
PTF

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK
POŚWIĘCONY
UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY
FIZYCZNEJ

TOM 35
ZESZYT 3
1984

ZARZĄD

Prezes

Prof. dr TADEUSZ SKALIŃSKI

Wiceprezesa

Prof. dr ANDRZEJ OLEŚ
Prof. dr KAZIMIERZ ROSIŃSKI

Sekretarz Generalny

Doc. dr JANUSZ KONOPKA

Skarbnik

Dr hab. ALEKSANDRA KOPYSTYŃSKA

Członkowie Zarządu

Dr JERZY B. BROJAN
Prof. dr FRANCISZEK KACZMAREK
Prof. dr STANISŁAW ŁĘGOWSKI
Prof. dr CECYLIA WESOŁOWSKA

Zastępcy członków Zarządu

Doc. dr ERYK INFELD
Doc. dr TADEUSZ PNIEWSKI
Doc. dr IZABELA SOSNOWSKA

oraz redaktorzy naczelni czasopisma PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI — *Postępy Fizyki*
Prof. dr WIESŁAW CZYŻ — *Acta Physica Polonica*
Mgr MACIEJ JĘDRZEJCZAK — *Delta*
Prof. dr ROMAN INGARDEN — *Reports on Mathematical Physics*

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW TOWARZYSTWA

Prof. dr EUDOKIA OSTASZEWICZ (Białystok)
Doc. dr MIKOŁAJ ROZWADOWSKI (Bydgoszcz)
Dr RYSZARD HRABAŃSKI (Częstochowa)
Prof. dr JÓZEF HELDT (Gdańsk)
Doc. dr ANDRZEJ ZASTAWNY (Gliwice)
Dr MAREK ZRAŁEK (Katowice)
Doc. dr MARIAN KARGOL (Kielce)
Doc. dr WITOLD PRECHT (Koszalin)
Doc. dr ANDRZEJ FULIŃSKI (Kraków)

Dr BARBARA GŁADYSZEWSKA (Lublin)
Doc. dr STANISŁAW MICHALAK (Łódź)
Dr DANUTA TOKAR (Opole)
Doc. dr TADEUSZ HILCZER (Poznań)
Dr ADAM DRZYMAŁA (Rzeszów)
Dr HENRYK WREMBEL (Szczecin)
Dr JERZY MAJSZCZYK (Słupsk)
Prof. dr STANISŁAW ŁĘGOWSKI (Toruń)
Doc. dr ŁUKASZ A. TURSKI (Warszawa)
Prof. dr KAZIMIERZ ŁUKASZEWICZ (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 35, ZESZYT 3

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE
1984

RADA REDAKCYJNA

Ludwik Natanson, Leonard Sosnowski, Przemysław Zieliński

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny — Adam Sobiczewski

Członkowie Redakcji — Magdalena Staszal, Barbara Wojtowicz

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 *Józef Szpilecki* (Gliwice)
dr *Janusz Frąckowiak* (Katowice)
dr *Stanisław Kaluża* (Kielce)
dr *Anna Kapuścik* (Kraków)
mgr *Józef Pomorski* (Lublin)
prof. dr *Leszek Wojtczak* (Łódź)
dr *Wojciech Wojtanowski* (Opole)
prof. dr *Andrzej Graja* (Poznań)
mgr *Ewa Weinert-Rączka* (Szczecin)
dr *Hanna Męczyńska* (Toruń)
doc. dr *Aniela Wolska* (Warszawa)
dr *Bernard Jancewicz* (Wrocław)

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

Nakład 2107+93 egz. Ark. wyd. 9,00. Ark. druk. 7^{1/16}+3 wkł. Papier piśmienny kl. III. 70×100, 80 g. Oddano do składania w styczniu 1984. Podpisano do druku w czerwcu 1984. Druk ukończono w lipcu 1984. Zam. 59/84. Cena zł 60.—

Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, Manifestu Lipcowego 13

Jacek Sosnowski

Instytut Elektrotechniki
Warszawa

Własności wysokotemperaturowych nadprzewodników o strukturze A15

The Properties of the A15 Type High Temperature Superconductors

Abstract: The physical, mainly superconducting properties of the A15 type compounds are the subject of this article. Some of their applications are also briefly discussed.

1. Wstęp

Nadprzewodnictwo jest zjawiskiem fizycznym stwarzającym duże możliwości zastosowań praktycznych. W obecnych czasach jesteśmy świadkami w wielu uprzemysłowionych krajach świata przechodzenia od badań nad tym zjawiskiem w skali laboratoryjnej do etapu prototypowych rozwiązań poprzedzających powszechne zastosowanie. Uprzywilejowaną pozycję mogłaby mieć Polska ze względu na występowanie bogatych złóż helu w okolicach Odolanowa. Dlatego też celem tego artykułu jest przybliżenie czytelnikowi polskiemu jednego z aspektów tego zjawiska, a mianowicie zapoznanie go z własnościami pewnej klasy materiałów nadprzewodnikowych — związków typu A15, które od odkrycia w 1953 r. przez Hardego i Hulma [1] nadprzewodnictwa w V_3Si o temperaturze krytycznej ok. 17 K charakteryzują się najwyższą wartością temperatury krytycznej T_c ¹. Obecnie prymat w tej dziedzinie należy do warstw Nb_3Ge o temperaturze krytycznej 23,2 K [2].

Związki typu A15 wykazują również cały szereg innych niezwykłych właściwości stanu normalnego i nadprzewodzącego, co jest powodem, że interesują się nimi nie tylko fizycy. To wszystko skłania do poświęcenia tej grupie artykułu przeglądowego podsumowującego niektóre wyniki już ponad 30-letnich badań. Należy podkreślić, że w literaturze polskiej opracowania takiego dotychczas brakowało, jakkolwiek w literaturze światowej znanych jest kilka prac przeglądowych poświęconych temu tematowi [3—6].

Tematyka wysokotemperaturowego nadprzewodnictwa od lat absorbowała wyobraźnię fizyków. Należy zwrócić uwagę na prace Ginzburga i Little'a [7—8], które jako jedne z pierwszych wykazały możliwość realizacji wysokotemperaturowego nadprzewodnictwa

¹ Informacje ogólne o związkach typu A15 znajdzie Czytelnik w artykule W. Trzebiatowskiego „Struktura i własności fizyczne niektórych związków międzymetalicznych”, *Postępy Fizyki* 31, 417 (1980) (przyp. Red.).

przy wykorzystaniu ekscytonowego mechanizmu oddziaływania między elektronami. Little zaproponował w tym celu zbadanie quasijednowymiarowych molekuł polimerów z metalicznymi atomami w organicznej matrycy. Po bokach tych molekuł umieszczone miały być atomy dielektryka, w których mogą wystąpić wzbudzenia elektronowe — najogólniej określane terminem ekscyton. Wzbudzenia te powinny powodować przyciąganie elektronów z metalicznego podłoża. Ginzburg z kolei zwrócił uwagę na dwuwymiarowe struktury typu *sandwich*. Struktura taka złożona jest z metalicznego podłoża otoczonego z dwóch stron dielektrycznymi lub półprzewodnikowymi warstwami zapewniającymi ekscytonowy mechanizm nadprzewodnictwa w metalicznej części. Zaletą jedno- lub dwuwymiarowych modeli w porównaniu do trójwymiarowych jest to, że w pobliże przewodzącej nici lub warstwy łatwo jest wprowadzić dielektryczne otoczenie konieczne dla realizacji ekscytonowego mechanizmu nadprzewodnictwa.

Jakkolwiek ścisły, teoretyczny opis zjawiska wysokotemperaturowego nadprzewodnictwa oparty jest na zaawansowanych metodach kwantowej teorii pola, to jednak dla wyjaśnienia istoty problemu często wygodnie jest skorzystać z zasadniczego wzoru teorii BCS, otrzymanego w przybliżeniu słabego sprzężenia, wyrażającego temperaturę krytyczną T_c :

$$T_c = \theta_D \exp[-1/N(0)V], \quad (1)$$

gdzie θ_D oznacza temperaturę charakterystyczną widma wzbudzeń odpowiedzialnego za nadprzewodnictwo, $N(0)$ jest gęstością stanów elektronowych na poziomie Fermiego, a V — potencjałem efektywnego oddziaływania przyciągającego między elektronami. W dotychczasowych interpretacjach wyników eksperymentalnych efekt nadprzewodnictwa wiązano powszechnie z występowaniem fononowego mechanizmu oddziaływania przyciągającego między elektronami. Wówczas θ_D oznacza temperaturę Debye'a, a V jest potencjałem oddziaływania przyciągającego między elektronami, wyindukowanego wymianą fononów, zmniejszonym o wartość kulombowskiego oddziaływania między elektronami. Jeżeli więc przyjmiemy typowe dla mechanizmu fononowego wartości temperatury Debye'a rzędu kilkuset kelwinów oraz parametru $N(0)V \ll 1$, to otrzymamy wartość temperatury krytycznej rzędu 30—40 K. Tak więc otrzymaliśmy ograniczenie na temperaturę krytyczną w przypadku występowania fononowego mechanizmu nadprzewodnictwa w prostych metalach. Wyjątkiem może być jedynie metaliczny wodór, którego temperatura Debye'a powinna być znacznie wyższa, rzędu $3 \cdot 10^3$ K ze względu na małą masę jonów. Wówczas przy dostatecznie dużej wartości stałej sprzężenia można oczekiwać wartości temperatury krytycznej $T_c \sim 40 \div 90$ K. Jednak zarówno fakt, że otrzymanie metalicznego wodoru w stanie stabilnym wymaga kolosalnych wręcz ciśnień oraz nie w pełni możliwe do przewidzenia własności tego metalu powodują, że prawdopodobieństwo uzyskania na tej drodze wysokotemperaturowego nadprzewodnictwa nie jest duże.

Ograniczenie wartości T_c do 40 K odnosi się więc zasadniczo do związków, których nadprzewodnictwo oparte jest na fononowym mechanizmie oddziaływania między elektronami. Ograniczenia tego jednak nie ma przy realizacji ekscytonowego mechanizmu nadprzewodnictwa. Pod tym pojęciem rozumiemy występowanie przyciągającego oddziaływania między elektronami poprzez wymianę wzbudzeń typu elektronowego, najogólniej określanego terminem ekscyton. Ponieważ temperatura charakterystyczna tych wzbudzeń

może osiągnąć nawet wartość 10^4 K, więc przy utrzymaniu wartości stałej sprężenia $N(0)V = 1/4$ otrzymamy wartość $T_c = 180$ K. Ponieważ wymagane wzbudzenia ekscytonowe nie występują na ogół w prostych metalach, dla realizacji omówionego mechanizmu proponuje się wykorzystanie struktur jedno- lub dwuwymiarowych.

Podejrzewano występowanie ekscytonowego mechanizmu nadprzewodnictwa w kilku związkach organicznych oraz m. in. w CuCl, a obecnie również w niektórych półprzewodnikach, w tym w CdS, jednak brak jest dotychczas w pełni powtarzalnych danych na ten temat. Tak więc stan obecny badań eksperymentalnych nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego jest wynikiem prac głównie nad związkami o strukturze A15, którym poświęcono jest ten artykuł.

2. Wyniki pomiarów i ich interpretacja

Znane są 73 związki o strukturze A15, a w 53 z nich stwierdzono występowanie nadprzewodnictwa. Najwyższymi wartościami temperatur krytycznych T_c charakteryzuje się siedem z tych związków, którym też poświęcona jest największa liczba prac. Własności fizyczne tych siedmiu związków zebrane zostały w tabl. 1. Kolejne kolumny tablicy zawierają wartości temperatury krytycznej, nachylenie wyższego pola krytycznego w pobliżu temperatury krytycznej $(dH_{c2}/dT)_{T \rightarrow T_c}$, temperaturę Debye'a θ_D , stałą sieci struktury A15, wartość wyższego pola krytycznego $H_{c2}(0)$ ² oraz informacje na temat zmiękczenia widma fononowego³, temperaturowej zależności podatności magnetycznej stanu normalnego, przesunięcia Knighta i temperaturę strukturalnego przejścia fazowego od struktury kubicznej do tetragonalnej.

Tablica 1. Własności fizyczne wysokotemperaturowych związków o strukturze A15

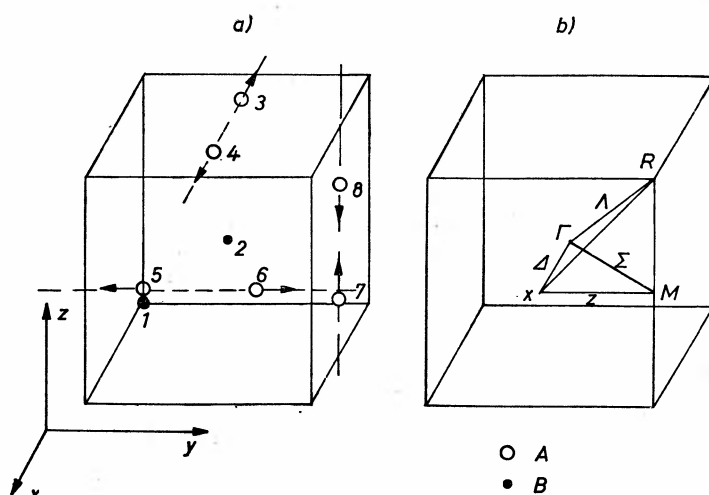
Nazwa związku	T_c [K]	$\left(\frac{dH_{c2}}{dT}\right)$ [T/K]	θ_D [K]	Stała sieci [Å]	$H_{c2}(0)$ [T]	Zmiękczenie widma fononów	Temperaturowa zależność			Temperatura przejścia fazowego [K]
							%	przesunięcia Knighta		
V_3Si	17.2	2.9	330	4.722	24	+	+	+	18–25	
V_3Ga	16.8	3.4	310	4.816	25	+	+	+	> 50	
Nb_3Sn	18.0	2.4	290	5.289	28	+	+	+	22–41.5	
Nb_3Al	18.7	2.52	290	5.187	33	?	?	?	80	
Nb_3Ge	23.2	2.38	378	4.133	38	–	–	–	–	
Nb_3Ga	20.7	2.43	378	5.165	34	–	–	–	–	
$Nb_3Al_xGe_{1-x}$	20.05	3.1	–	–	43.5	?	?	?	105–130	

² Wyższe pole krytyczne jest to taka wartość pola magnetycznego, w którym stan nadprzewodzący w objętości próbki zostaje zniszczony.

³ Zmiękczeniem widma fononów nazywane jest obniżenie energii fononów, w tym przypadku z maleńiem temperatury.

Dane do tabl. 1 zaczerpnięte zostały z literatury cytowanej w [9]. Oprócz związków o strukturze A15 temperaturę krytyczną wyższą od 15 K wykazały dotychczas azotki i węgliki niobu: NbN i NbC, wodorki palladu PdH_x domieszkowane Cu i Ag oraz Th_{0,3}Y_{0,7}C_{1,55}.

Szczególne zainteresowanie związkami typu A15 wynika nie tylko z faktu, że charakteryzują się one najwyższą wartością T_c , lecz również, że wykazują anomalne temperaturowe zależności parametrów, które dla zwykłych metali od temperatury nie zależą: podatności magnetycznej normalnego stanu χ , elektronowego współczynnika ciepła właściwego γ , przesunięcia Knighta ⁴, iloczynu czasu relaksacji jądrowej τ i temperatury, a także własności elastycznych: modułów sprężystości $c_{11} - c_{12}$, c_{44} i niestabilność sieci. Stwierdzono, że wymienione anomalie są związane z wysokotemperaturowym nadprzewodnictwem, co również ilustruje tabl. 1.



Rys. 1. a) Komórka elementarna struktury A15 z zaznaczonymi położeniami atomów. Strzałki oznaczają kierunek ruchu atomów przy przejściu fazowym. b) Strefa Brillouina struktury A15 z zaznaczonymi punktami wysokiej symetrii

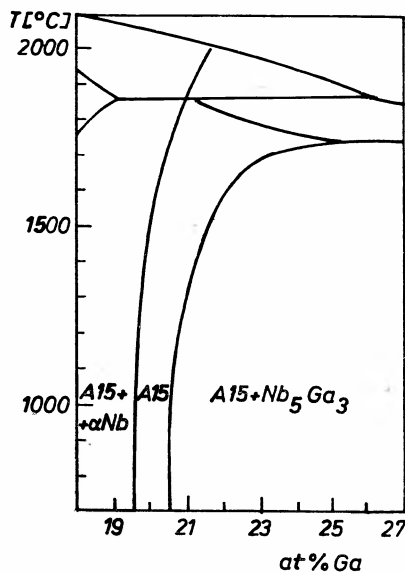
Pewna uniwersalność własności fizycznych związków o strukturze A15 sugeruje, że istotne jest tu ułożenie atomów w komórce elementarnej i symetria tej struktury. Dlatego też wskazane jest prześledzić budowę komórki elementarnej związków typu A15 o chemicznym wzorze A_3B . Grupa przestrzenna tych związków $O_h^3(Pm\bar{3}n)$ jest niesymorficzną grupą punktową o prostej sieci Bravaisa. Ułożenie atomów w komórce elementarnej pokazane zostało na rys. 1. Atomy B tworzą sieć kubiczną przestrzennie centrowaną, podczas gdy atomy A są umieszczone na ścianach sześcianu. Grupy punktowe dla atomów A i B są odpowiednio: $D_{2h}(42m)$ oraz $T_h(m\bar{3})$. Najbliższymi sąsiadami atomów A są dwa inne atomy A położone w odległości $a/2$ (a oznacza krawędź sześcianu). Następnymi sąsiadami

⁴ Przesunięcie Knighta jest zmianą częstości magnetycznego rezonansu jądrowego w wyniku oddziaływania nadształnego między jądrowym momentem magnetycznym a polem wytworzonym przez wypadkowy spin elektronów.

atomów A są 4 atomy B położone w odległości $0,559a$. Najbliższymi sąsiadami atomów B jest natomiast 12 atomów A w tej samej odległości $0,559a$. Na komórkę elementarną A_3B przypada 6 atomów A i 2 atomy B w położeniach wyrażonych w jednostkach stałej sieci a :

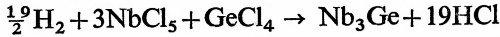
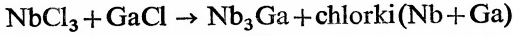
$$\begin{array}{l} 2B \left(0 \ 0 \ 0 \right) \left(\frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{2} \right) \\ 6A \left(\frac{1}{4} \ 0 \ \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} \ \frac{1}{4} \ 0 \right) \left(0 \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{4} \right) \\ \left(\frac{3}{4} \ 0 \ \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} \ \frac{3}{4} \ 0 \right) \left(0 \ \frac{1}{2} \ \frac{3}{4} \right) \end{array}$$

Atomami A są na ogół atomy metali przejściowych IV, V i VI grupy np. Nb, V, Ti, Zr, Mo, podczas gdy atomy B są najczęściej atomami nieprzejściowych pierwiastków takich, jak Ga, Ge, In, Sn, Si, Al, a także mogą to być atomy pierwiastków przejściowych, na ogół VIII grupy, np. Os, Ir, Pt, Co, Ni. Pierwotnie związkom tej klasy przypisywano strukturę β -W. W tzw. strukturze β -W występuje około 25 at. % tlenu, natomiast sam wolfram nie wykazuje polimorfizmu. Atomy O w strukturze β -wolframu są jednak rozłożone chaotycznie w przeciwieństwie do struktury A15, gdzie atomy zajmują ściśle określone położenie [10]. Szczególną cechą struktury A15 jest występowanie 3 rodzin ortogonalnych liniowych łańcuchów atomów A położonych w kierunkach równoległych do osi krystalograficznych x , y , z . Fakt ten w wielu pracach służył do wyjaśnienia anomalii tych związków oraz sugeruje quasi-jednowymiarowy model przewodnictwa. Grupa przestrzenna O_h^3 związków typu A15 wykazuje 48 operacji symetrii, a więc tyle ile prosta sieć kubiczna. W strukturze A15 występują 24 operacje typu $\{\alpha|R_n\}$, gdzie α jest operacją grupy punktowej T_h , natomiast R_n translacją o wektor sieci. Poza tym występuje 24 dalszych operacji analogicznych, powiązanych z translacją ułamkową o długości równej połowie przekątnej. Występowanie operacji translacji ułamkowych prowadzi do pewnych osobliwości w strukturze pasmowej tych związków. Operacje symetrii dotyczą oczywiście stechiometrycznego składu A_3B . Obszar homogenności fazy A15 jest jednak wąski i na ogół przesunięty względem stechiometrycznego składu A_3B , co zostało zilustrowane na przykładzie diagramu fa-



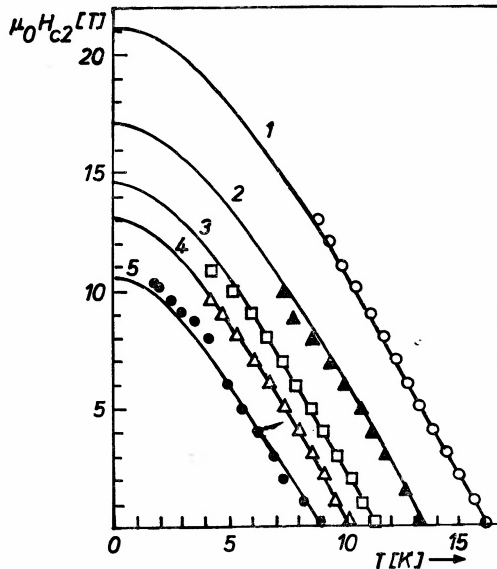
Rys. 2. Diagram fazowy Nb-Ga [15]

zowego Nb-Ga pokazanego na rys. 2. W obszarze uboższym w gal występuje α -Nb, natomiast przy wyższych zawartościach galu powstaje faza Nb_5Ga_3 oraz mieszanina A15 i Nb_3Ga_3 . Własności nadprzewodnikowe tych związków zależą w istotny sposób od metody ich preparatyki. Rozwinięte zostały specjalne metody ich otrzymywania. Występuje zasadniczo podział na układy cienkowarstwowe i lite. Warstwy otrzymuje się za pomocą działła elektronowego, metodą rozpylania katodowego, triodowego lub transportu chemicznego. Metodą transportu chemicznego otrzymano np. wysokotemperaturowe warstwy Nb_3Ga , Nb_3Ge oraz Nb_3Sn wg schematycznej reakcji:

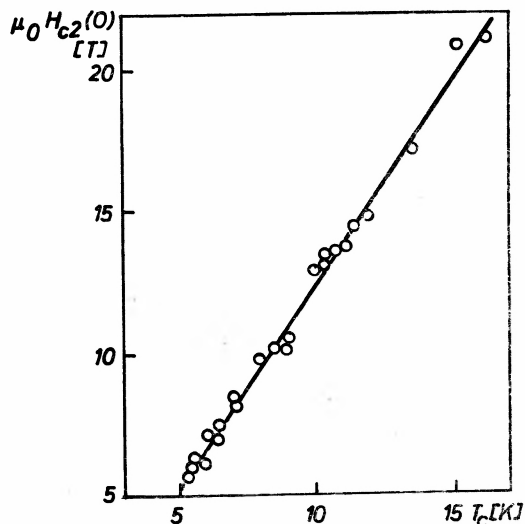


Lite polikrystaliczne próbki otrzymuje się z kolei na ogół za pomocą stapiania w piecu łukowym z nierozpylaną wolframową elektrodą w atmosferze oczyszczonego argonu. Szczególnie dobre rezultaty otrzymano stosując metodę gwałtownego schładzania z fazy ciekłej, co prowadzi do zamrożenia struktury A15. Dotychczas otrzymano nieliczne monokrystaliczne próbki V_3Si i Nb_3Sn metodą topienia strefowego z powolnym przesuwem strefy.

