyn obliczeniowych; elektronika w komunikacji i badaniach przestrzeni pozaziemskiej. Przedstawiono także sylwetki kilku najwybitniejszych odkrywców w tej dziedzinie — z nich może wymienimy postacie najbardziej znane fizykom: Vladimir Zvorykin, Manfred von Ardenne, Theodore Maiman.

W rozdziale „Obwody klasyczne” podano 12 układów (od oscylatora lampowego z 1912 r. do integratora z 1955 r.), które zdaniem Redakcji *Electronics* stanowiły punkty zwrotne w rozwoju obwodów. W rozdziale „Przyszłość” przedstawiono przewidywania, jak będzie rozwijać się elektronika do r. 2000.

Zeszyt zawiera szczegółowe indeksy: rzeczowy i nazwisk (ok. 540 nazwisk fizyków i inżynierów) i firm przemysłowych.

Electronics 53, No 9 (1980)

B. W.

POSTĘPY FIZYKI

(dwumiesięcznik)

Warunki prenumeraty czasopisma

Cena prenumeraty: półrocznie zł 45.—

rocznie zł 90.—

Prenumeratę krajową przyjmują Oddziały RSW „Prasa—Książka—Ruch” oraz urzędy pocztowe i doręczyciele w terminach:

do dnia 25 listopada na I półrocze roku następnego i cały rok następny,

do dnia 10 czerwca na II półrocze roku bieżącego.

Jednostki gospodarki uspołecznionej, instytucje i organizacje społeczno-polityczne składają zamówienia w miejscowych Oddziałach RSW „Prasa—Książka—Ruch”, w miejscowościach zaś, w których nie ma Oddziałów RSW — w urzędach pocztowych. Prenumeratory indywidualni opłacają prenumeratę wyłącznie w urzędach pocztowych lub u doręczycieli.

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę (która jest o 50% droższa od prenumeraty krajowej dla zleceniodawców indywidualnych i o 100% dla instytucji i zakładów pracy) przyjmuje RSW „Prasa—Książka—Ruch”, Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto NBP XV MO Warszawa, nr 1153-201045-139-11, w terminach podanych dla prenumeraty krajowej.

Bieżące i archiwalne numery można nabywać lub zamówić we Wzorcowni Wydawnictw Naukowych PAN — Ossolineum — PWN, Pałac Kultury i Nauki (wysoki parter), 00-901 Warszawa oraz w księgarniach naukowych „Domu Książki”.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order stating the period of time, subscriber's name and address can be sent to any subscription agent or directly to Foreign Trade Enterprise ARS POLONA — RUCH, 00-680 Warszawa, Krakowskie Przedmieście 7, P. O. Box 1001, Poland.

Please send payments (annual subscription US \$ 18) to the account of ARS POLONA — RUCH through Bank Handlowy S. A., Traugutta 7, 00-067 Warszawa, Poland.

Tylko prenumerata zapewnia regularne otrzymywanie czasopisma

TREŚĆ

J. F. Nagle, H. L. Scott — Przemiany fazowe w błonach biologicznych (tłum. <i>P. Goldstein</i>)	517
RÓŻNE	
J. Kołodziejczak — Stan i kierunki rozwoju fizyki w Polsce. Część I: Ogólna charakterystyka potencjału badawczego w naukach fizycznych	533
WSPOMNIENIA — ROCZNICE	
K. Wolfke — Wspomnienia o Ojcu, Mieczysławie Wolfke	551
ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH	
G. Białkowski — Nauczanie fizyki w szkołach wyższych	559
NOWOŚCI NAUKOWE	
M. Murakami, H. P. Eubank — Najnowsze wyniki doświadczeń z tokamakami (tłum. <i>A. Senatorski</i>)	577
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	
H. Białkowska — Konferencja na temat ekstremalnych stanów w układach jądrowych w Dreźnie	597
Ł. A. Turski — III Międzynarodowa Konferencja Fizyko-Chemicznej Hydrodynamiki w Madrycie	598
M. Grynberg — Europejska Konferencja Fizyki Materii Skondensowanej Europejskiego Towarzystwa Fizycznego w Antwerpii	600
RECENZJE	
A. Chełkowski — Fizyka dielektryków (T. Krupkowski)	603
L. D. Landau, E. M. Lifszyc — Mechanika kwantowa (B. Średniawa)	605
KRONIKA	

CONTENTS

J. F. Nagle, H. L. Scott — Biomembrane Phase Transitions	517
MISCELLANEA	
J. Kołodziejczak — Present State and General Trends in Development of Physics in Poland. Part I: A General Characterization of the Research Potential in Physical Sciences	533
RECOLLECTIONS—ANNIVERSARIES	
K. Wolfke — Recollections of My Father, Dr Mieczysław Wolfke	551
PROBLEMS OF TEACHING PHYSICS IN ACADEMIC SCHOOLS	
G. Białkowski — Teaching Physics in Higher Schools	559
SCIENTIFIC NEWS	
M. Murakami, H. P. Eubank — Recent Progress in Tokamak Experiments	577
MEETINGS AND CONFERENCES	
REVIEWS	
CHRONICLE	