Związki typu A15 wykazują wysokie wartości pól krytycznych i prądów krytycznych, co jest także przyczyną licznych ich zastosowań. Przykład temperaturowej zależności wyższego pola krytycznego dla kilku stopów tej klasy o składzie Nb-Ga-Mn_x pokazany jest na rys. 3. Linia ciągła oznacza wartości teoretyczne, podczas gdy punkty są wartościami doświadczalnymi. Ekstrapolowane wartości $H_{c2}(0)$ przewyższają 20 T dla niedomieszko- wanych próbek, natomiast ze wzrostem koncentracji domieszek magnetycznych ulegają obniżeniu, analogicznie do temperatury krytycznej, co pokazano na rys. 4. Wpływ do-

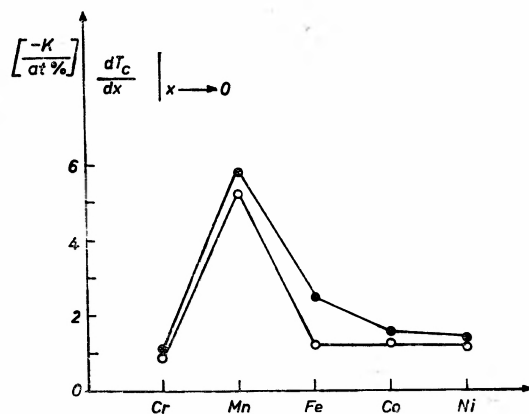


Rys. 3. Zależność temperaturowa wyższego pola krytycznego próbek stopionych o składzie $Nb_{78}Ga_{22-x}Mn_x$: 1- $x=0$, 2- $x=0.5$, 3- $x=1$, 4- $x=1.5$, 5- $x=2$ [16]



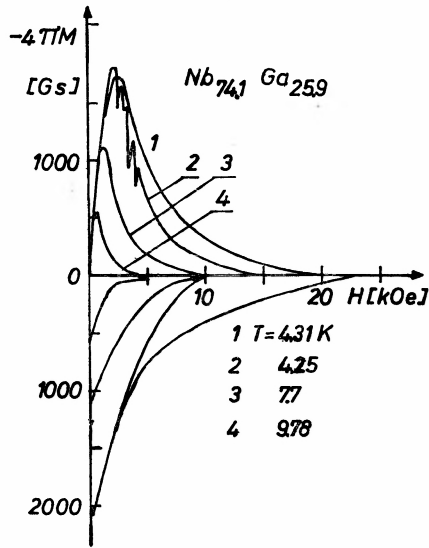
Rys. 4. Zależność wyższego pola krytycznego $H_{c2}(0)$ od temperatury krytycznej dla próbek Nb-Ga-Mn o strukturze A15 [16]

mieszek magnetycznych takich jak Fe, Mn oraz ziem rzadkich na własności nadprzewodnikowe jest obecnie jednym z bardziej intensywnie badanych problemów nadprzewodnictwa i w przypadku faz Chevrela przyniósł tak nieoczekiwane efekty jak reentranty tzn. przejścia



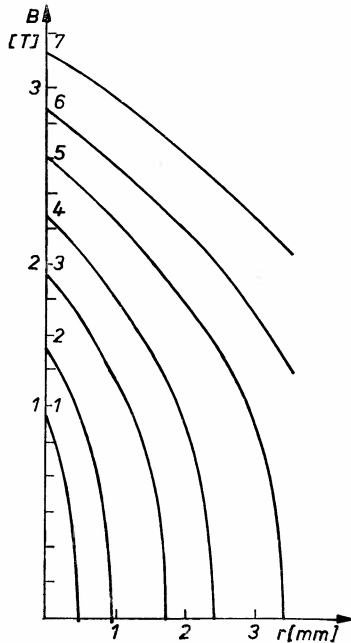
Rys. 5. Obniżenie temperatury krytycznej próbek $Nb_{80}Ga_{20}$ typu A15 pod wpływem domieszkowania kolejnymi atomami metali 3d: \circ — próbki stopione, \bullet — próbki wygrzane w $750^\circ C$ [17]

z obniżeniem temperatury do stanu nadprzewodzącego a następnie powrót do normalnego stanu. Najprostsza interpretacja zarówno obniżenia H_{c2} , jak i zjawiska reentrant polega na tym, że domieszki lub uporządkowanie ferromagnetyczne powoduje rozerwanie spinów tworzących parę Coopera w procesie rozpraszania spin-flip. Na rys. 5 przedstawione są z kolei wartości obniżenia temperatury krytycznej stopu $Nb_{80}Ga_{20}$ pod wpływem domieszkowania kolejnymi magnetycznymi atomami metali 3d w granicy małych koncentracji domieszek. Rys. 6 przedstawia krzywe magnetyzacji zmierzone na próbce $Nb_{74.1}Ga_{25.9}$



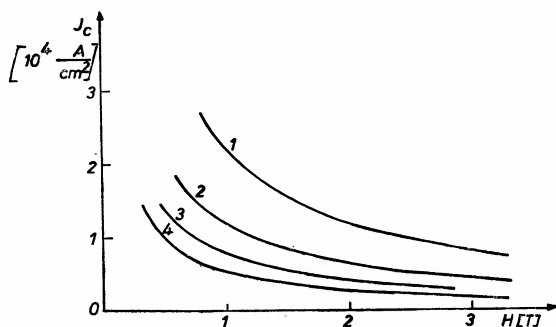
Rys. 6. Krzywa magnetyzacji próbki Nb_{74.1}Ga_{25.9} o strukturze A15 [18]

w kilku temperaturach. Krzywa 1 dotyczy próbki wygrzanej w 700°C, podczas gdy pozostałe krzywe — stopionej. Histereza krzywych magnetyzacji ulega obniżeniu ze wzrostem temperatury, co jest bezpośrednim odzwierciedleniem spadku gęstości prądu krytycznego. Pomiary krzywych magnetyzacji stosowane są często do określenia metodą indukcyjną

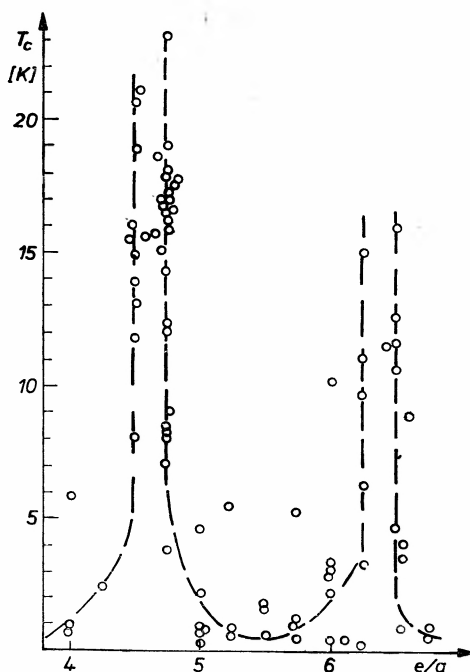


Rys. 7. Rozkład indukcji magnetycznej w próbce Nb₅Al₂₅ dla kilku wartości natężenia narastającego pola magnetycznego [9]

wartości prądów krytycznych, a także rozkładu indukcji magnetycznej w próbkach. Wyznaczony na podstawie pomiarów magnetyzacji rozkład indukcji magnetycznej dla narastającego zewnętrznego pola magnetycznego pokazany został na rys. 7 dla próbki Nb_3Al . Na rys. 6 widoczne są skoki indukcji magnetycznej. To interesujące zjawisko, powstałe w wyniku niestabilności magnetotermicznej sieci skwantowanych nici wirowych tzw. fluksonoidów odgrywa istotną rolę w zastosowaniach praktycznych związków typu A15. Wyznaczone na podstawie pomiarów magnetyzacji wartości gęstości prądu krytycznego kilku próbek o składzie $\text{Nb}_{75}\text{Ga}_{25-x}\text{Al}_x$ pokazane są na rys. 8. Zważywszy, że dla typowych nadprzewodników I rodzaju, takich jak In, Sn temperatura krytyczna osiąga wartość kilku



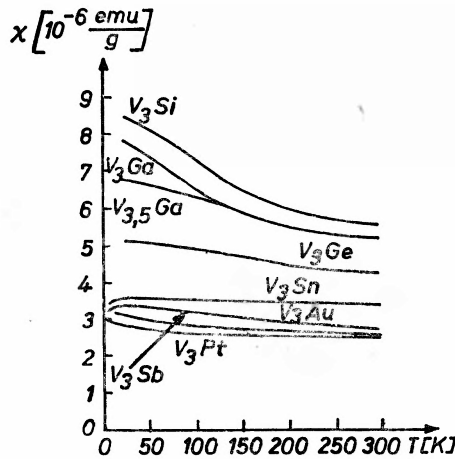
Rys. 8. Gęstość prądu krytycznego w funkcji natężenia pola magnetycznego dla próbek $\text{Nb}_{75}\text{Ga}_{25-x}\text{Al}_x$:
 $1-x=20$, $2-x=17,5$, $3-x=15$; $4-x=0$; $T=4,2\text{ K}$ [19]



Rys. 9. Zależność temperatury krytycznej od koncentracji elektronów na atom dla związków typu A15 [9]

stopni, pola krytyczne są niższe od 1 T, a prądy krytyczne około 10^2 A/cm², własności nadprzewodnikowe związków typu A15 należy uznać za anomalne.

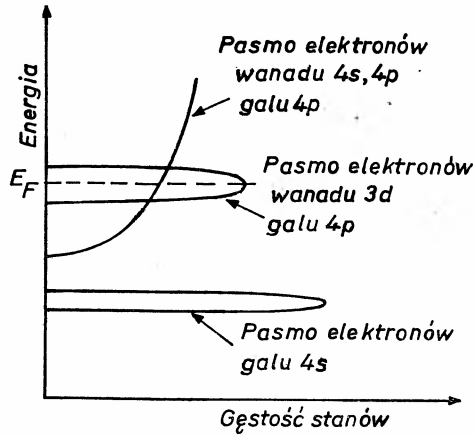
Temperatury krytyczne binarnych związków typu A15 zebrane zostały na rys. 9. Zależą one w istotny sposób od koncentracji elektronów na atom, co zgadza się z empiryczną regułą Matthiasa. Maksymalne wartości T_c obserwuje się w pobliżu koncentracji 4,7 i 6,5 elektronów na atom. Bardzo podobny przebieg ma zależność od koncentracji elektronów na atom współczynnika elektronowego ciepła właściwego oraz podatności magnetycznej stanu normalnego. Wymienione zależności sugerują występowanie maksimum w gęstości stanów na poziomie Fermiego w wysokotemperaturowych związkach typu A15. Są jednak wyjątki od tej reguły. Np. Nb₃Al jakkolwiek charakteryzuje się wysoką wartością T_c ,



Rys. 10. Zależność temperaturowa podatności magnetycznej kilku związków wanadu typu A15 [10]

to jednak nie wykazuje wysokich wartości χ i γ , co sugeruje, że za nadprzewodnictwo w tym przypadku odpowiedzialne jest raczej silne oddziaływanie elektron-fonon, a nie duża gęstość stanów.

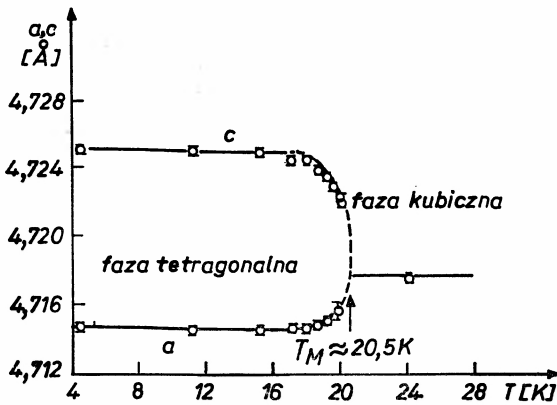
Występowanie maksimum w gęstości stanów w wielu wysokotemperaturowych związkach o strukturze A15 wykazały również inne eksperymenty, jak np. pomiary przesunięcia Knighta, czy temperaturowej zależności podatności magnetycznej. Niektóre wyniki pomiarów podatności pokazane zostały dla kilku związków wanadu na rys. 10. W wysokotemperaturowych związkach takich jak V_3Si czy V_3Ga obserwuje się silne temperaturowe zależności tych parametrów, podczas gdy niskotemperaturowe nadprzewodniki typu A15, np. V_3Pt , V_3Sb nie wykazują ich. Fakty te były podstawą pierwszego fenomenologicznego modelu struktury pasmowej związków typu A15 zaproponowanego przez Jaccarino i Clogstona [11]. Elektrony typu 4s i 4p wanadu tworzą w tym modelu skolektywizowane z elektronami 4p galu pasmo przewodnictwa, podczas gdy elektrony 3d wanadu formują wąskie pasmo o dużej gęstości stanów na poziomie Fermiego (rys. 11). Podatność magnetyczna jest wówczas utworzona z dwóch wyrazów: χ_c — zasadniczo niezależnego od temperatury, pochodzącego od elektronów przewodnictwa oraz χ_d — zależnego od temperatury, po-



Rys. 11. Struktura pasmowa V_3Ga według modelu Clogstona i Jaccarino [11]

chodzącego od elektronów d . Podobnie wyjaśnić można temperaturową zależność przesunięcia Knighta.

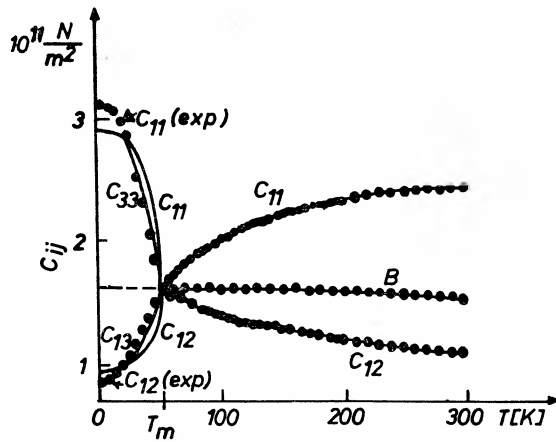
Istotną własnością stanu normalnego związków typu A15 jest martensytowe przejście fazowe. Przejście od struktury kubicznej do tetragonalnej zaobserwowane zostało [12] w temperaturze około 20 K w kryształach V_3Si . Stała sieci struktury tetragonalnej zmieniała się od $c/a = 1$ do 1.0024. Stopniowy wzrost deformacji sugeruje II rodzaj przejścia fazo-



Rys. 12. Zmiany stałych sieciowych przy przejściu fazowym monokryształu V_3Si [12]

wego. W pracy [13] zaobserwowano przejście fazowe w Nb_3Sn , lecz o deformacji mniejszej od 1 ($a/c = 1.0065 - 1.009$) w temperaturze 43 K. Wyniki badań deformacji struktury monokryształu V_3Si pokazane zostały na rys. 12. Obecnie nie jest całkowicie jasne, który rodzaj przejścia fazowego realizuje się w tych związkach. Prawdopodobnie w Nb_3Sn występuje przejście fazowe I rodzaju, na co wskazuje wystąpienie spontanicznej deformacji struktury, podczas gdy dla V_3Si uważa się, że przejście fazowe jest drugiego rodzaju, co wynika z braku skokowej zmiany wymiarów komórki elementarnej, braku ciepła utajonego czy niewystępowania efektów histerezy i przechłodzenia. Przejście fazowe występuje

jednak nie we wszystkich związkach typu A15, a nawet wśród nich tylko w próbkach o dobrej jakości. Rozpatrując przejście fazowe jako rezultat parowania atomów w łańcuchach, co prowadzi do podwojenia stałej sieci, traktować je można jako przejście typu peierlowskiego. Kierunek przesunięcia atomów w momencie przejścia fazowego pokazany został strzałkami na rys. 1a. Z punktu widzenia mikroskopowego za przejście fazowe odpowiedzialne jest zmiękczenie widma fononowego, a konkretnie modu akustycznego rozchodzącego się wzdłuż kierunku $[110]$ o poprzecznej polaryzacji $[1\bar{1}0]$. Odpowiada to zerowaniu się przesuniętego modu sprężystości $c_s = c_{11} - c_{12}$. Takie też anomalie modułu c_s obserwuje się w transformujących próbkach wysokotemperaturowych Nb_3Sn i V_3Si (rys. 13), podczas gdy dla nietransformujących próbek moduły sprężystości nie zależą od temperatury.



Rys. 13. Zmiany współczynników sprężystości c_{11} , c_{12} , c_{33} , c_{13} , $B = \frac{1}{3}(c_{11} + 2c_{12})$ w funkcji temperatury monokryształu Nb_3Sn . Linie ciągłe oznaczają wyniki obliczeń teoretycznych [13]

Wyjaśnieniu wyjątkowo dużej wartości T_c w związkach typu A15 poświęcono wiele prac. Wskazywano na możliwość uzyskania wysokotemperaturowego nadprzewodnictwa w systemach quasi-jednowymiarowych, jednak w związkach typu A15 występuje silne oddziaływanie między łańcuchami. Dla pogładowego zrozumienia wartości T_c pomocny jest wzór (1) teorii BCS. Wysoka wartość T_c może być związana z dużą gęstością stanów na powierzchni Fermiego $N(0)$. Założenie to leży u podstaw modelu Labbe-go-Friedela-Barisica, w którym wysoka gęstość stanów $N(0)$ wynika z przechodzenia powierzchni Fermiego przez ostre maksimum w gęstości stanów w pasmie $3d$ [14]. Ze względu na quasi-jednowymiarowy charakter przewodnictwa założony w tym modelu, pasmo $3d$ ma osobliwość pierwiastkową na dnie i rozszczepione jest na 5 podpasm o różnych liczbach kwantowych $m = 0, \pm 1, \pm 2$. Z kolei Testardi zwrócił uwagę na anomalie elastycznych własności tych związków [3] wynikłe raczej z silnego sprzężenia między fononami powodującego zmiękczenia widma fononowego i wzrost T_c , podczas gdy sama postać widma elektronowego nie odgrywa w tej interpretacji tak istotnej roli. Własności związków o strukturze A15 były również przedmiotem interpretacji w modelu Gorkowa, Cody-Cohen-Hallorana, Noolandi i Shama, Bhatta-McMillana, Fröhlicha-Peierlsa [3–6].

3. Zastosowania

Wyjątkowe własności związków o strukturze A15 są powodem licznych zastosowań tych materiałów. Podstawowym jest wykorzystanie do produkcji drutów i taśm nadprzewodnikowych. Druty takie wykonywane są już seryjnie w wielu krajach świata, m. in. w ZSRR, USA, Japonii, RFN, Wielkiej Brytanii, NRD. Zasadniczym materiałem używanym w tym procesie jest Nb_3Sn , jakkolwiek czynione są także próby z otrzymaniem przewodu z innych wysokotemperaturowych związków typu A15: V_3Ga , Nb_3Ge , Nb_3Ga . Dla zapewnienia stabilności magnetotermicznej wielowłóknowy drut nadprzewodnikowy zbudowany jest z włókien mikronowej średnicy zanurzonych w matrycy z metalu dobrze przewodzącego ciepło: na ogół stosuje się w tym celu czystą miedź. Wyindukowane zmiennym polem magnetycznym prądy sprzężenia między poszczególnymi włóknami nadprzewodnikowymi redukuje się skręcając drut nadprzewodnikowy oraz stosując w matrycy miedzianej bariery, np. z CuNi. Tak skonstruowanemu przewodowi należy jeszcze zapewnić odpowiednią giętkość, co pozwoli uzyskać odpowiednio mały promień uzwojenia. Nb_3Sn jest bowiem materiałem kruchym. Uzwojenie więc często trzeba nawijać przewodem nieprzereagowanym do końca, a następnie dopiero prowadzić proces długotrwałego wygrzania powodującego ostateczne przereagowanie nadprzewodnika. Druty nadprzewodnikowe są już lub w najbliższej przyszłości będą wykorzystywane do wytwarzania silnych pól magnetycznych, przesyłania energii elektrycznej, separacji magnetycznej. Od sprawności magnesów nadprzewodnikowych w tokamakach w dużym stopniu zależy realizacja programu otrzymania kontrolowanej reakcji termojądrowej.

Literatura

- [1] G. F. Hardy, J. K. Hulm, *Phys. Rev.* **93**, 1004 (1954) oraz *Phys. Rev.* **89**, 884 (1953).
- [2] L. R. Testardi, J. H. Wernick, W. A. Royer, *Solid State Commun.* **15**, 1 (1974).
- [3] L. R. Testardi, *Rev. Mod. Phys.* **47**, 637 (1975).
- [4] L. R. Testardi, M. Weger i I. Goldberg, *Swierkhprovodiashchye soedinenia so strukturaj β -volframa* [w serii]: *Novosti Fiziki Tverdovo Tela*, zeszyt 6, Mir 1977.
- [5] E. M. Sawicki, *Swierkhprovodiashchye materialy*, wyd. Metelurgija, Moskwa 1976.
- [6] J. Iziunow, E. Z. Kurmajew, *Usp. Fiz. Nauk* **113**, 193 (1974).
- [7] V. L. Ginzburg, *Annu. Rev. Material Sci.* **2**, 663 (1972).
- [8] W. A. Little, *Phys. Rev.* **A134**, 1416 (1964).
- [9] J. Sosnowski, *Własności nadprzewodnikowe stopów Nb_3Ga o strukturze A15 domieszkowanych magnetycznymi atomami metali 3d: Cr, Mn, Fe, Co, Ni oraz nieprzejsiową domieszką A1*, wyd. Fizyka i Chemia Ciała Stałego, Wrocław 1984.
- [10] G. Hägg, N. Schönberg, *Acta Crystallogr.* **7**, 351 (1954).
- [11] A. M. Clogston, V. Jaccarino, *Phys. Rev.* **121**, 1357 (1961).
- [12] B. W. Batterman, C. S. Barrett, *Phys. Rev.* **149**, 296 (1966).
- [13] W. Rehwald, *Phys. Lett.* **A27**, 287 (1968).
- [14] J. Labbe, J. Friedel, *J. Phys. Radium* **27**, 153 (1966).
- [15] R. Flükiger, J. L. Jorda, *Solid State Commun.* **22**, 109 (1977).
- [16] J. Sosnowski, M. Dryś, T. Mydlarz, *Phys. Status. Solidi* (a) **57**, 323 (1980).

- [17] J. Sosnowski, T. Mydlarz, *Conf. on Physics of Transition Metals 1980*, red. P. Rhodes, Leeds University, *Inst. Phys. Conf. Ser.* **55**, 571 (1981).
- [18] J. Sosnowski, J. Szymaszek, M. Dryś, *XIX Wsekhsoyuznĭe Soveszczane po Fizike Niskikh Temperatur*, Mińsk 1976, wyd. Ukr. Akad. Nauk 1976, s. 48.
- [19] J. Sosnowski, *Phys. Status. Solidi* (a) **64**, 771 (1981).
- [20] H. J. Williams, R. C. Sherwood, *Bull. Am. Phys. Soc.* **25**, 430 (1960).

Eitan Abraham, Colin T. Seaton, S. Desmond Smith

Heriot-Watt University,
Edinburgh, Wielka Brytania

Komputer optyczny *

The Optical Computer

Abstract: A computer based on beams of light rather than electric currents might be capable of a trillion operations per second. The crucial component, an optical analogue of the transistor, has been built.

Rozwój maszyn cyfrowych w ostatnich czterdziestu latach jest tak ściśle związany z rozwojem technologii elektronicznej, że przyzwyczailiśmy się uważać komputer za urządzenie wyłącznie elektroniczne. W rzeczywistości operacje logiczne i arytmetyczne prowadzone przez komputer można wykonywać także w inny sposób. W połowie lat siedemdziesiątych stwierdzono możliwość skonstruowania urządzenia liczącego, w którym sygnały są przekazywane wiązką promieniowania laserowego, a nie za pośrednictwem prądu elektrycznego. Silnym bodźcem stymulującym rozwój takiego optycznego komputera jest fakt, że może on pracować 1000 razy szybciej niż komputer elektroniczny.

Podstawowymi elementami każdej maszyny cyfrowej są przełączniki zdolne pozostawać w jednym z dwóch stanów przewodzenia. Prędkość obliczeń komputera jest m. in. ograniczona czasem potrzebnym do zmiany stanu przełącznika. W elektronicznym komputerze wszystkie przełączniki są tranzystorami, lecz nawet w najszybszym istniejącym obecnie tranzystorze nie można zmienić stanu w czasie krótszym od nanosekundy (10^{-9} s). Optyczny odpowiednik tranzystora można przełączyć z jednego stanu przewodzenia do drugiego w czasie pikosekundy, jednej tysięcznej nanosekundy.

Opracowaliśmy eksperymentalną wersję optycznego tranzystora przełączanego małą zmianą natężenia padającego promieniowania laserowego. Tranzystor optyczny nazwany przez nas transfazorem działa wykorzystując właściwość pewnych kryształów. Wzrost natężenia światła powoduje zmianę współczynnika załamania kryształu, co jest miarą zmiany prędkości światła przechodzącego przez materiał. Właściwy wybór materiału krystalicznego i długości fali świetlnej pozwala wykorzystać zmianę współczynnika załamania do zbudowania przyrządu, w którym bardzo małe zmiany natężenia światła padającego powodują silną zmianę natężenia promieniowania przechodzącego. W naszym przyrządzie osiągnęliśmy czasy przełączania rzędu pikosekund.

* Artykuł, opublikowany w *Scientific American* 248 (2), 63 (1983), został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy. [Translated with permission. Copyright © 1983 by *Scientific American*, Inc. All rights reserved.] (przyp. Red.).

Optyczny tranzystor może posłużyć do budowy komputera przetwarzającego informacje w ten sam sposób co komputer elektroniczny, ale dużo szybciej. W bardziej odległej przyszłości tranzystor optyczny może zmienić architekturę komputera. W każdym optycznym tranzystorze można jednocześnie prowadzić operacje na wielu równoległych wiązkach promieniowania laserowego, podczas gdy urządzenie elektroniczne może w danej chwili przetwarzać tylko jeden sygnał. Ponadto, badane przez nas kryształy mogą przy stałym wzroście natężenia wiązki padającej przełączać do kolejnych coraz wyższych poziomów transmitowanej mocy, natomiast elektroniczne tranzystory stosowane dotąd w komputerach mają jedynie dwa stany wyjściowe. Zastosowanie przyrządów mających więcej niż dwa stany stabilne może prowadzić do stworzenia nowego systemu logiki komputerowej.

Konstrukcja optycznego komputera wymaga zbudowania poza tranzystorem optycznym wielu dodatkowych elementów obwodu. W laboratorium Uniwersytetu Heriotta-Watta wykonaliśmy elementy składowe scalonego układu optycznego. Mimo iż należy pokonać ogromne trudności techniczne, zanim taki układ zostanie wyprodukowany, komputery optyczne stanowią ciekawą perspektywę bliskiej przyszłości.

Funkcje przełącznika

Trzy podstawowe funkcje komputera — operacje arytmetyczne, operacje logiczne oraz przechowywanie informacji czyli pamięć — są wykonywane obecnie przez urządzenia, które mają dwa stabilne stany. W operacjach arytmetycznych stany te odpowiadają cyfrom 0 i 1 binarnego układu liczbowego. Podczas obliczania wartości wyrażeń logicznych stany te oznaczają prawdę i fałsz. Pamięć komputera przechowuje rezultaty operacji arytmetycznych i logicznych w przyrządach przyjmujących jeden z tych dwóch stanów.

W dwójkowym systemie algebraicznym komputer może obliczać wartość wyrażenia logicznego korzystając z trzech funkcji logicznych nazywanych zwykle funkcjami AND, OR i NOT. W iloczynie logicznym AND wyrażenie przyjmuje wartość prawdy, jeśli wszystkie jego składniki są prawdziwe. W sumie logicznej OR wyrażenie przyjmuje wartość prawdy, jeżeli choć jeden z jego składników jest prawdą. W funkcji negacji NOT wartość wyrażenia logicznego jest odwracana. Bardziej skomplikowane operacje logiczne, jak również operacje arytmetyczne, np. dodawanie, można zbudować z tych trzech podstawowych funkcji.

Budowa komputera wymaga skonstruowania urządzenia, które może fizycznie przyjmować wartości 0 i 1, lub „prawda” i „fałsz” i które można łączyć w przyrządy większej skali, wykonujące trzy funkcje logiczne. Urządzenie oczywiście musi mieć dwa łatwo rozróżnialne stany wyjściowe. Jeżeli komputer ma pracować z dużą szybkością, to przełączanie pomiędzy stanami wyjściowymi musi zachodzić w krótkim czasie. Z innych względów najlepszy przełącznik powinien być mały, prosty w produkcji i wymagający małej mocy zasilającej.

Pierwszym stosowanym praktycznie przełącznikiem elektronicznym była lampa próżniowa. Lampa była powolna, duża i generowała znaczną ilość ciepła, skracającą czas jej pracy. W rezultacie komputery lampowe miały duże rozmiary przy małych możliwościach

obliczeniowych. Zwiększenie mocy obliczeniowej wymagałoby ciągłej wymiany uszkodzonych lamp.

Wynalezienie w 1947 r. tranzystora dostarczyło mniejszego, szybszego i bardziej wydajnego przełącznika. W swojej najprostszej postaci tranzystor jest trójwarstwową strukturą materiałów półprzewodnikowych. (Półprzewodnik jest materiałem, którego przewodnictwo elektryczne jest większe od przewodnictwa elektrycznego izolatorów, a mniejsze od przewodnictwa metali; własności elektryczne półprzewodników można łatwo zmieniać). Warstwy zewnętrzne są nazywane emiterem i kolektorem, środkowa warstwa to baza. Własności elektryczne warstw są tak dobrane, że mała zmiana prądu płynącego z bazy do kolektora powoduje duże zmiany prądu płynącego między emiterem a kolektorem.

Duży prąd z kolektora może oznaczać 1, a mały prąd 0. Łącząc tranzystory z innymi elementami obwodu można zbudować struktury realizujące funkcje AND, OR i NOT, struktury nazywane bramkami logicznymi. Jeśli wszystkie prądy wejściowe są duże, bramka AND daje w wyniku duży prąd. Przez bramkę OR płynie duży prąd, gdy choć jeden sygnał wejściowy jest duży. Bramka NOT daje duży prąd wyjściowy, gdy sygnał wejściowy jest mały i odwrotnie, mały prąd z dużego sygnału na wejściu.

Ograniczenia tranzystora

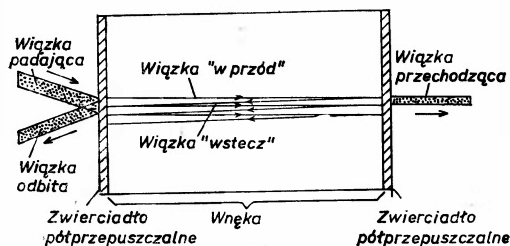
Zależnie od rozmiarów, materiału, konstrukcji i przełączanej mocy półprzewodnikowe bramki logiczne potrzebują na jedną operację od 1 do 1000 ns. W idealnym przypadku najszybsze bramki mogą wykonywać miliard operacji logicznych na sekundę, w praktyce prędkości komputerów są znacznie mniejsze. Z podstawowych rozważań fizycznych wynika, że osiągnięte obecnie minimum 1 ns jest bliskie najkrótszego czasu przełączania możliwego do uzyskania przez urządzenie półprzewodnikowe.

Aby tranzystor przełączył, prąd elektronów musi przepłynąć w poprzek bazy. Prędkość, jaką elektron może osiągnąć w półprzewodniku, jest ograniczona. Zmniejszenie czasu przełączania można uzyskać przez zmniejszenie grubości bazy, lecz też tylko w ograniczonym zakresie. Najprawdopodobniej te granice zostały już osiągnięte. Dlatego istotnego skrócenia czasu przełączania należy oczekiwać nie na skutek małych udoskonaleń konstrukcji tranzystora, lecz dzięki zastosowaniu nowej techniki przełączania.

Jedną z możliwości jest zamiana niosącego informację przez obwód strumienia elektronów na inny rodzaj nośnika sygnału. Największą szybkością, jaką może osiągnąć sygnał zawierający informację, jest prędkość światła. Z tego właśnie powodu światło (lub promieniowanie elektromagnetyczne z innego obszaru widma) najlepiej nadaje się na nowy nośnik informacji. Prowadząc ten tok rozumowania wykorzystaliśmy spójne promieniowanie lasera do konstrukcji przyrządów przełączających, mających wiele właściwości tranzystora. Przyrządy te mogą przełączać pomiędzy dwoma łatwo rozróżnialnymi stanami wyjściowymi, mogą więc służyć jako elementy pamięci i przez właściwy dobór materiałów i promieniowania laserowego tworzyć szybkie i proste bramki logiczne.

Punktem wyjścia konstrukcji tranzystora optycznego jest pomysłowy i szeroko stosowany przyrząd optyczny znany jako interferometr Fabry'ego-Perota, opracowany w 1896 r.

przez francuskich fizyków Charlesa Fabry'ego i Alfreda Perota. Fabry i Perot zastosowali interferometr do pomiaru długości fal światła o różnych barwach, a od tego czasu miał on wiele innych zastosowań. W najprostszej postaci interferometr F-P składa się z dwóch, ustawionych równoległe do siebie w pewnej odległości płaskich zwierciadeł. W przestrzeni między zwierciadłami, zwaną wnęką rezonansową, można wprowadzić materiał przepuszczający promieniowanie o wybranej długości fali (rys. 1).



Rys. 1. Interferometr Fabry'ego-Perota przedstawiony tu schematycznie, jest podstawą konstrukcji przełącznika optycznego. Przyrząd składa się z płasko-równoległego układu zwierciadeł zawierającego wewnątrz przezroczysty materiał. Przestrzeń między zwierciadłami nazywana jest wnęką rezonansową. Każde zwierciadło odbija część padającego na nie światła, a część transmituje. Gdy wiązka światła pada na przednie zwierciadło, część jej zostaje odbita, a część przechodzi do wnęki. Przepuszczona wiązka „w przód” przechodzi przez wnękę i pada na tylne zwierciadło, gdzie część światła wychodzi z przyrządu, a część jest odbijana jako wiązka „wstecz”. Wiązka odbija się wielokrotnie aż do chwili, gdy całe światło opuści wnękę. Zmieniając długość wnęki, wypełniając ją substancją lub długość fali świetlnej można spowodować znaczną zmianę transmisji interferometru w przełącznikach optycznych. Właściwości substancji wypełniającej wnękę pozwalają regulować transmisję przyrządu natężeniem promieniowania padającego

Padające promieniowanie jest przez zwierciadło częściowo odbijane, częściowo przepuszczane. Zwierciadła półprzepuszczalne są w powszechnym użyciu. Na przykład okno wystawowe działa jak takie zwierciadło: odbite światło daje obraz obserwatora, a światło przechodzące — obraz towarów za szybą. Natężenie obrazów zależy od stosunku światła odbitego do przechodzącego.

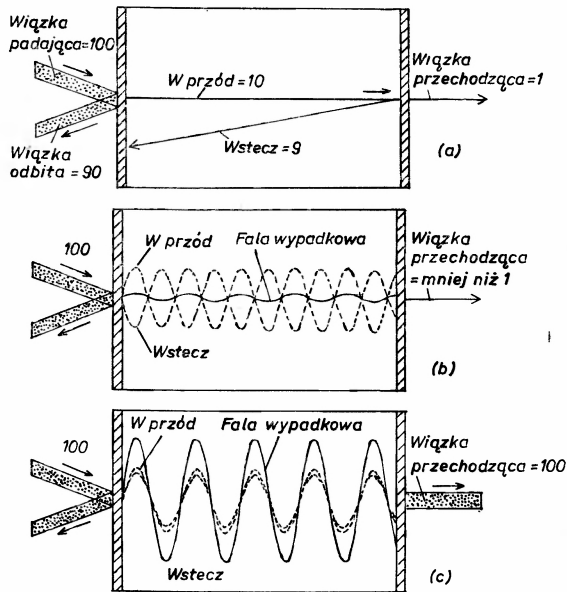
Pomijając chwilowo materiał we wnęcie, rozważmy wiązkę światła padającą na zwierciadło, stanowiące zewnętrzną ścianę interferometru (rys. 1). Załóżmy, że zwierciadła odbijają 90%, a przepuszczają 10% padającego światła, takie proporcje są bliskie stosowanym w naszej pracy; toteż gdy wiązka światła pada na przednie zwierciadło, 90% światła jest odbijane, a 10% przechodzi do wnętrza rezonatora.

Światło o natężeniu $1/10$ swego natężenia początkowego biegnie w kierunku tylnego zwierciadła jako wiązka „w przód”. Właściwości tylnego zwierciadła są identyczne jak przedniego. Tak więc tylne zwierciadło odbija 90% wiązki „w przód” z powrotem do wnęki jako wiązkę „wstecz” i przepuszcza 10% na zewnątrz interferometru. Ponieważ wiązka „w przód” ma natężenie $1/10$ wiązki padającej, światło przechodzące ma natężenie $1/100$ natężenia światła padającego. Wiązka „wstecz” oczywiście biegnie do wewnętrznej powierzchni przedniego zwierciadła, gdzie znów jest dzielona na część przechodzącą i odbitą. Tłumiona wiązka odbija się wielokrotnie we wnęcie, przez co staje się coraz słabsza, aż do chwili gdy całe padające światło wydostanie się z wnętrza interferometru. Każde

kolejne przejście poza pierwszym, niewiele już powiększa natężenie wiązki przechodzącej. Dlatego rozsądnie jest przyjąć, że światło przechodzące ma natężenie ok. 1/100 natężenia światła padającego.

Interferencja we wnętrzu rezonatora

Gdyby przedstawiony powyżej rachunek obejmował wszystkie zjawiska zachodzące w interferometrze, przyrząd ten nie byłby interesujący jako przełącznik komputera optycznego. Intensywność wiązki przechodzącej można by zwiększyć jedynie przez zmianę właściwości zwierciadeł. Pozostaje jednak do rozważenia jeszcze jedno zjawisko. Promienie biegnące w przód i wstecz nie dają się w rzeczywistości tak rozdzielić jak w naszym schematycznym opisie. W realnie istniejącym rezonatorze oddziaływanie tych promieni zmienia natężenie światła we wnętrzu, co z kolei wpływa na transmisję przyrządu.



Rys. 2. Interferencja wiązek biegnących „w przód” i „wstecz” we wnętrzu rezonansowej interferometru Fabry’ego-Perota może znacznie zmienić natężenie światła w przyrządzie, a więc i jego transmisję. Przednie i tylne zwierciadła można tak dobrać, aby odbijały 90% a przepuszczały 10% padającego na nie światła. Przedstawiona na rys. (a) sytuacja nie uwzględnia interferencji. 10% wiązki padającej wchodzi do wnęki i biegnie w stronę tylnego zwierciadła. Przez tylne zwierciadło przechodzi wiązka o natężeniu równym 1% natężenia początkowego, a 9% odbija się od niego tworząc wiązkę „wstecz”. W rzeczywistości wiązki „w przód” i „wstecz” oddziałują ze sobą, dając w wyniku falę wypadkową równą w każdym punkcie sumie swoich składowych. Gdy grzbiety fali jednej z wiązek są ustawione naprzeciw dolin fali drugiej, to zachodzi interferencja destruktywna i wypadkowa fala jest mała (b). Natężenie światła we wnętrzu jest nieznaczne i transmisja może być mniejsza niż 1%. Jeżeli fale są w takiej wzajemnej relacji, że interferują konstruktywnie, to fala wypadkowa jest duża (c). Ponieważ we wnętrzu interferuje wiele kolejnych wiązek „w przód” i „wstecz”, to natężenie światła może osiągnąć tam wartość 10 razy większą od natężenia wiązki padającej. Dlatego w warunkach w pełni konstruktywnej interferencji natężenie wiązki przechodzącej może być równe natężeniu wiązki padającej

Jak powszechnie wiadomo, światło ma naturę falową i korpuskularną. Czasami jeden sposób opisu jest wygodniejszy, czasem drugi. W tym przypadku lepszy jest opis falowy. Wiązki „w przód” i „wstecz” wraz z kolejnymi swymi odbiciami można traktować jako fale biegnące we wnętrzu. Wiązka padająca wchodzi do rezonatora prostopadle do przedniej ściany i dzięki temu wszystkie wiązki poruszają się po tej samej drodze.

Pamiętając, że we wnętrzu znajduje się wiele odbitych wiązek, rozważmy oddziaływanie dwóch z nich: wiązek „w przód” i „wstecz”. Wynik oddziaływania zależy od faz obu fal, to znaczy od wzajemnych położenia ich grzbietów i dolin. Jeżeli grzbiety i doliny jednej z fal pokrywają się z grzbietami i dolinami drugiej, to fale są w fazie i następuje interferencja konstruktywna. Jeżeli zaś grzbiety jednej fali ustawione są naprzeciwko dolin drugiej i odwrotnie, to fale są w przeciwfazie i wygaszają się. Dozwolona jest także każda pośrednia różnica faz (rys. 2).

Dzięki interferencji dwie nakładające się fale tworzą trzecią. Amplituda fali wypadkowej w każdym punkcie wnętrza jest sumą amplitud fal składowych w tym punkcie. Jeśli fale są w fazie amplituda wypadkowa jest duża, jeśli w przeciwfazie — mała. Bardzo interesujący jest wpływ interferencji na transmisję rezonatora Fabry’ego-Perota. Gdy interferencja prowadzi do wygaszania fal to natężenie światła we wnętrzu jest niemalże równe zeru i transmisja jest tak mała, że można ją pominąć w rozważaniach. Podczas interferencji konstruktywnej wiązki „w przód” i „wstecz” wzajemnie się wzmacniają dając we wnętrzu światło o natężeniu 10 razy większym od natężenia światła padającego. Dzięki takiemu wzmocnieniu fal świetlnych między zwierciadłami całe światło padające na przednie zwierciadło zostaje przez układ przepuszczone.

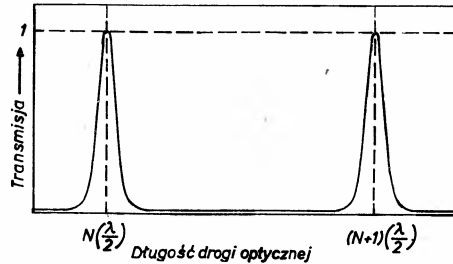
Wpływ współczynnika załamania

Różnicę faz wiązek „w przód” i „wstecz”, a także transmisję interferometru można regulować zmieniając długość wnętrza lub długość fali padającego światła. Niestety, żadna z tych metod nie daje się zastosować w optycznym tranzystorze. Pomijaliśmy jednak dotąd właściwości optyczne materiału wypełniającego wnętrze. Otóż zmieniając te właściwości można zmienić różnicę faz wiązek w rezonatorze.

Światło rozchodzi się w próżni z maksymalną prędkością. W przezroczystym ośrodku, innym niż próżnia, prędkość światła jest mniejsza i zależy od ośrodka. To zmniejszenie prędkości fali świetlnej jest przyczyną zwiększenia załamania; współczynnik załamania materiału wyraża stosunek prędkości światła w próżni do prędkości światła w tym materiale. Dla przykładu, jeżeli współczynnik załamania pewnego rodzaju szkła jest równy 1,5, oznacza to, że podczas gdy w próżni światło rozchodzi się z prędkością 300 000 km/s, jego prędkość w szkłe jest równa 200 000 km/s. Zmniejszeniu prędkości towarzyszy zmniejszenie długości fali, przy czym częstość pozostaje bez zmian. Łatwo zauważyć, że nawet bez zmiany długości wnętrza czy długości fali padającego światła, zmiana współczynnika załamania materiału wypełniającego wnętrze zmieni różnicę faz wiązek dzięki zmianie ich długości fali. Poprzez wybór materiału o odpowiednim współczynniku załamania można spowodować interferencyjne wzmacnianie bądź wygaszanie światła we wnętrzu.

W analizie układów optycznych ważną wielkością jest długość drogi optycznej lub

po prostu droga optyczna. Droga optyczna ośrodka we wnętrzu interferometru jest to jego długość fizyczna pomnożona przez współczynnik załamania. Można pokazać, że w pełni konstruktywna interferencja zachodzi wtedy, gdy droga optyczna jest równa całkowitej wielokrotności połówek długości fali światła. (Połowa długości fali to oczywiście odległość od grzbietu do doliny.) Istnieje więc wiele możliwych dróg optycznych prowadzących do pełnej interferencji konstruktywnej. Gdy droga optyczna jest równa połowie odległości pomiędzy kolejnymi całkowitymi wielokrotnościami połówek fali, to następuje wygaszanie.



Rys. 3. Funkcja Airy'ego przedstawia zależność pomiędzy transmisją interferometru, a długością drogi optycznej substancji we wnętrzu rezonansowej. Transmisja jest to stosunek natężenia wiązek: przechodzącej do padającej, jej maksymalna wartość jest równa 1. Transmisja osiąga maksimum wtedy, gdy pomiędzy wiązkami we wnętrzu zachodzi w pełni konstruktywna interferencja. Długość drogi optycznej jest to fizyczna długość materiału we wnętrzu pomnożona przez jego współczynnik załamania (współczynnik załamania wskazuje, ile razy prędkość światła zmniejsza się przy przejściu przez przezroczystą substancję). Interferencja jest w pełni konstruktywna, gdy droga optyczna jest równa całkowitej wielokrotności połówek długości fali padającego światła

Ponieważ natężenie światła przechodzącego przez interferometr zmienia się wraz ze zmianami różnicy faz obu wiązek, zmienia się więc także ze zmianami drogi optycznej. Funkcją opisującą zależność transmisji interferometru od drogi optycznej (transmisji definiowanej jako stosunek natężenia wiązki przechodzącej do natężenia wiązki padającej) jest funkcja Airy'ego, niezwykle istotna przy konstrukcji optycznego tranzystora. W zbudowanym przez nas rezonatorze Fabry'ego-Perota funkcja ma ostre maksimum w każdym punkcie, gdzie droga optyczna odpowiada całkowitej wielokrotności połówek długości fali. Pomiedzy maksimami wartość funkcji jest mała i zmienia się tylko nieznacznie. Gdy droga optyczna zbliża się do wartości odpowiadającej maksymalnej transmisji, transmisja wzrastająca początkowo wolno, po osiągnięciu pewnego progu rośnie gwałtownie.

Dzięki zależności drogi optycznej od współczynnika załamania można ustalić transmisję wnęki na wybranym poziomie przez wprowadzenie do niej materiału o odpowiednim współczynniku załamania. Także zmiana materiału na inny zmieni transmisję. Oczywiście taka metoda przełączania byłaby w komputerze dość niewygodna. W XIX wieku uważano jednak, że jest to jedyna możliwa metoda zmiany współczynnika załamania. James Clerk Maxwell w swej podstawowej pracy o promieniowaniu elektromagnetycznym zakładał, że oddziaływanie światła z materią nie zależy od natężenia światła. Gdyby to zawsze było prawdą, współczynnik załamania byłby stały i sygnał wychodzący z interferometru byłby wprost proporcjonalny do natężenia padającego promieniowania. W odpowiednich warunkach wiele substancji tak właśnie się zachowuje; mówimy, że są one liniowe ze względu na współczynnik załamania.

Nieliniowe załamanie

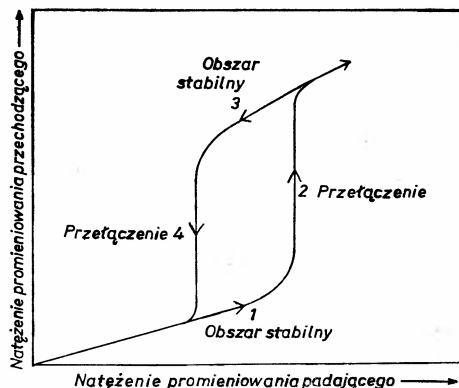
Gdy lasery dostarczyły spójnego promieniowania dużej mocy (spójnego, to znaczy takiego w którym wszystkie grzbiety i doliny fal są uporządkowane) okazało się, że nie wszystkie materiały mają liniowy współczynnik załamania. Promieniowanie laserowe zogniskowane na pewnych substancjach zmienia ich załamanie wraz ze zmianą swego natężenia — substancje te są nieliniowe ze względu na współczynnik załamania. Zmieniając jedynie natężenie padającego promieniowania można zmienić współczynnik załamania substancji nieliniowej, wypełniającej rezonator Fabry'ego-Perota.

Zjawisko jest tak subtelne, że warto je szczegółowo rozważyć. Wyobraźmy sobie wnękę o ustalonej długości wypełnioną nieliniowym materiałem. Do wnęki wprowadzamy promieniowanie laserowe, którego natężenie można regulować. Początkowo natężenie promieniowania jest takie, że współczynnik załamania tworzy drogę optyczną w obszarze pomiędzy maksimami krzywej Airy'ego; transmisja rezonatora jest wtedy mała. Przy powolnym zwiększaniu natężenia promieniowania współczynnik załamania i droga optyczna stopniowo rosną; transmisja powoli rośnie. W pewnym punkcie współczynnik załamania i natężenia światła we wnęcie tworzą pętlę dodatniego sprzężenia zwrotnego, to znaczy zaczynają wzajemnie się wzmacniać. Zmiana współczynnika załamania sprowadza wiązki bliżej warunku konstruktywnej interferencji przez co powiększa natężenie światła we wnęcie; zwiększone natężenie światła zmienia z kolei współczynnik załamania. Przy pewnym krytycznym poziomie natężenia fali padającej sprzężenie zwrotne staje się bardzo silne. Układ osiąga stromy rejon krzywej Airy'ego i transmisja gwałtownie rośnie.

W maksimum funkcji Airy'ego stosunek natężenia wiązek przechodzącej i padającej jest równy 1. Przy niewielkim zmniejszeniu natężenia padającego promieniowania laserowego transmisja wnęki nie spada do początkowego poziomu. Powodem jest fakt, że natężenie promieniowania we wnęcie jest wystarczająco duże, aby utrzymać współczynnik załamania, a więc i drogę optyczną na poziomie maksymalnej transmisji. Przy dalszym zmniejszaniu natężenia transmisja stopniowo spada. W pewnym punkcie jednak współczynnik załamania i natężenie zaczynają się wzajemnie tłumić. Mały spadek natężenia padającego promieniowania zmienia współczynnik załamania wystarczająco silnie, aby znacznie zmniejszyć natężenie światła we wnęcie. Następuje wtedy nagły, ostry spadek transmisji.

Natężenie promieniowania przechodzącego, wykreślone w funkcji natężenia promieniowania padającego, tworzy pętlę składającą się z czterech części (rys. 4). Poczynając od małego natężenia krzywa stopniowo wznosi się; nawet duży przyrost natężenia promieniowania padającego powoduje jedynie niewielki wzrost transmisji. W pobliżu progu krzywa staje się stroma; mały przyrost natężenia powoduje silny wzrost transmisji. Do punktu wyjścia układ powraca po innej drodze. Początkowo nachylenie krzywej jest niewielkie i nawet jeśli natężenie padającego promieniowania się zmniejszy, transmisja pozostanie na wysokim poziomie. Gdy jednak zostanie osiągnięty drugi próg, krzywa gwałtownie opada, mały spadek natężenia silnie tłumí transmisję.

Pętla jest figurą, zwaną cyklem histerezy. Przyrząd optyczny wykazujący histerezę nazywany jest bistabilnym optycznie, gdyż posiada dwa stabilne obszary, w których transmisja optyczna niewiele się zmienia wraz ze zmianami natężenia padającego promienio-



Rys. 4. Cykl histerezy przedstawia, w jaki sposób napięcie przechodzącego przez interferometr promieniowania zmienia się w odpowiedzi na zmiany napięcia promieniowania padającego. Wnękę wypełnia materiał o nieliniowym współczynniku załamania: takim, który zmienia się w zależności od napięcia promieniowania padającego na ten materiał. Zmiany napięcia wiązki padającej zmieniają współczynnik załamania i długość optyczną, a więc i transmisję. Jeżeli napięcie padającego promieniowania powoli rośnie, to napięcie promieniowania przechodzącego wykazuje początkowo stopniowy wzrost (1). Dzięki zmianie współczynnika załamania droga optyczna osiąga wartość bliską wartości odpowiadającej konstruktywnej interferencji, co powiększa napięcie światła we wnętrzu; z kolei zmiana napięcia światła powoduje dalszą zmianę współczynnika załamania. W momencie, gdy dodatnie sprzężenie zwrotne staje się dostatecznie silne, układ osiąga próg i transmisja gwałtownie rośnie (2). Jeśli następnie napięcie padającego promieniowania zostanie nieznacznie zmniejszone, to transmisja nie spada do początkowego poziomu, gdyż napięcie światła we wnętrzu jest wystarczająco duże do utrzymania współczynnika załamania i drogi optycznej w pobliżu wartości odpowiadającej maksymalnej transmisji; transmisja stopniowo maleje (3). Dalsze osłabianie padającej wiązki powoduje jednak w okolicach drugiego progu wystarczająco silną zmianę współczynnika załamania, aby spowodować duży spadek napięcia światła we wnętrzu; transmisja maleje wtedy gwałtownie do początkowego, niskiego poziomu (4). Przyrząd optyczny wykazujący cykl histerezy nazywany jest bistabilnym optycznie. Obszary 1 i 3 na krzywej to obszary stabilne, w których transmisja jedynie nieznacznie zmienia się wraz ze zmianami napięcia promieniowania

wania. Należy zauważyć, że w bistabilnym urządzeniu poszczególnym wartościom napięcia padającego promieniowania można przyporządkować dwa poziomy transmisji; aktualna transmisja zależy od uprzednich warunków fizycznych we wnętrzu.

Optyczne przyrządy bistabilne

Istnienie bistabilności optycznej przewidział w 1969 r. Abraham Szöke wraz ze swymi współpracownikami z Massachusetts Institute of Technology. Zjawisko zaobserwowali po raz pierwszy w 1976 Hyatt M. Gibbs, Samuel L. McCall i Thirumalai N. C. Venkatesan z Laboratoriów Bella¹. Od tego czasu bistabilne przyrządy optyczne stały się przedmiotem zainteresowania w wielu ośrodkach naukowych.

Przy konstrukcji bistabilnego przyrządu optycznego ważny jest wybór materiału ze

¹ Pierwsza praca Gibbsa [7] została opublikowana w 1979 r., podczas gdy fizycy radzieccy [5] zaobserwowali bistabilność optyczną w ZnS w 1978 r. (przyp. tłum.).

znaczną nieliniowością współczynnika załamania. W naszej pracy wykorzystaliśmy antymonek indu, związek półprzewodnikowy wykazujący silną nieliniowość ze względu na ten parametr. Jak większość półprzewodników, InSb jest nieprzezroczysty dla promieniowania z widzialnej części widma, a przezroczysty w pewnych obszarach podczerwieni. Naszym źródłem promieniowania był laser CO, którego długość fali można regulować w wąskim obszarze podczerwieni.

Stosowanym przez nas interferometrem był mały, prostopadłościenny kryształ antymonku indu. Zwykle każda krawędź miała kilka milimetrów długości, lecz wykonywaliśmy też przyrządy ze znacznie mniejszych kryształów. Czasami przednia i tylna ściana urządzenia były pokrywane warstwą odbijającą, lecz nie jest to niezbędne; wypolerowana ściana kryształu sama działa jak zwierciadło. Umieszczony za tylną ścianą przyrząd mierzył natężenia przechodzącego promieniowania.

W skali atomowej istnieje wiele mechanizmów odpowiedzialnych za zmianę współczynnika załamania półprzewodnika. Niektóre zjawiska występujące w antymonku indu są zrozumiałe, inne nadal pozostają przedmiotem badań. Poniżej przedstawiamy w uproszczonej formie obecny stan naszej wiedzy.

Podczas oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z ciałem stałym, w przekazywaniu energii pośredniczą prawie wyłącznie elektrony ciała stałego. Dla długości fal odpowiadających światłu widzialnemu i podczerwieni są to głównie zewnętrzne elektrony każdego atomu. W dobrych przewodnikach, takich jak metale, zewnętrzne elektrony mogą poruszać się swobodnie w całej objętości materiału. W dobrych izolatorach każdy elektron jest ściśle związany z odpowiednim atomem i można go przemieścić jedynie kosztem dostarczenia dużej ilości energii. W półprzewodnikach zachodzi pośrednie zjawisko; każdy zewnętrzny elektron jest związany z atomem, lecz do jego oderwania potrzebna jest jedynie niewielka energia.

Różnice w konfiguracji elektronów, określające zarówno elektryczne jak i optyczne właściwości materiału, można zrozumieć rozpatrując poziomy energetyczne jakie może zajmować każdy elektron. W izolowanym atomie poziomy te są ściśle określone. W ciele stałym natomiast poziomy związane z wieloma atomami nakładają się, tworząc szerokie pasma dozwolonych energii. Oddzielone są one przerwami energetycznymi odpowiadającymi energiom, których żaden z elektronów nie może posiadać. Jeżeli pasmo jest całkowicie wypełnione, to znaczy wszystkie poziomy energetyczne są zajęte, ruch każdego elektronu z tego pasma jest ograniczony do najbliższego sąsiedztwa atomu. Dzieje się tak dlatego, że do wprawienia elektronu w ruch potrzeba niewielkiej dodatkowej energii, której jednak elektron nie może przyjąć; nie ma bowiem pustego poziomu energetycznego, na który mógłby przejść. Jeżeli pasmo jest jedynie częściowo wypełnione, to elektron absorbujący niewielką dodatkową energię może przejść na nieznacznie wyższy poziom energetyczny w obrębie pasma, może się więc poruszać.

Struktura pasmowa półprzewodnika

Metale mają jedno z pasm energetycznych częściowo wypełnione. W izolatorach najwyższe obsadzone pasmo jest całkowicie wypełnione i oddzielone szeroką przerwą od następnego pasma, zupełnie pustego (pasma przewodnictwa). Elektron w izolatorze może

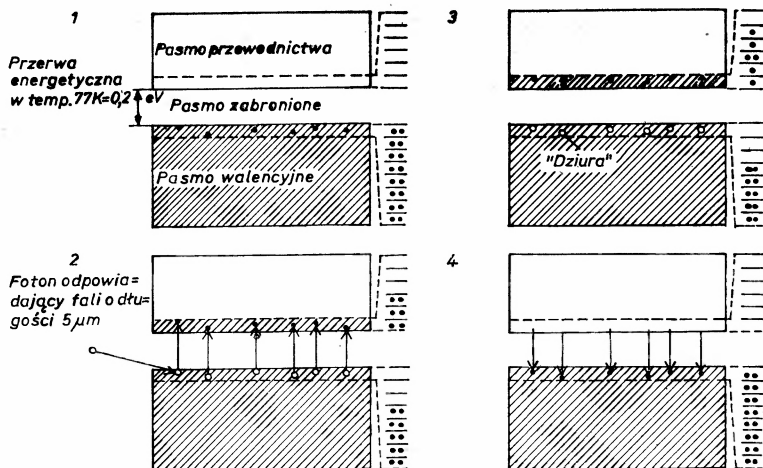
poruszać się jedynie wtedy, gdy zaabsorbuje wystarczającą ilość energii, aby pokonać przerwę energetyczną; jest to mało prawdopodobny proces. Podobnie półprzewodnik — też ma wypełnione pasmo walencyjne i puste pasmo przewodnictwa; lecz przerwa między pasmami jest dużo mniejsza. Niewielką energię potrzebną do przejścia z wysokiego poziomu w pasmie walencyjnym na jeden z niskich poziomów pasma przewodnictwa elektron może uzyskać wieloma sposobami. Po wzbudzeniu elektronu do pasma przewodnictwa w pasmie walencyjnym pozostaje „dziura”, którą pod wieloma względami można traktować jak cząstkę o dodatnim ładunku równym co do wielkości ładunkowi elektronu. Gdy elektron powraca do pasma walencyjnego, łączy się z dziurą i dziura znika. Proces ten nazywany jest rekombinacją.

Energia potrzebna elektronowi do pokonania przerwy energetycznej zmienia się wraz ze zmianą temperatury. Większość naszych prac wykonywaliśmy w temperaturze 77 K. W tej temperaturze przerwa energetyczna InSb równa jest około 0.2 eV (elektronowolt, w skrócie eV, jest energią jaką uzyskuje elektron przyspieszany różnicą potencjałów 1 V). Większość półprzewodników ma o wiele szerszą przerwę energetyczną. Nieliniowość współczynnika załamania jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu przerwy energetycznej. Dzięki swej wąskiej przerwie InSb ma nieliniowość 100—1000 razy większą od arsenku galu, innego półprzewodnika wykorzystywanego w bistabilnych przyrządach optycznych. Chociaż pożądana jest wąska przerwa energetyczna, to zastosowanie przełącznika optycznego o zbyt wąskiej przerwie energetycznej staje się niewygodne.

Jednym ze sposobów uzyskania energii potrzebnej elektronowi na przejście do pasma przewodzenia jest absorpcja padającego promieniowania. Od tego momentu wygodne jest przyjęcie opisu światła jako strumienia cząstek. Cząstką, lub kwantem światła jest foton. Energia fotonu jest odwrotnie proporcjonalna do odpowiadającej mu długości fali. Gdy kryształ absorbuje foton, energia fotonu może dodać się do energii elektronu. Jeżeli foton niesie odpowiednią ilość energii, elektron może zostać przeniesiony do pasma przewodnictwa. Energii 0,2 eV odpowiada długość fali około 5 μm , znajdująca się w podczerwonym obszarze widma i w zakresie pracy lasera CO.

Dostrojenie lasera do długości fali około 5 μm prowadzi więc do wzbudzenia wielu elektronów do pasma przewodnictwa. Gdy elektrony osiągną niskie poziomy pasma przewodnictwa, energia termiczna sieci krystalicznej rozprasza je do sąsiednich poziomów energetycznych. Rezultatem jest nieregularny rozkład elektronów w dolnym zakresie pasma przewodnictwa.

To właśnie wzbudzenie i następujące po nim rozpraszanie elektronów powoduje zmiany współczynnika załamania antymonku indu (rys. 5). W kwantowym modelu oddziaływania światła z materią, zjawiska absorpcji i refrakcji są ściśle ze sobą związane. Rzeczywiście, jedno pociąga za sobą drugie: jeśli wiązka światła jest absorbowana, jest też załamywana i odwrotnie, chociaż te dwa zjawiska mogą dotyczyć promieniowania o różnych długościach fal w jednej wiązce. Uniemożliwienie absorpcji może zapobiec załamaniu a przez to zmienić współczynnik załamania ośrodka. Jak można zapobiec absorpcji? Tylko ograniczona liczba elektronów może zostać pobudzona do niskich poziomów pasma przewodnictwa. Po osiągnięciu tej granicznej liczby nie jest możliwa dalsza absorpcja fotonów, których energia umożliwia pobudzenie elektronów z pasma walencyjnego. Mówimy, że absorpcja takich fotonów została nasycona. Nasylenie absorpcji zapobiega



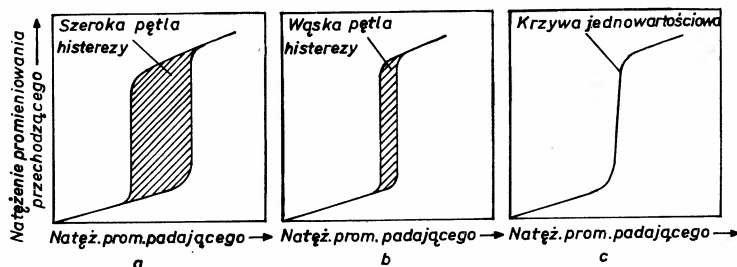
Rys. 5. Współczynnik załamania antymonku indu zmienia się wraz ze zmianami natężenia przechodzącego przez niego promieniowania. Antymonek indu jest półprzewodnikiem, który autorzy wykorzystali jako nieliniowy materiał w optycznym tranzystorze. W kryształach półprzewodnikowych poziomo energetycznie dostępne elektronom są ułożone w pasma; wewnątrz pasma energetycznego jest wiele niezbyt odległych od siebie poziomów, z których każdy może być obsadzony dwoma elektronami. Energie z przerw między pasmami są wzbronione. Rysunek przedstawia dwa pasma: w niskiej temperaturze dolne pasmo (nazywane walencyjnym) jest całkowicie wypełnione, a górne pasmo (pasmo przewodnictwa) jest puste (1). W procesie przejścia z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa nazywanym wzbudzeniem elektron musi otrzymać energię równą przerwie energetycznej; w przypadku antymonku indu równą około 0.2 eV. Energię tę elektron może uzyskać przez absorpcję fotonu o długości fali około 5 μm , z obszaru podczerwieni. Autorzy dostarczali takich fotonów za pomocą lasera CO z regulowaną długością fali (2). Po absorpcji fotonu elektron jest wzbudzany do pasma przewodnictwa, a w pasmie walencyjnym pozostaje dziura, zachowująca się jak cząstka o ładunku dodatnim. Drgania sieci szybko rozpraszają elektrony na dolne poziomy pasma przewodnictwa (3). Gdy te poziomy zostają wypełnione, nie jest możliwa dalsza absorpcja fotonów o długości fali 5 μm . Zablokowaniu absorpcji towarzyszy zmiana współczynnika załamania kryształu. Po wyłączeniu wiązki padającej na kryształ elektrony powracają do pasma walencyjnego rekombinując z dziurami (4). Współczynnik załamania wraca do swej początkowej wartości

towarzyszącej jej refrakcji i współczynnik załamania zmienia się. Natychmiast po wyłączeniu wiązki laserowej pobudzone elektrony powracają do pasma walencyjnego i rekombinują z dziurami. Absorpcja znów staje się możliwa i współczynnik załamania wraca do swej początkowej wartości.

Optyczne bramki logiczne

Specyficzne własności optyczne antymonku indu wynikające z przedstawionego wyżej mechanizmu, zostały wykorzystane przy konstrukcji elementów komputera optycznego. Opisany cykl histerezy ma oczywiste zastosowanie w elementach pamięci. Stabilny stan dużej transmisji interferometru może odpowiadać jednej wartości arytmetycznej, czy logicznej, a stabilny stan małej transmisji drugiej wartości. Każdy ze stanów może być nieskończenie długo podtrzymywany wiązką o pośrednim natężeniu.

Przełącznik optyczny służący nie do przechowywania, a do przetwarzania informacji, nie wymaga histerezy. Niewielka modyfikacja układu optycznego pozwala na zwężenie lub całkowitą eliminację pętli histerezy. Wynikiem takiej operacji jest jednowartościowa krzywa transmisji, na której każdej wartości natężenia padającego promieniowania odpowiada tylko jedna wartość transmisji. Kształt takiej charakterystyki można łatwo zmieniać. Najbardziej przydatna krzywa przypomina kształtem krzywą opisującą prąd kolektora tranzystora elektronicznego (rys. 6). Przy małym natężeniu promieniowania

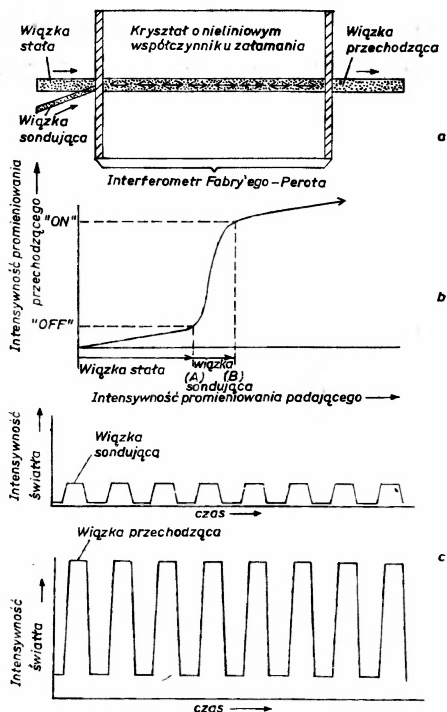


Rys. 6. Pętlę histerezy bistabilnego przyrządu optycznego można zmieniać zmieniając długość interferometru, długość fali padającego światła lub materiał we wnętrzu. W podstawowym cyklu histerezy obszary stabilne są długie i wtedy pętla jest szeroka (a). Danemu poziomowi natężenia padającego promieniowania mogą odpowiadać jeden lub dwa poziomy transmisji. Właściwa manipulacja interferometrem pozwala na zmniejszenie obszarów stabilnych i zwężenie pętli (b). Granicznym przypadkiem jest krzywa jednowartościowa, na której każdemu poziomowi natężenia padającego światła odpowiada jeden poziom transmisji (c). Krzywa ta przypomina charakterystykę przenoszenia tranzystora elektronicznego; interferometr o takiej charakterystyce pracuje jako tranzystor optyczny

transmisja jest mała i prawie stała. Po osiągnięciu progu natężenia transmisja stromo rośnie do wysokiego poziomu i przy dalszym wzroście natężenia pozostaje niemalże stała. Ta charakterystyka jest podstawą konstrukcji optycznego tranzystora. Nazwaliśmy ten przyrząd transfazorem, ponieważ jego działanie opiera się na kontrolowanej zmianie fazy światła.

W transfazorze dwie precyzyjnie dopasowane wiązki promieniowania laserowego są zogniskowane w dokładnie tym samym miejscu na czołowej ścianie kryształu z nieliniowego materiału, takiego jak InSb (rys. 7). Wiązka „stała” ma duże i nie zmieniające się natężenie. Wiązka „sondująca” ma dużo mniejsze natężenie i można ją modulować. Natężenie stałej wiązki jest tak dobrane, że powoduje transmisję o natężeniu podprogowym. Natężenie wiązki sondującej jest takie, że po dodaniu jej do wiązki stałej układ osiąga maksimum transmisji.

Charakterystyka transmisji transfazora jest stroma i dlatego niewielka modulacja wiązki sondującej powoduje duże zmiany natężenia promieniowania przechodzącego przez przyrząd. Analogia z tranzystorem elektronicznym jest jeszcze pełniejsza. Wiązka stała odpowiada prądowi polaryzacji płynącemu od emitera do kolektora tranzystora. Wiązka sondująca odpowiada mniejszemu prądowi płynącemu od bazy do kolektora. Mała zmiana prądu bazy pozwala w tranzystorze na przepływ dużo większego prądu kolektora, tak jak mała zmiana natężenia wiązki sondującej powoduje transmisję większej części padającego promieniowania w transfazorze.

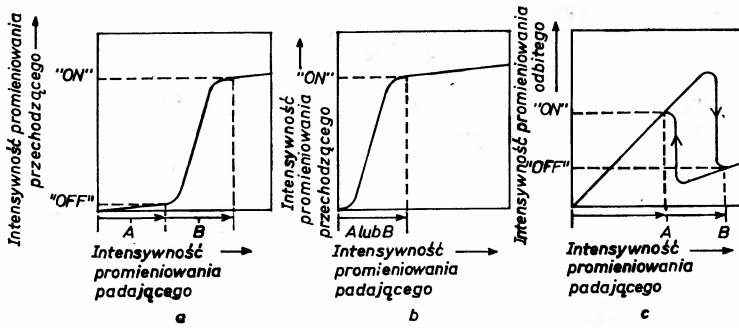


Rys. 7. *Tranzystor optyczny* projektu autorów wykorzystuje dwie dokładnie dopasowane wiązki laserowe zogniskowane na ścianie czołowej interferometru Fabry'ego-Perota zawierającego substancję o nieliniowym współczynniku załamania (a). Wiązka „stała” ma duże i nie zmieniające się natężenie. Wiązka „sondująca” jest słabsza i można ją modulować. Natężenie „stałej” wiązki *A* jest tak dobrane, że powoduje transmisję o natężeniu podprogowym (b). Natężenie wiązki „sondującej” *B* jest takie, że po dodaniu jej do wiązki „stałej” transmisja rośnie do wysokiego poziomu na stromym odcinku krzywej transmisji. Stan małej transmisji może odpowiadać wartości 0, a stan dużej transmisji wartości 1 w binarnej logice komputera. Dzięki dużemu nachyleniu krzywej transmisji małe zmiany natężenia wiązki sondującej powodują duże zmiany natężenia wiązki przechodzącej (c). Z tego właśnie względu tranzystor optyczny jest analogiem tranzystora elektronicznego

Tak jak tranzystor, transfazor może przełączać pomiędzy dwoma łatwo rozróżnialnymi stanami. Przełączanie to jest niezwykle szybkie. Chociaż nie potrafimy zmierzyć bezpośrednio czasu przełączania, szacujemy, że jest rzędu kilku pikosekund.

Zbudowanie optycznego tranzystora umożliwiło skonstruowanie prototypów bramek logicznych. W zależności od wyboru wiązek padających pojedynczy transfazor może pracować jako bramka AND lub bramka OR (rys.8). Jeżeli wiązki są tak dobrane, że żadna z nich samodzielnie nie może przełączyć przyrządu, lecz suma wiązek ma natężenie wystarczające, to otrzymujemy optyczną bramkę AND. Transmisja jest duża tylko wtedy, gdy na bramkę padają dwie wiązki. Jeżeli padające wiązki są tak dobrane, że każda jest w stanie przełączyć przyrząd, otrzymujemy bramkę OR. Transmisja jest duża, gdy na przyrząd pada którakolwiek z wiązek.

Bramkę NOT można zbudować wykorzystując jako sygnał wyjściowy wiązkę odbitą.



Rys. 8. *Optyczne bramki logiczne* skonstruowano z optycznych tranzystorów. Bramka logiczna jest urządzeniem wykonującym w komputerze operacje arytmetyczne i obliczającym wartości wyrażeń logicznych. Wymagane są trzy rodzaje bramek logicznych, których podstawy konstrukcyjne przedstawiono na rysunkach. Bramka AND daje duży sygnał wyjściowy tylko wtedy, gdy wszystkie sygnały wejściowe są niezerowe (a). Jeżeli dwie wiązki padające są tak dobrane, że każda z nich powoduje transmisję podprogową, to jest to bramka AND; dużą transmisję mogą spowodować jedynie obie jednocześnie padające wiązki. Bramka OR daje duży sygnał wyjściowy, gdy którykolwiek sygnał wejściowy jest duży (b). Jeśli wiązki padające są takie, że każda z nich może powodować dużą transmisję, to jest to bramka OR. Bramka NOT ma duży sygnał wyjściowy przy małym sygnale na wejściu i odwrotnie, mały sygnał wyjściowy przy dużym sygnale wejściowym. Optyczna bramka NOT wykorzystuje światło odbite od interferometru (c). Wiązka odbita jest związana z wykreśloną tu pętlą histerezy. Ze względu na kształt pętli, duży sygnał wejściowy *A* powoduje mały sygnał wyjściowy, a mały sygnał wejściowy *B* duży sygnał na wyjściu

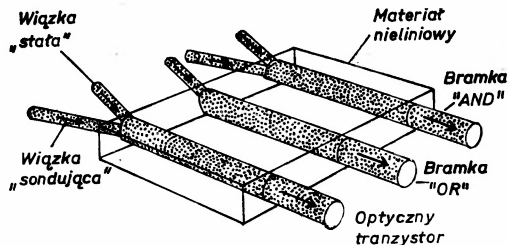
Ponieważ wiązka odbita jest dopełnieniem wiązki przechodzącej przez interferometr, to zwiększenie natężenia wiązki padającej spowoduje spadek sygnału wyjściowego. Zmniejszenie natężenia wiązki padającej da duży sygnał wyjściowy.

Ku komputerom fotonowym

Konstrukcja komputera optycznego wymaga zbudowania i połączenia ze sobą wielu elementów obwodu optycznego. W latach siedemdziesiątych pracowano nad cienkimi warstwami przewodzącymi promieniowanie laserowe. Wydaje się, że światłowody będą mogły łączyć poszczególne elementy w optyczny obwód scalony, choć takich prób jak dotąd nie podejmowano.

Jednym z zastosowań nowej technologii optycznej może być konstrukcja optycznego komputera o architekturze, czy też organizacji logicznej, przypominającej zwykłą maszynę elektroniczną. Podstawową zaletą komputera o konwencjonalnej architekturze, lecz zbudowanego z elementów optycznych, będzie jego ogromna szybkość. Optyczne bramki logiczne mogą przeprowadzać 1000 miliardów operacji logicznych na sekundę, w porównaniu z 1 miliardem operacji osiąganym przez bramki elektroniczne.

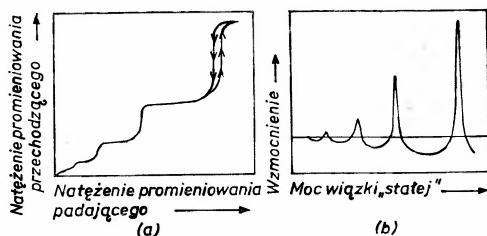
Właściwości przełączników optycznych pozwolą także na zbudowanie komputerów o nowej, odmiennej architekturze. Podczas gdy różne prądy wprowadzone jednocześnie do tranzystora niewątpliwie zostają zmieszane, to każda złożona wiązka promieniowania po przejściu przez interferometr ponownie da się rozdzielić. Dlatego możliwe jest użycie jednego kryształu do jednoczesnego prowadzenia kilku niezależnych operacji. Przy-



Rys. 9. *Równoległe przetwarzanie* jest własnością przełączników optycznych, która może prowadzić do stworzenia nowej architektury i nowych możliwości komputerów. Złożone wiązki promieniowania można tak ogniskować, że podczas przechodzenia przez nieliniowy materiał pozostają rozdzielone. Każda ścieżka promieniowania może służyć jako miejsce odrębnej operacji, a na różnych wiązkiach mogą być prowadzone różne operacje. Na przykład, jeśli mamy trzy ścieżki, to jedna może być bramką AND, druga bramką OR, a trzecia tranzystorem optycznym. Jeśli trzy wiązki padające pochodzą z jednej rozszczepionej wiązki, to na tym pierwotnym sygnale można przeprowadzić jednocześnie trzy różne operacje. Taka własność będzie wymagała opracowania nowych metod przetwarzania informacji; w komputerach elektronicznych można jeden sygnał poddać tylko jednej operacji

kładowo, przez kryształ może prowadzić pięć różnych ścieżek optycznych i na każdej z nich można dokonywać odrębnej operacji (rys. 9). Każda operacja może być inna dzięki wyborowi odpowiednich natężeń promieniowania. Dla przykładu, dwie ścieżki optyczne mogą pracować jako bramki AND, dwie jako bramki OR, a jedna jako tranzystor optyczny.

Jeżeli zmodulowane wiązki na każdej z pięciu ścieżek będą pochodziły z jednego sygnału podzielonego na 5 części, to sygnał ten można będzie jednocześnie poddawać pięciu różnym operacjom logicznym. Rezultaty tych operacji można będzie dalej przetwarzać, oddzielnie lub razem. Taki sposób działania maszyny będzie wymagał zupełnie innych układów obliczeniowych niż te, które są stosowane w maszynach elektronicznych.



Rys. 10. *Wielokrotna bistabilność* jest właściwością przełączników optycznych, która może prowadzić do rozwoju nowych systemów logiki komputerowej. Dla danego interferometru może istnieć wiele długości dróg optycznych równych całkowitej wielokrotności połówek długości fali promieniowania. Każda taka długość optyczna odpowiada jednemu maksimum funkcji Airy'ego, a więc daje jedno maksimum transmisji. Zwiększanie natężenia wiązki padającej powoduje przejścia długości optycznej nieliniowego kryształu w rezonatorze przez kolejne maksima transmisji. Wykres natężenia promieniowania przechodzącego w funkcji natężenia wiązki padającej tworzy szereg prawie poziomych stopni, z których każdy odpowiada innemu maksimum na krzywej Airy'ego (a). Jeśli natężenie stałej wiązki w optycznym tranzystorze rośnie, to kolejne impulsy wiązki sondującej powodują przejścia natężenia transmitowanej wiązki przez kolejne stopnie na krzywej. Ponieważ poziome stopnie na krzywej (a) są coraz wyższe, to sygnał wyjściowy (czy też wzmocnienie) rośnie po każdej operacji przełączenia dokonywanej przez wiązkę sondującą (b). Różne poziomy transmisji mogą oznaczać wartości w nowym systemie logicznym, który zastąpi dotychczas stosowaną logikę binarną

Przełączanie optyczne może prowadzić do dalszych modyfikacji logiki komputera. Jedną z możliwości, już wspomnianą, jest wprowadzenie przyrządów mających więcej niż dwa stany logiczne. Niektóre z badanych przez nas kryształów mogą dawać kolejno kilka poziomów transmisji przy stałym zwiększaniu natężenia padającego promieniowania. Te poziomy transmisji mogłyby odpowiadać stanom wielowartościowych systemów logicznych.

Optyczne przetwarzanie danych

Nie należy traktować optycznych układów przełączających jedynie jako szybkich substytutów urządzeń elektronicznych. Przeciwnie, największe zalety przełączników optycznych mogą wynikać z tych zastosowań, których nie można osiągnąć przy użyciu przełączników elektronicznych. Światłowody, które mogą przenosić zdumiewającą ilość informacji, są coraz częściej stosowane do komunikacji, w tym komunikacji pomiędzy komputerami. Przełączanie optyczne może łatwo pośredniczyć między układami elektronicznymi a optycznymi. Z drugiej strony, jeżeli obliczenia są dokonywane optycznie, światłowód można wykorzystać jako bezpośrednie połączenie między systemami obliczeniowymi.

Jak stwierdziliśmy, przełączniki optyczne mogą być produkowane w postaci cienkich warstw krystalicznych. Współczesne technologie wytwarzania kryształów pozwalają na produkcję warstw o bardzo dużych powierzchniach. Gdyby wytworzyć optyczny obraz przedmiotu wprost na dużej powierzchni, której każdy fragment działałby jako przełącznik optyczny, to sygnał wyjściowy z takiego układu przełączników byłby cyfrowym zapisem tego obrazu. Raz zapisany obraz mógłby być poddawany dalszej obróbce komputerowej.

Do tej pory wyrażaliśmy się bardzo entuzjastycznie o możliwościach przyrządów przełączających optycznie. Wypada teraz wspomnieć o przeszkodach dzielących urządzenia eksperymentalne od rozwiązań komercyjnych. Problemem widocznym podczas naszych eksperymentów jest konieczność pracy przyrządu w niskich temperaturach. Jest oczywiste, że praca w temperaturach bliskich temperaturze pokojowej byłaby dużo wygodniejsza. Jak stwierdziliśmy wcześniej, przerwa energetyczna antymonku indu jest mała i zmniejsza się ze wzrostem temperatury. Przy użyciu lasera CO o długości fali 10 μm udało nam się osiągnąć przełączanie optyczne w temperaturze pokojowej.

Nowe lasery i nowe materiały nieliniowe niewątpliwie pozwolą na zwiększenie szybkości i sprawności przełączników optycznych. Najpoważniejszym problemem praktycznym towarzyszącym budowie optycznego komputera jest wybór odpowiednich materiałów. Ogólnie rzecz biorąc, przełącznik powinien pobierać jak najmniejszą moc. Przełączająca moc jest iloczynem natężenia padającego światła i powierzchni kryształu. Dlatego zmniejszając wymiary przyrządu można tę wartość zredukować. Z drugiej strony, urządzenie nie może być zbyt małe, gdyż wiązki lasera nie można zogniskować do nieskończenie małych wymiarów. Ponadto przy zmniejszaniu wymiarów przełącznika problemem staje się niepożądana generacja ciepła.

W sprzeczności z ogólną tendencją do osiągnięcia małej mocy przełączającej jest fakt, że czas przełączania można w pewnych granicach zmniejszyć stosując większe moce. Wymiary przyrządu, prędkość przełączania oraz moc przełączania zależą wzajemnie od siebie.

bie i należy je rozpatrywać w odniesieniu do termicznych i optycznych właściwości nieliniowego ośrodka i do funkcji, jakie ma spełniać przełącznik. Najważniejszym zadaniem w procesie rozwoju optycznego przełączania jest wybór lub odkrycie doskonalszego ośrodka nieliniowego². Myślimy jednak, że pomimo tych ogromnych trudności komputer optyczny jest bliską i pociągającą przyszłością.

Tłumaczył *Piotr Edelman*

Instytut Technologii Elektronowej CEMI
Warszawa

Literatura uzupełniająca

1. H. M. Gibbs, S. L. McCall, T. N. C. Venkatesan „Optical bistable devices: the basic components of all-optical systems?”, *Opt. Eng.* **19**, 463 (1980).
2. Charles M. Bowden, M. Ciftan, H. R. Robl (red.), *Optical bistability*, Plenum Press 1981.
3. Alan Miller, David A. B. Miller, S. Desmond Smith, „Dynamic non-linear optical processes in semiconductors”, *Adv. Phys.* **30**, 697 (1981).
4. David A. B. Miller, „Bistable optical devices: physics and operating characteristics”, *Laser Focus* **18**, 79 (1982).

Pozycje dodane przez tłumacza

5. F. V. Karpushko, G. V. Sinitsyn, *Zh. Prikl. Spektrosk.* **29**, 820 (1978).
6. H. M. Gibbs, J. L. Jewell, J. V. Moloney, K. Tai, S. S. Tarng, D. A. Weinberger, A. C. Gossard, S. L. McCall, A. Passner, W. Wiegmann, „Optical bistability, regenerative pulsations and transverse effects in room-temperature GaAs-AlGaAs superlattice etalons”, *J. Phys. (France)* **44**, C2-195 (1983).
7. H. M. Gibbs, S. L. McCall, T. N. C. Venkatesan, A. C. Gossard, A. Passner, W. Wiegmann, „Optical bistability in semiconductors”, *Appl. Phys. Lett.* **35**, 451 (1979).

² W 1982 r. Gibbs i wsp. [6] uzyskali przełączanie optyczne w supersieci GaAlAs wiązką o długości fali 1.06 μm i w temperaturze pokojowej (przyp. tłum.).

RÓŻNE

Andrzej Trautman

Komisja Prezydium PAN
ds. Rozwoju Kadr Naukowych

Propozycje i uwagi na temat kształcenia i rozwoju kadr naukowych *

Proposals and Remarks on the Education and Development of Scientific Staff

1. Wstęp

Powstawanie kadr naukowych jest częścią rozwoju całej nauki. O jakości kadr decydują więc wszystkie te czynniki, które określają poziom badań: ogólny stan oświaty, kultury i techniki, klimat społeczno-polityczny kraju, szkolnictwo wyższe, warunki materialne, współpraca z zagranicą. Pomocniczą — ale łatwiejszą do ujęcia — rolę w kształtowaniu kadr naukowych odgrywają: system nadawania stopni, tytułów i stanowisk naukowych, zorganizowane formy kształcenia kadr i wyszukiwania talentów oraz nagradzanie osiągnięć. W poniższych uwagach i propozycjach ograniczamy się do niektórych spośród tych organizacyjnych i systemowych aspektów procesu kształtowania kadr naukowych, pamiętając o tym, że odgrywają one rolę wtórną, ale niezbędną we współczesnej, profesjonalnej i zróżnicowanej nauce.

Współczesna nauka obejmuje **różnorodne** dyscypliny i formy działania, stosuje rozmaite metody badawcze, a jej osiągnięcia dotyczą zarówno czystego poznania jak i rychłych zastosowań. Organizatorzy i administratorzy badań — a także w pewnym stopniu sami uczeni — czują natomiast potrzebę ujmowania nauki w **uniwersalne**, całą naukę obejmujące schematy i systemy, takie jak np. układ stopni, tytułów i stanowisk naukowych. Systemy takie są pożyteczne i **nieźle** działają, jeśli są odpowiednio **elastyczne** pozwalając na uwzględnianie właściwości różnych dziedzin nauki. Sporo trudności, z jakimi boryka się polska nauka, wynika z prób upowszechniania form organizacyjnych, dostosowanych tylko do niektórych działów nauki oraz kodyfikowania tych form przy pomocy nadmier-

* Jest to skrócony i nieco zmieniony (zaktualizowany) tekst referatu wygłoszonego przez prof. A. Trautmana na posiedzeniu Prezydium PAN w lutym 1983 r. Pełny tekst ma być opublikowany w *Nauce Polskiej*.

Referat opracowany został w ramach prac Komisji Prezydium PAN ds. Rozwoju Kadr Naukowych, której prof. Trautman był przewodniczącym w latach 1981—83 (przyp. Red.).

nie szczegółowych przepisów (np. finansowanie przedmiotowe, szczegółowe planowanie badań, studia doktoranckie, jednolita forma habilitacji). Rozważając więc obecnie sposoby ulepszenia rozwoju kadr naukowych w Polsce powinno się pamiętać o celowości poszukiwania elastycznych form organizacyjnych, umożliwiających środowisku naukowemu dostosowywanie ich do specyfiki poszczególnych dyscyplin oraz o potrzebie umiaru, unikania wstrząsów i nagłych zmian, które naruszają delikatną tkanę nauki.

Obowiązująca obecnie w Polsce drabina stanowisk akademickich wywodzi się z tradycji dziewiętnastowiecznych uniwersytetów niemieckich. System zatrudniania pracowników naukowych i awansowania wzdłuż tej drabiny został w PRL ukształtowany podczas długiego okresu ilościowej ekspansji szkolnictwa wyższego i tworzenia nowych placówek badawczych. Warto przypomnieć jak znaczny był wzrost zatrudnienia pracowników nau-

Tabela 1 (wg Rocznika Statystycznego 1981 r.)

	1970	1975	1980
Ludność Polski w tys	2 526	34 022	35 578
w %	100	104,6	109,4
Przyrost naturalny w %	0,85	0,97	0,86
Absolwenci szkół wyższych w tys.	47,1	63,2	84,0
Nadane stopnie dr	2290	3432	3737
dr hab.	482	598	539
Nadane tytuły prof. nadzw.	124	270	
prof. zwycz.	46	84	
Pracownicy naukowci ogółem	39 563	60 528	70 380
w %	100	153	179
w tym PAN	2209	3711	4541
w %	100	167	205

kowych w latach 1970—80 (tab. 1): średni roczny przyrost zatrudnienia wynosił w tym okresie 6%, a przyrost naturalny — tylko 0,8%. Długotrwała obfitość dopływu nowych etatów spowodowała wytworzenie się liberalnego systemu oceny młodych pracowników, umożliwiającego co najwyżej eliminację zupełnych mniemot. Absolwent wyższej uczelni, przyjmowany na stanowisko asystenta-stażysty, ma niemal gwarantowane zatrudnienie w ciągu 9 lat, nawet jeśli nie zrobi w tym czasie doktoratu. W większości wypadków, nawet kiepski doktorat wykonany w czasie asystentury, zapewnia awans na adiunkta i dalsze 10 lat pracy. Wiele osób nie uzyskujących stopni naukowych także pozostaje w „sferze nauki” obejmując stanowiska wykładowców lub pracowników naukowo-technicznych. Pod wpływem nacisku ze strony związków zawodowych, w uchwalonej w 1982 r. Ustawie o szkolnictwie wyższym znalazły się postanowienia utrudniające racjonalną politykę kadrową: umowy o pracę z asystentem lub adiunktem można nie przedłużyć jedynie po stwierdzeniu, że pracownik ten, z przyczyn od niego zależnych, nie wykazał postępu w pracy naukowej lub dydaktycznej (Art. 170, ust. 2 Ustawy z dnia 4 maja 1982 r.).

Choć w skali całego kraju w dziesięcioleciu 1971—80 znacznie zwiększyło się zatrudnienie pracowników naukowych, to wiele czołowych placówek już od dłuższego czasu

cierpi z powodu **braku dopływu młodej kadry**. Im lepsza placówka, tym szybciej jej pracownicy zdobywają stopnie i tytuły naukowe, stabilizują się i niejako zamykają do niej wstęp dla młodzieży. Na przykład w Instytucie Historii PAN zatrudnienie pracowników naukowych wzrastało w latach 1975—82 tylko o 1,3% rocznie, a asystenci stanowią tam 14% kadry naukowej; w okresie 1968—78 IH PAN nadał 35 stopni doktora słuchaczom studiów doktoranckich. Gdyby zaniechać prowadzenia studiów doktoranckich, nie zastąpić ich inną formą szkolenia młodej kadry i utrzymać dotychczasowy sposób zatrudniania asystentów i adiunktów, to wkrótce niemal wszystkie czołowe polskie placówki naukowe — a przede wszystkim instytuty PAN — pozbawiłyby się dopływu młodzieży i uległyby procesowi starzenia się, zmieniając się w zamknięte w sobie skupiska profesorów, docentów i sfrustrowanych adiunktów. Nie mogłyby się one wywiązywać z ważnego obowiązku, jakim jest szkolenie kadry naukowej na potrzeby całej polskiej nauki. Ten ostatni problem należy rozpatrywać w związku z wysoce **nierównomiernym rozkładem geograficznym kadr naukowych** w Polsce, ich niedoborem w ośrodkach oddalonych od tradycyjnych centrów akademickich. Istotną przyczyną tego niedoboru są znaczne różnice w poziomie życia i dostępie do kultury między tradycyjnymi a nowymi ośrodkami akademickimi. Nakładają się na to trudności mieszkaniowe, lęk przed nieznanym środowiskiem — często niechętnym przybyszom z zewnątrz — oraz obawa przed izolacją naukową na nowym terenie, gdzie biblioteki są źle zaopatrzone, a warsztat pracy trzeba tworzyć od początku. Obok tych trudności obiektywnych występuje „błąd systemowy”, wynikający ze zwyczajów i przepisów dotyczących kształcenia i zatrudniania pracowników naukowych, a polegający na ich zbyt wczesnej i nadmiernej stabilizacji.

Złożoność problematyki kształcenia kadr naukowych i brak całościowej koncepcji ich rozwoju prowadzi do wydawania przez władze rozmaitych zaleceń — często **wzajemnie sprzecznych** — i podejmowania działań, których fragmentaryczność i biurokratyczny charakter przesądza o ich niepowodzeniu. I tak np. zaleca się asystentom i adiunktom szybkie doktoryzowanie i habilitowanie się, a ich zwierzchnikom — skracanie okresów zatrudnienia pomocniczych pracowników poniżej ustawowego maksimum. Nawołuje się do podniesienia poziomu doktoratów i równocześnie narzeka się na niską sprawność studiów doktoranckich oraz zaleca kandydatom do tytułów profesorskich wylegitymowanie się kilkoma wypromowanymi doktorami. Uruchamia się zbyt liczne studia doktoranckie obarczając ich słuchaczy 900 godzinami obowiązkowych zajęć, a później zamyka się te studia nie wprowadzając niczego na ich miejsce.

Uderza szczególnie brak koncepcji kształcenia, rozwoju i zatrudnienia kadr naukowych w warunkach „stanu ustalonego”, tzn. w warunkach utrwalenia się wielkości przyrostu zatrudnienia w pobliżu przyrostu naturalnego ludności, co jest nieuniknione po „okresie przejściowym”, jakim był powojenny okres szybkiego rozwoju szkolnictwa wyższego nauki.

2. Stopnie, tytuły i stanowiska naukowe

Panuje zgodność co do tego, że należy dbać przede wszystkim o wysoką jakość kadr naukowych, odstępując od wygórowanych ilościowo planów kształcenia. Zasada ta powinna przyświecać pracom nad projektem nowej ustawy o stopniach i tytułach naukowych.

Pierwszy zarys tego projektu przewiduje, podobnie jak dotychczasowa Ustawa, dwa **stopnie** naukowe (doktora i doktora habilitowanego), oraz dwa **tytuły** profesorskie, mimo że inne ustawa przewidują tylko jedno **stanowisko** profesora. Projekt przewiduje także utrzymanie i wzmocnienie roli Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej.

Przepisy prawne nie mogą bezpośrednio wpłynąć na poziom doktoratów ani habilitacji, ale powinny utrudniać nadawanie stopni naukowych za prace słabe. W związku z tym, powinno się zawęzić grono placówek uprawnionych do nadawania stopni przez wprowadzenie ostrzejszych niż dotychczas warunków, jakie muszą spełniać rady naukowe ubiegające się o takie uprawnienia.

Wiele dyskusji wzbudza stale habilitacja. Zgodnie ze stanowiskiem Prezydium PAN, należy zachować ten drugi stopień naukowy i podnieść jego rangę, m. in. przez przywrócenie wykładu habilitacyjnego i ustawowe stwierdzenie, że o stopień doktora habilitowanego może ubiegać się osoba, której dorobek świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań i kierowania badaniami. Przygotowywany ostatnio projekt ustawy zachowuje konieczność przedłożenia rozprawy habilitacyjnej, na którą w pewnych dyscyplinach może się składać tematycznie jednolity cykl oryginalnych, opublikowanych prac.

Podwyższenie wymagań w stosunku do kandydatów do tytułów profesorskich powinno być częścią starań o wyższą jakość kadr naukowych. Sformułowania dotychczasowej ustawy były nazbyt ogólnikowe, gdyż mówiły głównie o pomnożeniu dorobku i osiągnięciach w pracy dydaktyczno-wychowawczej. Długoletnie doświadczenie CKK doprowadziło do opracowania nieco bardziej precyzyjnych kryteriów, które częściowo mogą być utrwalone w ustawie o stopniach i tytułach naukowych. Kandydaci do tytułów profesorskich powinni mieć autorytet naukowy w swoim środowisku, a kandydaci na profesorów zwyczajnych — posiadać pewne uznanie międzynarodowe i utworzyć wokół siebie grupę badawczą.

Od długiego czasu wiele kontrowersji budzi żądanie, aby kandydaci do tytułów profesorskich posiadali w swoim dorobku kilku wypromowanych przez siebie doktorów. Nie ulega wątpliwości, że **osiągnięcia w kształceniu młodej kadry** powinny być oceniane przy wnioskach o profesurę. Nie należy jednak wysuwać żadnych kategoriycznych warunków ilościowych takich, jak np. „Kandydat na profesora nadzwyczajnego powinien wypromować dwóch doktorów”. Członek Komisji Prezydium PAN do spraw rozwoju kadr naukowych, prof. S. Dżułyński, wielokrotnie zwracał uwagę na to, że tego rodzaju warunki prowadzą do obniżania poziomu doktoratów, a nawet pewnej demoralizacji środowiska naukowego. Dotyczy to szczególnie instytutów naukowo-badawczych. W okresie zmniejszonego dopływu nowych etatów i ograniczenia studiów doktoranckich, nawet pracownicy szkolnictwa wyższego będą mieli trudności z wywiązywaniem się z obowiązku promowania doktorów.

Już w 1973 r. prof. Jan Szczepański zwracał uwagę na to, że „choć ustawa oddziela postępowanie w sprawie nadania tytułu naukowego profesora od postępowania w sprawie powołania na stanowisko profesora, to w praktyce sprawy te nie są oddzielone. Wydaje się, że ważnym narzędziem polityki naukowej byłoby świadome i bardziej konsekwentne stosowanie rozdziału”. Mogłoby się ono przyczynić do przepływu wysoko kwalifikowanych kadr do ośrodków odczuwających ich brak. W związku z tym należałoby rozważyć — niepopularną w środowisku naukowym — kwestię tzw. etatyacji.

Projekt nowej ustawy o stopniach i tytułach naukowych zobowiązuje CKK do wydawania orzeczeń w określonych terminach i uzasadniania decyzji negatywnych, ale nie mówi o trybie i czasie rozpatrywania wniosków profesorskich przez organa społeczne i państwowe. W środowisku naukowym panuje przekonanie, że właśnie ta składowa procesu nadawania tytułów profesorskich powoduje ich notoryczną przewlekłość. W niektórych środowiskach budzi znaczne wątpliwości tryb wydawania opinii o postawie obywatelskiej kandydatów do tytułów profesorskich. Pożądane jest przeanalizowanie — na podstawie obszernego materiału faktycznego, dostępnego Komisji Kadr Naukowych Rady Państwa — czasu trwania różnych etapów procesu nadawania tytułów profesorskich. Na podstawie takiej analizy można by podjąć starania o skrócenie tego procesu.

W związku z przygotowaniem owej ustawy o stopniach i tytułach naukowych celowe jest rozpatrzenie także następujących uwag i propozycji:

- zawarcie w Ustawie artykułu o studiach doktoranckich,
- rozważenie, czy ograniczenie czasu rozpatrywania spraw przez CKK nie doprowadzi do obniżenia jakości wydawanych ocen,
- umożliwienie nadawania tytułu profesora nadzwyczajnego wybitnie zdolnym naukowcom bezpośrednio po habilitacji bez potrzeby „pomnożenia dorobku po ostatniej nominacji”,
- powiększenie do trzech liczby recenzentów rozpraw doktorskich oraz wprowadzenie „krajowej listy recenzentów”, z której byłby powoływany przynajmniej jeden z opiniodawców w każdym przewodzie,
- w celu podniesienia poziomu habilitacji, tworzenie środowiskowych rad naukowych, zapewniających udział szerszego grona specjalistów.

3. Kształcenie młodej kadry

Do niedawna w Polsce powszechnie stosowane były dwie drogi kształcenia młodej kadry i zdobywania doktoratu: **asystentura i studia doktoranckie**. Te ostatnie rozwinęły się (ilościowo) szczególnie intensywnie w latach siedemdziesiątych, w związku z ambitnymi planami rozwoju kraju. Przy tworzeniu studiów doktoranckich popełniono kilka podstawowych błędów, które zaważyły na ich rozwoju. Studia doktoranckie spotkały się z krytyką społeczną, co spowodowało ich zamknięcie w resorcie szkolnictwa wyższego. Błędy, które zaważyły na losach studiów doktoranckich to: 1) sztywne ramy prowadzenia studiów, uniemożliwiające dostosowywanie ich do specyfiki różnych dziedzin, 2) zbyt szkolny charakter (początkowo 900 godzin zajęć obowiązkowych, później zmniejszone do 400), 3) zbyt duża liczba studiów (zdarzało się, że w jednym mieście prowadzono kilka odrębnych studiów doktoranckich w tej samej dziedzinie). W warunkach stosunkowo obfitego dopływu nowych etatów, na studia doktoranckie był przyjmowany „drugi garnitur” młodych adeptów nauki. Czuli się oni pokrzywdzeni w stosunku do swoich kolegów-asystentów, mających wszystkie uprawnienia pracownicze i poczucie stabilizacji zawodowej. Asystentura była zawsze uważana za coś lepszego, choć asystenci w uczelniach narzekali na przeciążenie obowiązkami dydaktycznymi. Wywalczyli oni dla siebie korzystne — ale chyba tylko pozornie — przepisy ustawowe, gwarantujące niemal od początku pracy stabilizację zawodową.

Studia doktoranckie krytykuje się głównie za ich niską sprawność, mierzoną stosunkiem liczby nadanych stopni doktora do ilości osób przyjętych na te studia. Dla studiów stacjonarnych w PAN sprawność po 5 latach wynosi ok. 42%, w naukach biologicznych, medycznych i rolnych dochodzi do 55%. Dane te nie są w pełni miarodajne, gdyż jako „odsiew” uwzględniają one także tych (często najlepszych) doktorantów, którzy przechodzą na stały etat w placówkach naukowych i doktoryzują się w ramach asystentury. Ze względu na znaczną liczbę skreśleń ze studiów (ok. 5% uczestników na rok) lepszą miarą ich wydajności jest procentowy stosunek liczby uzyskanych doktoratów do liczby osób, które pobrały pełne stypendium doktoranckie. W latach 1968—77 stosunek ten, obliczony dla studiów stacjonarnych (bez uwzględnienia doktorantów pracujących) wynosił ok. 60% (wg danych Biura Kadr PAN). Warto zauważyć, że nikt u nas nigdy nie powiedział jaka jest pożądana (oczekiwana, możliwa) sprawność studiów doktoranckich. Bo przecież nie 100 ani nie 95%? Wiadomo, że im ambitniejsze zamiary, tym większe szanse niepowodzenia. Musi to być uwzględnione w rachunku kosztów rozwoju nauki, o czym mówił prof. M. Chorąży na LVII Sesji Zgromadzenia Ogólnego PAN.

Można spodziewać się, że kryzys spowoduje w okresie najbliższych lat poważne trudności w znajdowaniu pracy przez młodych kandydatów na pracowników naukowych. Ponadto, wątpliwa jest skuteczność asystentury — w obecnym jej ujęciu — jako metody selekcji młodych kadr. Należy więc podjąć działania, które złagodzą te trudności, gdyż w przeciwnym razie w polskiej społeczności naukowej powstanie luka obejmująca roczniki absolwentów z lat osiemdziesiątych.

Jednym ze sposobów częściowego rozwiązania tego problemu jest właściwe wykorzystanie studiów doktoranckich, które mogą stać się pewnego rodzaju „przechowalnią”, rezerwą kadry naukowej. Należy zmodyfikować przepisy o studiach doktoranckich; przepisy te powinny być odpowiednio ogólne i elastyczne, tak aby umożliwić dostosowanie szczegółowych rozwiązań do specyfiki różnych działów nauki. Należy więcej uwagi poświęcić warunkom materialnym i sprawom bytowym doktorantów, nadając im uprawnienia pracownicze, podobnie do tego, co w latach pięćdziesiątych obowiązywało w stosunku do aspirantów. Placówki naukowe prowadzące studia doktoranckie winny mieć znaczną swobodę w ustalaniu sposobu rekrutacji na studia i terminu otwierania przewodów doktorskich oraz móc decydować — w ramach pewnych ogólnych zasad — o czasie trwania studiów, warunkach ich przedłużania oraz o potrzebie i długości stażu pracy przed tymi studiami. Studia doktoranckie zarówno stacjonarne, jak i dla pracujących należy utrzymać jedynie tam, gdzie są one uzasadnione zapotrzebowaniem na doktorów danej specjalności, gdzie są odpowiedni kandydaci na studia, a środowisko naukowe akceptuje tę formę kształcenia. Należy także przewidzieć w przepisach ułatwienia w tworzeniu środowiskowych studiów doktoranckich i doprowadzić do dalszego ich rozwoju. Studia takie pozwalają na racjonalne łączenie możliwości kształcenia kadr w placówkach PAN, szkolnictwa wyższego i resortów gospodarczych. Należy ułatwiać pracownikom uczelni przyjmowanie obowiązków promotora na studiach doktoranckich w placówkach PAN oraz umożliwić członkom PAN umieszczanie swoich uczniów na tych studiach. Studia doktoranckie powinny być prowadzone w większych ośrodkach badawczych o wysokim poziomie naukowym, pozwalając na wszechstronne kształcenie doktorantów. Trudno spodziewać się, aby można było opracować realne, ilościowe plany zapotrzebowania na doktorów różnych

specjalności lub skutecznie zapewnić zatrudnienie wszystkich absolwentów studiów doktoranckich. Wiadomo, że zrezygnowano niedawno z planowanego zatrudnienia absolwentów wyższych uczelni. Można by natomiast dokonać analizy sposobu zatrudnienia absolwentów studiów doktoranckich w latach 1968—82 i brać wyniki tej analizy pod uwagę przy planowaniu kształcenia nowych doktorów.

Innym sposobem kształcenia młodej kadry zarówno na poziomie przed-, jak i podoktorskim mogłaby się stać **instytucja staży (stypendiów) naukowych**, wzorowana na tym, co praktykuje się w wielu krajach. Takie stypendia stażowe umożliwiłyby stały dopływ młodych pracowników do czołowych placówek naukowych, bez obowiązku zatrudniania ich na stałe. Warto rozważyć następujące cztery rodzaje stypendiów:

1) wstępne, roczne lub dwuletnie stypendia stażowe przyznawane absolwentom uczelni nie posiadającym jeszcze doświadczenia w pracy naukowej;

2) stypendia stażowe dla osób rozpoczynających pracę nad doktoratem, przyznawane w placówkach, gdzie nie ma studiów doktoranckich. Stypendia takie, przyznawane na 3 lata, umożliwiłyby indywidualne studia doktoranckie;

3) stypendia dla osób kończących pracę nad rozprawą doktorską, przyznawane na rok lub dwa lata. Stanowiłyby one formy przedłużenia studiów doktoranckich zarówno zorganizowanych, jak i indywidualnych. Przyznanie tego rodzaju stypendium winno być poprzedzone rzetelną analizą stopnia zaawansowania przewodu doktorskiego kandydata;

4) stypendia podoktorskie (jedno- lub dwuletnie) byłyby przeznaczone dla świeżo wypromowanych doktorów w celu odbycia stażu w placówce w zasadzie innej niż ta, gdzie była wykonana praca doktorska. Miałyby na celu rozszerzenie zdobytej wiedzy i stanowiłyby okres przejściowy przed podjęciem stałej pracy.

Staż, o których tu mowa, powinny stanowić główne zajęcie i źródło utrzymaniastypendysty, tzn. nie można by ich traktować jako dodatku do pensji. Ich wysokość powinna zatem odpowiadać temu, co otrzymują pracownicy naukowcy o analogicznym stażu pracy i stopniu zaawansowania w karierze (asystenci, starsi asystenci oraz adiunkci). Również inne uprawnienia stażystów powinny być w zasadzie takie jak młodych pracowników naukowych. Główna różnica polegałaby na tym, że staże stanowiłyby formę zatrudnienia o ściśle określonym, nieprzekraczalnym czasie trwania.

System stypendiów stażowych powinien przyczynić się także do stopniowego łagodzenia nierównomierności w geograficznym rozkładzie kadry naukowej. Umożliwi on bardziej skuteczną selekcję kadry, rozdzielając proces selekcyjny na kilka etapów i wprowadzając **elementy konkursu naukowego przy ubieganiu się o staże w najlepszych placówkach**.

Ze względu na wymogi reformy gospodarczej i w celu zapobieżenia zamianom staży na etaty, konieczne jest rozdzielenie funduszu przeznaczonego na proponowane staże od funduszu płac osób zatrudnionych na podstawie umowy o pracę lub na stałe. Wydaje się więc celowe utworzenie **Funduszu Rozwoju Kadry Naukowej**, przeznaczonego na finansowanie studiów doktoranckich, stypendiów stażowych oraz dodatków stypendialnych, przyznawanych pracownikom etatowym, przygotowującym rozprawy doktorskie i habilitacyjne. W razie potrzeby, zakres działania Funduszu mógłby zostać rozszerzony na finansowanie innych form doskonalenia młodej kadry („szkoły letnie”, seminaria szkoleniowe, wyjazdy zagraniczne stażystów itp.).

W początkowym okresie Fundusz mógłby powstać przy Polskiej Akademii Nauk

i skoncentrować się na finansowaniu studiów doktoranckich i stypendiów stażowych w placówkach PAN. W przypadku powodzenia jego działania, Fundusz mógłby objąć inne pionierzy nauki, a przede wszystkim szkolnictwo wyższe. Funduszem powinien obecnie zarządzać Sekretarz Naukowy PAN przy pomocy Sekretariatu Naukowego i Biura Kadr PAN, w porozumieniu z Komisją Prezydium PAN do spraw rozwoju kadr naukowych. W ramach Funduszu można będzie dokonywać analizy efektywności różnych form kształcenia młodej kadry (asystentura, studia doktoranckie, staże) i na jej podstawie decydować o racjonalnym rozdziale środków.

4. Podsumowanie i wnioski

1) Biorąc pod uwagę różnorodność nauki, należy dbać o elastyczność form kształcenia i rozwoju kadr naukowych.

2) Obecne zwyczaje i przepisy dotyczące kształcenia, zatrudniania i awansowania młodej kadry powstawały podczas długiego okresu szybkiego wzrostu liczby pracowników naukowych. Potrzebny będzie teraz znaczny wysiłek, aby dostosować się do nowych warunków i zapewnić mniejszy niż w minionym dziesięcioleciu, ale stały dopływ młodej kadry do placówek naukowych i uczelni.

3) Celowi temu mogą służyć dobrze prowadzone studia doktoranckie oraz system stypendiów stażowych, umożliwiających zatrudnianie młodych pracowników na okres kilku lat dla prowadzenia badań i przygotowania doktoratu. Nowa ustawa o PAN powinna przewidywać możliwość zatrudniania stażystów.

4) Pożądane jest utworzenie Funduszu Rozwoju Kadry Naukowej, którego zadaniem będzie racjonalna gospodarka środkami finansowymi przeznaczonymi na kształcenie kadr.

5) Nowa ustawa o stopniach i tytułach naukowych może przyczynić się do podnoszenia poziomu kadr naukowych.

6) Współpraca z zagranicą — a w szczególności rozwój staży zagranicznych młodych pracowników — stanowi bardzo ważny element kształcenia kadr naukowych.

7) Pożądane jest opracowanie ogólnego modelu zatrudnienia i bilansu etatowego kadr naukowych, dostosowanego do ustabilizowanego przyrostu zatrudnienia w sferze nauki.

8) Przygotowując taki model należy z jednej strony pamiętać o jedności nauki i szkolnictwa wyższego oraz zaletach przepływu kadr między różnymi działami nauki, a z drugiej — o obowiązku kształcenia wysokokwalifikowanych kadr na potrzeby gospodarki narodowej, oświaty i administracji.

9) Postępująca pauperyzacja polskiej nauki grozi odpływem części kadr i zahamowaniem dopływu nowych. Dotyczy to szczególnie dziedzin nauki związanych z zastosowaniami.

Literatura

- [1] J. Szczepański, „System kształcenia i wychowania kadr o kwalifikacjach naukowych”, *Nauka Polska* 21, no 4, 87 (1973).
- [2] M. Wiewiórowski, „O zadaniach i sposobach doskonalenia pracy Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej”, *Nauka Polska* 25, no 5, 23 (1977).

- [3] Z. Kaczmarek, „Zasady i kryteria kwalifikowania kandydatów do tytułu naukowego profesora”, *Nauka Polska* **25**, no 7, 7 (1977).
- [4] W. Czachórski, „Aktualne problemy nadawania stopni naukowych doktora”, *Nauka Polska* **27**, no 8, 15 (1979).
- [5] J. Goćkowski, „Doktoraty i habilitacje a proces rozwoju uczonego”, *Nauka Polska* **28**, no 5, 59 (1980)
- [6] A. Trautman, *Nauka Polska*, no 1—2, 127 (1983).

WSPOMNIENIA — ROCZNICE

*Przemysław Zieliński*Instytut Problemów Jądrowych
Warszawa**Pamięci Władysława Natansona (1864—1937)****In Memory of Władysław Natanson (1864—1937)**

I

Niniejszy artykuł nie łączy się z żadną rocznicą związaną z osobą wybitnego fizyka polskiego Władysława Natansona. Został napisany z dwóch powodów: pierwszy z nich to przekonanie, że Natanson jest postacią, której przybliżenie kolejnemu pokoleniu fizyków polskich jest rzeczą potrzebną, drugi to uczucie wdzięczności żywione nie tylko przez autora artykułu lecz zapewne przez wielu fizyków, którzy pierwsze zetknięcie z fizyką przeżyli w strasznym okresie wojennym, kiedy brak było normalnego życia, normalnych szkół i uniwersytetów i kiedy lektura nielicznych dostępnych książek i podręczników, a wśród nich *Wstępu do fizyki teoretycznej* Natansona oraz jego esejów stała się dla interesujących się fizyką źródłem radości i olśnienia jej pięknem.

II

Władysław Natanson urodził się w roku 1864 w Warszawie, w rodzinie, w której twórczość naukowa i literacka żywa jest od kilku pokoleń. Ojciec Władysława, Ludwik, był lekarzem, autorem wielu rozpraw naukowych; stryj Jakub, profesor Szkoły Głównej w Warszawie był odkrywcą pierwszego barwnika anilinowego; wraz z bratem Edwardem napisał Władysław kilka najwcześniejszych prac z dziedziny fizykochemii; działalność naukową i literacką kontynuują obecnie: bratanek, fizyk — Ludwik i syn, pisarz — Wojciech.

III

Prace Natansona stanowią poważny wkład do rozwoju fizyki na przełomie XIX i XX wieku. Część z nich została doceniona przez współczesnych, jak praca z polaryzacji eliptycznej światła (której wynikiem jest ustanowienie tzw. reguły Natansona) oraz niektóre prace

z zakresu termodynamiki, cytowane obszernie w ówczesnej klasycznej monografii Duhema i w nowszych: Prigogine'a i De Groota. Mniej znana jest praca o statystyce fotonów, w której Natanson do pewnego stopnia wyprzedza odkrycie Bosego i Einsteina. W przeciwieństwie do jego starszego kolegi, Mariana Smoluchowskiego, znaczenie całości prac Natansona, ich zakres i owocność, nie zostały jeszcze w pełni naświetlone w naszej literaturze naukowej i popularnej. (Pewne informacje zawierają referaty Leopolda Infelda, Arkadiusza Piekary i Jana Weysenhoffa wygłoszone na XV Zjeździe Fizyków Polskich we Wrocławiu (*Postępy Fizyki* 9, 120, 125, 130 (1958)) oraz Jana Weysenhoffa i Kazimierza Gumińskiego, wygłoszone na XIX Zjeździe w Krakowie (*Postępy Fizyki* 17, 95, 101 (1965)), a także artykuł Kazimierza Gumińskiego (*Acta Physica Polonica* A58, 501 (1980)).

Największą chyba wagę dla rozwoju fizyki mają pionierskie prace Władysława Natansona dotyczące termodynamiki procesów nieodwracalnych, opublikowane w 1896 r., które uzasadniają uznanie go za prekursora tej nowej, burzliwie obecnie rozwijającej się dziedziny fizyki współczesnej. Zarówno rezultaty szczegółowe, które wyprzedziły wyniki Onsagera, jak i sformułowania ogólne, których pełny sens i znaczenie dopiero z upływem czasu stają się widoczne, oczekują wciąż jeszcze — po osiemdziesięciu latach — na ich pełną analizę, uznanie i spożytkowanie. Jest to wdzięczne zadanie dla tych kolegów, którzy obecnie pracują w dziedzinie fizyki statystycznej.

A jaki był sąd samego Natansona o własnych pracach? Tak odległy od wszelkich popolitych zabiegów o uznanie i poklask, nie przyczynił się bynajmniej do ich rozgłosu, wręcz przeciwnie, mówił o swoich dokonaniach ze wzruszającą skromnością, czego przykładem niech posłuży fragment przemówienia, wygłoszonego w 1930 r. z okazji nadania mu tytułu doktora *honoris causa* Uniwersytetu Jagiellońskiego (*Widnokrąg Nauki*, str. 266):

„Przed wielu laty, młody, początkujący, nikomu nie znany, znalazłem w tym Uniwersytecie pomoc, opiekę, zachętę, serdeczne i krzepiące poparcie; znalazłem radość zgodnej pracy, łączności, porozumienia i spójni; znalazłem niezapomniane, do kresu niezapomniane szczęście przyjaźni. Czulem już wówczas, że lat i życia będzie za mało, ażeby uiścić się z długu wdzięczności.

Pobiegły potem dni moje; uleciały i przemknęły jak cień, minęły i znikły jak sen. Usiłowałem być pożyteczny; gorąco pragnąłem uczynić zadość oczekiwaniu, usprawiedliwić ową ufność do mnie szlachetną, która poziom mego żywota do góry uniosła. Ale siły moje były słabe i okazały się mierne; zdolność i możliwość nie wystarczyła. Smutno mi dzisiaj pomyśleć, że życie spłynęło bez jasnego, bez niewątpliwego wyniku. Nie dozwoliły mi losy skarbów ludzkości wzbogacić, chociażby drobną, ale trwałą zdobyczą. Atoli w dziele zbiorowym, w majątku pokoleń (jakim jest nauka ludzka) poszukiwacze podrzędni są również potrzebni; wydobywają oni i czyszczą głazy, marmury, granity, z których geniusz kiedyś wyrzeźbi wszystkim z daleka widoczne posągi.

Czcigodni Panowie, nie roztrząsajmy może owoców naszego mozolu. Kto zdoła plon zważyć, gdy posiew trwa jeszcze? Urok życia tkwi w czystym porywie, w szczerości upragnień, w tęsknocie do dalekiego widzenia. Radość urasta, gdy dusza spotyka, co jest jej przeznaczonym żywotem”.

Charakterystyczny dla Natansona jest fakt (przytoczony przez Armina Teske, *Actes du VIII^e Congrès International d'Histoire des Sciences*, Florence, Sept. 1956, Tipogr. G. Bruschi, Firenze 1956, s. 123), że kiedy we wcześniejszej pracy Natansona znalazł się element rozważań wspólny z teorią ruchów brownowskich Smoluchowskiego, Natanson nie powiedział o tym przyjacielowi przez delikatność uczuć, w obawie, żeby nie nabrało to charakteru przejęcia części zasługi naukowej Smoluchowskiego. Uważał, że wszelkie spory o pierwszeństwo w wynikach naukowych nie licują z godnością uczonego.

Skromność Natansona łączyła się jednak, jak o tym pisał Leopold Infeld, z rezerwą w stosunku do ludzi. Natanson unikał bezpośrednich kontaktów osobowych. Ta cecha charakteru przyczyniła się do pewnej izolacji naukowej, odbiła się niekorzystnie na pełnym, odpowiadającym zdolnościom, rozwoju naukowym Natansona, na rozpowszechnieniu uzyskanych przez niego wyników, a także przeszkadzała w utworzeniu szkoły naukowej.

IV

Władysław Natanson, według przekazanych opinii, w szczególności Leopolda Infelda, wykladał znakomicie. Niestety nie zachowały się teksty jego wykładów. Zachował się tylko jego, napisany w wieku 26 lat, piękny *Wstęp do fizyki teoretycznej*, cenny niegdyś podręcznik.

W wygłoszonej na inauguracji roku akademickiego 1922/1923 w Uniwersytecie Jagiellońskim mowie rektorskiej Natanson przedstawił swoje poglądy na znaczenie nauki i nauczania w życiu uniwersytetu. Niektóre charakterystyczne dla niego myśli, zawarte są w następujących fragmentach (*Oblicze Natury*, str. 6 i 1.):

„Nauka wówczas przynosi najwięcej owoców, gdy ich nie szuka, gdy się o nie zgoła nie troszczy. Z jej istoty wynika, że nauka musi mieć wzrok zwrócony ku prawdzie; gdy spogląda w jakąkolwiek inną stronę, traci moc i przenikliwość spojrzenia, staje się wkrótce ślepą przewodniczką ślepych. Jak wyrzekł Lord Bacon: *lucifera, non fructifera, sunt quaerenda* [Należy poszukiwać tego, co przynosi światło, a nie tego, co niesie korzyści — Red.].

Twórcze myślenie, samotne pasowanie się z nierozwiązaną, często z nieprzezwycięzalną przez nikogo zagadką jest jedną z wielkich i czystych radości, które są duchowi ludzkiemu dostępne. Ale tę radość trzeba przypłacić. Okupić ją trzeba zmęczeniem dni pracowitych, niepokojem nocy bezsensnych; trzeba ją zdobyć, brnąć przez zniechęcenie i gorycz, trzeba ją osiągnąć wytrwałością i hartem. Do naukowego badania powołani są tylko nieliczni, szczęśliwi i nieszczęśliwi zarazem, dla których ta praca jest koniecznością organizacji duchowej”.

„Nauka nie jest bynajmniej zbiorem przepisów i recept, ani też sumą wiadomości, potrzebnych w rozmaitych zawodach; nauka jest motorem umysłowego życia narodu. Tą prawdą oddychamy w Uniwersytecie; tą prawdą jesteśmy przejęci. Gdybyśmy zadawali sobie tutaj naukę urobioną, gotową, spostrzeżlibyśmy wkrótce, że ona przeradza się w bezpłodną i bezduszną uczość. Poszukiwanie, dostrzeganie, doświadczanie, badanie nie jest uzupełnieniem lub upiększeniem uniwersyteckiego nauczania; ono jest jego treścią żywotną, jego koniecznością najpierwszą. Gdy Uniwersytet jest czynnym warsztatem, w którym wytwarza się narodowe jutro, gdy w nim kipi myśl twórcza, gdy zeń wybiegają śmiało lecz mądre idee oraz dobroczynne odkrycia, wolno nam wówczas powiedzieć, że działa nie tylko na szczupłą garstkę młodzieży, która w jego murach przebywa; wolno wówczas powiedzieć, że jest pochodnią, przed narodem płonąca, że jego promieniowanie podąża w kraj cały a nieraz także i poza jego granice”.

V

W polskim piśmiennictwie naukowym szczególnie miejsce zajmują eseje Władysława Natansona (*Odczyty i szkice*, 1908; *Oblicze Natury*, 1924; *Porządek Natury*, 1928; *Widnokrąg Nauki*, 1934; *Prądy umysłowe w dawnym Islamie*, 1937; por. także wybór fragmentów *Władysław Natanson — Wspomnienia i szkice*, dokonany i opatrzony przedmową przez

Arkadiusza Piekare (Wydawnictwo Literackie, Kraków 1977). Był bowiem równocześnie wybitnym przyrodnikiem i wybitnym humanistą. O jego humanistycznej wiedzy i artystycznej wrażliwości wypowiadali się nader pochlebnie współcześni humaniści (zachowała się entuzjastyczna opinia Juliusza Kleinera przytoczona we wspomnianym artykule Jana Weysenhoffa).

Niestety, przynajmniej z punktu widzenia obecnych zwyczajów pisarskich, mają szkice Natansona dwie wady. Pierwsza to misterna wymyślność, a stąd nie zamierzona nienaturalność stylu, składni i słownictwa, która tak utrudnia nam dzisiaj lekturę wielu spośród najwybitniejszych nawet ówczesnych pisarzy (np. Żeromskiego). Drugą wadą jest nadmierna emfaza, uwznioślenie tego stylu. Może jedno, szczególnie wybrane zdanie, dla ilustracji tych przeszkód w odbiorze przez dzisiejszego czytelnika: „Takie były pierwsze próby Maxwella opanowania wewnętrznego tumultu materii, tak usiłował wkroczyć, ścisłym rachunkiem w świat molekularny, szamocący się w nieprzerwanej gorączce.” Nie są to cechy istotne, a nawet w miarę czytania można się przyzwyczaić do tego rozpowszechnionego w owej epoce sposobu pisania, do pięknych okresów pełnych językowego bogactwa i szlachetnego patosu. Odkrywamy wtedy prawdziwe skarby humanistycznej wiedzy i błyskotliwej erudycji, podziwiamy umiejętność ożywienia portretowanych postaci, którymi są nie tylko fizycy (Newton, Faraday, Maxwell, Smoluchowski) lecz także filozofowie (Lukrecjusz, Bacon) i pisarze (Szekspir, Shelley, Defoe). Natanson uważał siebie za samouka, który więcej niż z wykładów współczesnych wyniósł z lektury klasyków. Ma dla nich kult niezmierny i emocjonalny stosunek, poznaje dokładnie nie tylko ich dzieła lecz całe ich życie i dzięki temu jego literacko-naukowe szkice znakomicie przybliżają czytelnikowi mentalność i charakter wielkich fizyków (a wśród nich Newtona, Faradaya i Maxwella, których sobie szczególnie upodobał), a także dzieje odkryć i szkół umysłowych (np. szczególnie ciekawy esej o 'Aleksandrii).

VI

Władysław Natanson brał czynny udział w organizacji życia naukowego w kraju, w szczególności został w 1920 r. pierwszym prezesem Polskiego Towarzystwa Fizycznego. W opublikowanych pismach zachowały się niektóre wypowiedzi Natansona na tematy społeczne, w szczególności dotyczące losów kraju i stanu społeczeństwa u progu odzyskanej po pierwszej wojnie światowej niepodległości. W dziedzinie moralności widział Natanson najistotniejsze dla rozwoju społeczeństwa sprawy. Jakże trafnie, aktualnie brzmią dzisiaj te etyczne przesłania, wypowiedziane pół wieku temu, w tak różnych okolicznościach (*Porządek Natury*, str. 171; *Oblicze Natury*, str. 14):

„Po strasznej krzywdzie, po haniebnej zbrodni dziejowej, której padliśmy niegdyś ofiarą, uznaliśmy przed kilku laty, że nadeszła chwila odszkodowania i zadośćuczynienia, chwila wyjątkowego dla nas przywileju. Wierzyliśmy w bezpieczeństwo bez mocy, we wpływ bez potęgi; pragnęliśmy pomyślności bez wysiłku, zamożności bez znoju, dobrobytu bez szczerego i wielkiego trudu; oczekiwaliśmy zdrowia w kraju i równowagi bez trwałego porządku, dzielnych rządów bez społecznej karności, kwitnącego państwa bez czystej i ofiarnej pracy od góry do dołu. Nie rozumieliśmy, że mimo wszelkie pozory, wiecznie wywiązujemy się wszyscy ze splątania przeszłości i mozołnie zasnuwamy się w przyszłość. Poczynamy dostrzegać (jak zwykle po szkodziu), że niedole bywają przestrogą i karą za publiczne zaniedbania i winy. Zaczynamy



Władysław Natanson (w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku)

uznawać, że wielkie prawa historycznych procesów są nieublagane. Nie zniechęcajmy się jednak, nie zrzekajmy się radości swobodnego i pełnego życia naszego Narodu. Pamiętając o niepowrotnych kajdanach niewoli, oddychajmy gorącym tchnieniem przyszłego rozwoju. Pracujmy; wszelka dobra wola i prawda musi zestroić i zespolić się kiedyś z każdym uczciwym i mądrym zamysłem. Uczciwość nie przestanie być opoką ludzkich zbiorowisk; mądrość nie przestanie być światłem.”

„Kamienne serce jest kruchą podstawą istnienia; i jest nie tylko zawodne, jest (oprócz tego) godne pogardy. Musimy się zbroić; ale w walce posługujmy się szlachetnym orężem. Gotujmy się do obrony od groźby Natury, a niestety także od ludzkiej; ale nie zapominajmy wówczas o najgorszym z wrogów, w duszach usadowionym: o kłamstwie, o złości i niskiej zawiści, o chciwości i krótkowzrocznej prywacie, o niekarności i obmierzłej swawoli, która niedołą się kończy. Kto umie być mądrym, **niechże** będzie szlachetnym, ma bowiem stokrotnie wzmożone obowiązki: względem Ojczyzny i względem bliźniego. *Science sans conscience est une erreur de l'âme* [Wiedza bez sumienia jest błędem (zblądzeniem, zagubieniem się) duszy — Red.]; o tej wielkiej prawdzie mamy wszyscy w życiu pamiętać. Największy cud na tej ziemi, ludzkie sumienie, jest także na niej najwyższą potęgą”.

R O Z M O W Y

Rozmowa z Arkadiuszem Piekara — badaczem zjawisk nieliniowych, inicjatorem polskich prac maserowych i laserowych**An Interview with Arkadiusz Piekara: Investigator of Non-Linear Phenomena, Initiator of Polish Works on Masers and Lasers**

W poprzednim zeszycie zamieściliśmy rozmowę dra Krzysztofa Szymborskiego, historyka fizyki (i jednocześnie fizyka specjalizującego się w zakresie fizyki ciała stałego), z prof. Piekara. Dotyczyła ona wczesnych lat życia i pracy prof. Piekary. Obecnie przedstawiamy rozmowę o późniejszych pracach i działalności Profesora, prowadzonych do chwili obecnej. Przeprowadzili ją, na prośbę Redakcji, prof. Jan Stankowski (fizyk molekularny, uczeń i współpracownik Profesora, pracujący w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu) oraz doc. Adam Kujawski (optyk, pracujący w IF PAN), a więc fizycy specjalizujący się w dziedzinach uprawianych przez prof. Piekara. Rozmowa została przeprowadzona w styczniu 1983 r., a ostateczny jej tekst otrzymaliśmy we wrześniu tegoż roku. Kopia taśmy z rozmową ma być przekazana do Pracowni Historii Fizyki przy Bibliotece Głównej Mikołaja Kopernika w Toruniu.

REDAKCJA

Jan Stankowski [JS] — Zwracamy się do Pana Profesora w imieniu Redakcji *Postępów Fizyki*, aby w bezpośrednim kontakcie przeżyć pewne rzeczy, które były Pana udziałem. Ja myślę, że nie od rzeczy będzie zacząć może nie od samego początku, ale wprost od środka, ponieważ zjawisko nasycenia dielektrycznego zostało odkryte w 1936 r. Może Pan Profesor powiedziałałby nam, dlaczego tak późno zostało ono powtórzone, bo dopiero w 1952 r.

Arkadiusz Piekara [AP] — Tak, bardzo późno zostało powtórzone, bo nie dało się powtórzyć wcześniej z powodu braku materiałów, przyrządów. Przyrząd do tego nawet zbudowałem w Mościcach będąc „Messtechniker” — niby do badania saletrzaku, bo Mościce były, jak wiecie, fabryką nawozów sztucznych. Zrobiłem taki przyrząd rzekomo do badania saletrzaku, a był gotów do badania nasycenia dielektrycznego, głównie w nitrobenzenie.

Adam Kujawski [AK] — Czy Pan Profesor pamięta, kiedy był zbudowany ten aparat?

AP — W czasie wojny, tzn. w okresie od 1941 r. do końca okupacji, tzn. do ewakuacji Mościc. Tarnowa i Krakowa. Ściśle, od wypuszczenia mnie z obozu koncentracyjnego w Dachau, gdzie siedziałem wspólnie z profesorami Uniwersytetu Jagiellońskiego i Akademii Górniczej.

AK — Jakie były losy Pana Profesora na drodze z Rydzyny do Mościc?

AP — Tutaj należy się komentarz, w jaki sposób znalazłem się w Dachau, a potem

w Mościcach. Był to nie tylko fragment historii wojennej, ale i fragment historii nauki polskiej w straszliwych warunkach barbarzyńskiej wojny, a raczej napaści.

Poranek piątkowy, 1 września 1939 r., zastał mnie w Rydzynie, skąd młodzież i nauczyciele z rodzinami zostali ewakuowani, a ja z trzema uczniami zostałem, aby pochować cenniejsze przyrządy w zakamarkach zamku (przecież wkrótce wrócimy!). A tymczasem pomagałem ułanom stacjonującym w Rydzynie zakładać telefony. W ów poranek o godzinie 5¹⁵ rozpoczęło się artyleryjskie ostrzeliwanie zamku. Pociski zerwały kable elektryczne. Więc na pewno nie manewry lecz wojna. Wyruszyliśmy samochodem przez drogi, zatłoczone byłem i ptactwem domowym, w stronę Warszawy. W sobotę nocleg w Pruszkowie i oddanie samochodu wojsku, w niedzielę w Warszawie. Radość niesie nam radio: Francja i Anglia wypowiedziały Niemcom wojnę. Potem nastąpiła kilkudniowa „wycieczka” rowerem na wschód, lecz 17 września pamiętny odwrót z powrotem do Warszawy. Tu dowiadujemy się, że jedyny uniwersytet, jaki będzie w Polsce otwarty — to Uniwersytet Jagielloński w Krakowie. Więc nowa, tym razem trzydniowa, wycieczka rowerami do Krakowa. Wiadomość robi wrażenie prawdy, bo zastaję pismo Rektora UJ profesora Lehr-Splawińskiego (byłem od roku 1937 docentem UJ), zapraszające mnie na posiedzenie profesorów i docentów w dniu 6 listopada 1939 r., na którym Obersturmbahnführer Müller wygłosi referat o zadaniach Uniwersytetu w warunkach wojny. Wkrótce usłyszeliśmy go, jak mówił (lub raczej wrzeszczał), co nas zaczęło upewniać, że on chyba nie z referatem tu przyjechał: „Sie haben Ihre Tätigkeit begonnen, ohne uns zu fragen” („zaczęli Panowie swoją działalność bez pytania się nas”) i po kilku takich zdaniach kończących się groźnym „ohne uns zu fragen” („bez pytania się nas”), oznajmił, że jesteśmy aresztowani. „Budami” przewieziono nas do więzienia (na Montelupich), potem do koszar, a wreszcie do Wrocławia (Strafgefängnis — zakład karny). Po trzech tygodniach więzienia zostaliśmy przewiezieni do obozu koncentracyjnego w Sachsenhausen, gdzie mieliśmy „Stehkommando” aż do wiosny, gdy zmarło z wycieńczenia 18 najstarszych profesorów. Nas młodszych, poniżej 40 lat, przewieziono do Dachau. Ale, proszę Panów, zapomniałem chwilowo o nauce. W więzieniu wrocławskim, po tygodniu, gdy jako tako oswoiłem się z więziennymi warunkami, zacząłem pisać pracę na kawałkach papieru pakunkowego, o oddziaływaniu dipoli elektrycznych w cieczach. Oddziaływania te były typu Debye’a (dipol oddziałuje z całym otoczeniem dipoli), oraz typu wprowadzonego przeze mnie (dipol oddziałuje najsilniej ze swoim najbliższym sąsiadem, zaś z resztą — po debyeowsku). Pracę tę udało mi się przewieźć do Sachsenhausen, gdzie miałem dla moich kolegów, starszych i młodszych (przeważnie nie-fizyków) wykłady popularne z fizyki. Spotkały się one z dużym uznaniem. Ale dalszego ciągu mojej pracy pisać nie mogłem; dokończyłem ją dopiero w Dachau. Mianowicie, teorię moją zastosowałem do zjawiska magneto-optycznego Cottona-Moutona i tu się okazało, że oddziaływanie mojego typu lepiej tłumaczy przebieg zjawiska niż debyeowskie.

W Dachau zaprzyjaźniłem się z Austriakiem Schnablem, inżynierem elektrykiem z Wiednia. Właśnie wyszedł z „bunkra” (więzienie o chlebie i wodzie), wychudzony (po 40 dniach) do niemożliwych granic. Trudno uwierzyć, że wkrótce dopominał się o powtórzenie mu wykładu o ogólnej teorii względności, co ja chętnie robiłem, nie tylko dlatego, że wtedy udawało się iż się pracuje. Wtedy nagle przychodzi „Stubenältester” (przełożony sali) i wzywa mnie do komendanta obozu. Nie wiem dlaczego, ale wiadomość o zwolnieniu

przyjąłem obojętnie, z obojętną postawą. Tego samego dnia znalazłem się w Monachium, a następnego w Krakowie.

Zaraz przyjaciele zaproponowali mi posadę montera w elektrowni lub motorniczego w tramwajach. Być motorniczym było bezpieczniej (w łapankach ulicznych ludzi z tramwaju zabierają, motorniczego nie). Ale jednak bardziej kusiła mnie posada elektryka i objąłem ją. Wkrótce mój uczeń z Rydzyny — Jakub Tomaszewicz — (wykonał on świetną pracę indywidualną z przewodnictwa cieplnego gazów, wydrukowaną w *Rydzyniaku*) zaproponował mi stanowisko „Messtechnikera” (technika pomiarowego) w Zakładach Azotowych w Mościcach. Z radością przyjąłem i zakopałem się w pracy naukowej z fizyki dielektryków, którą po wojnie opublikowałem w *Acta Physica Polonica*. Poza obowiązkami „technika pomiarowego”, zorganizowałem kurs fizyki dla laborantów, z którego wyszło później kilku fizyków. Poza tym pisałem podręcznik *Elektryczność i budowa materii*, który zacząłem już w Rydzynie. Po wojnie wydany został w Krakowie przez oficynę Księgarni Wydawniczej Stefana Kamińskiego.

W Mościcach zająłem się jeszcze jedną rzeczą, przypadkową, ale jakże ważną. Toteż zająłem się nią z wielką ochotą. Oto jesienią roku 1943 spadł koło wsi Żurawica pod Sandomierzem zupełnie nieznany pocisk niemiecki nazwany później V2 (V1 już bombardował Anglię). Próbną nową pociski wystrzeliwane były z poligonu pod Dębicą w kierunku północnym do nieznanych mi celów. Zadaniem moim oraz dwóch byłych moich uczniów z Rydzyny (bR-ów, czyli byłych Rydzyniaków) było zbadanie resztek pocisku, zebranych i schowanych przez tamtejszych wieśniaków. Jednym z bR-ów był młody właściciel majątku w Żurawicy, student Politechniki Gdańskiej, Józef Świeżyński, drugim — późniejszy student Politechniki Śląskiej Zygmunt Bujakowski (z obydwojma już wcześniej brałem udział w projektowaniu wiatraka szybkoobrotowego dla lokalnej elektrowni w Żurawicy). Zbadane części napędu pozwoliły nam opracować raport odpowiadający na wielorakie pytania: jaki rodzaj napędu ma pocisk V2? (odrzut gazów spalinowych), jaki rodzaj lotu? (balistyczny na wielkich wysokościach), jaka kontrola? (krótkimi falami radiowymi), jakie sterowanie? (strumieniem gazów odrzutowych) itd. Na to ostatnie pytanie mogliśmy odpowiedzieć dzięki znalezieniu czegoś, co przypominało lekki ster łodzi (metalowy?, z jakiego metalu?). Na to pytanie odpowiedział młody laborant z laboratorium chemicznego Mościc, również bR, Jacek Hennel, późniejszy znany fizyk. Po kilku dniach analiz Jacek odpowiedział: nie metal, lecz grafit. Raport nasz wraz z częściami silnika, poszedł nieznaną nam drogą, zorganizowaną przez dowódcę naszego wywiadu AK (pseudonim „Niu-nio”), do Londynu. W końcu r. 1946, w Anglii (Teddington) dowiedziałem się, że doszedł. Prawdopodobnie trud nasz nie poszedł na marne.

Pod koniec wojny, jesienią 1944 r., otrzymałem wiadomość od dowódcy AK (ojca Zdzisława Szymanowskiego), że wskazane byłoby możliwie niezwłocznie opuścić Mościce. Jeszcze tego samego dnia Jacek Hennel odprowadził mnie na stację kolejową; był zdenerwowany, ja też. Wcześniej już, dzięki moim przyjaciołom w Krakowie (z Mościc) i we Lwowie, którzy mi ofiarnie pomagali, zabezpieczyłem maszynopisy mej książki i moich prac naukowych. Pod tym względem byłem spokojny. Więc przyjechawszy do Krakowa od razu przystąpiłem do pracy w podziemnym Uniwersytecie Jagiellońskim, jako docent i wykładowca na Wydziale Chemicznym i Lekarskim, oraz na Studium Farmakologicznym i Wychowania Fizycznego.

Później, w kwietniu 1946 r. otrzymałem nominację na profesora nadzwyczajnego Politechniki Gdańskiej, na wydziałach Elektrycznym, Mechanicznym i Budowy Okrętów. Lecz wkrótce przyszło zaproszenie na stypendium do Uniwersytetu w Paryżu na 3 miesiące i do kilku uniwersytetów w Anglii, na trzy tygodnie. Dało mi to wielkie korzyści naukowe, z którymi wróciłem do Gdańska.

JS — A więc rozpoczął się okres gdański. To był okres wielkiej organizacji.

AP — Ale przedtem, jeszcze w czasie okupacji, było coś innego, do czego chcę wrócić. Był mój magistrant, późniejszy profesor Rayski. Odnalazł mnie on w Mościcach i odwiedził. Przyjeżdżał do mnie z Tarnowa na rowerze. Ja mu dałem pracę magisterską związaną z tematyką prac Fuossa, oczywiście dotyczącą też nieliniowych efektów w dielektrykach. I tę pracę bardzo pięknie skończył w ciągu kilku miesięcy. I oto już nosił dyplom magistra w kieszeni, ale jeszcze nieurzędowy — podziemny. Bardzo udało mu się ta praca, a był to mój pierwszy magistrant. Od razu odgadłem w nim wybitnego fizyka-teoretyka. Miałem jeszcze jednego ucznia, który stał się wybitny, a właściwie czterech takich uczniów. Jeden — to Łempicki — uczeń jeszcze z Rydzyny, który znalazł się wkrótce po wojnie w Stanach Zjednoczonych i tam odegrał dużą rolę w dziedzinie budowy laserów i badania zjawisk laserowych. Drugi, to był Jacek Hennel — mój uczeń w szkole laborantów w Mościcach. Dla niego i dla mojego późniejszego asystenta, Zdzisława Szymanowskiego, robiłem wstęp do fizyki uniwersyteckiej, no i jak widać to mi się dobrze udało: Hennel jest obecnie wybitnym fizykiem. Szymanowskiemu długoletnie więzienie uniemożliwiło po wojnie dalsze studia. Miałem jeszcze jednego wybitnie zdolnego magistranta — Sajdlera. Było to już później w Gdańsku.

JS — Trochę zboczyliśmy z głównej drogi, bo chodzi o to, dlaczego tak trudno było odtworzyć zjawiska nieliniowe eksperymentalnie.

AK — Kto najbardziej współdziałał w tym odtworzeniu?

AP — Może zacznę od Gdańska, ale okaże się, że z Gdańska będę musiał czym prędzej pojechać do Paryża i Londynu. Gdy otrzymałem od Prezydenta Państwa Bolesława Bieruta akt nominacyjny na profesora w Politechnice Gdańskiej przypadek zdarzył, że otrzymałem jednocześnie z Ministerstwa wiadomość o tym, że mam się udać do Paryża. Chętnie na to przystałem, miałem tam wielu przyjaciół, a natychmiast po Paryżu dostałem zaproszenie z British Council na wyjazd do Wielkiej Brytanii. Te dwie wycieczki dały mi bardzo wiele. W Paryżu, dopóki nie wróciłem do moich dawnych zainteresowań, odwiedziłem Joliotą i tam od niego dowiedziałem się bardzo różnych ciekawych rzeczy o tym, jak Niemcy budowali stos atomowy — tak się to wówczas nazywało — jak im się to musiało nie udać. Cegielkę takiego stosu widziałem, nie tylko widziałem i oglądałem, ale dwie takie cegielki przywiozłem do kraju. Jedną mam jeszcze, jedną dałem prof. Konstantemu Zakrzewskiemu. Tam był dwutlenek uranu i parafina.

JS — W sposób ciągły rozłożone?

AP — Tak i nie, mianowicie jako zawiesina.

AK — Z kim jeszcze, poza Joliotem, spotkał się Pan w Paryżu?

AP — Z moim dawnym współpracownikiem prof. Schérerem. Z nim się spotykałem, także z prof. Freymannem, który wtedy, gdy ja pracowałem u prof. Cottona nad zjawiskiem Cottona-Moutona, on pracował nad krótkimi falami elektromagnetycznymi, ich dyspersją i absorpcją, też u prof. Cottona. Zaprzyjaźniliśmy się bardzo i z Schérerem

i z Freymannem. Teraz tę przyjaźń odnowiliśmy sobie i umawialiśmy się na przyszłą współpracę.

JS — Zresztą chyba dzięki temu kontaktowi Pająk był u Freymanna na stażu.

AP — Tak, tylko dzięki temu kontaktowi Pająk pojechał wkrótce na staż do prof. Freymanna. Jak mi wiadomo, bardzo wiele skorzystał, nauczył się bardzo wiele w dziedzinie protonowego rezonansu magnetycznego, który wówczas zrewolucjonizował fizykę, a dzisiaj rewolucjonizuje medycynę.

JS — A co było w Londynie?

AP — W Paryżu przebywałem 3 miesiące. To był dla mnie, po wojnie, bardzo długi okres i bardzo dużo z tego czasu skorzystałem, a do Londynu pojechałem na 2 tygodnie, lecz przedłużono mój pobyt, bo miałem tam tyle do roboty. Tam zawarłem przyjaźń z paroma profesorami, m. in. z Pippardem, który wiele lat później został dyrektorem Cavendish Laboratory w Cambridge i tam moi nowi, wówczas, koledzy bardzo mi wiele pomagali merytorycznie. Miałem nowe czasopisma, a merytorycznie pomagali mi także w ten sposób, że od jednego z nich zacząłem się dowiadywać, jak Anglicy bronili swoich brzegów przed inwazją.

JS — Historia radaru!

AP — Tak, to była historia radaru, a historia ta jest historią mikrofal. Wtedy dowiedziałem się pierwszy raz co to są mikrofałe. Mikrofałe znałem jako te fale, które metodą Barkhausena i Kurtza są wytwarzane na drutach Lechera, nad którymi pracował u nas w Warszawie Witold Kessel, późniejszy Łaniecki. W nawiasie trzeba dodać, że Łaniecki zmienił nazwisko po to, aby nie być Kesselem i żeby go nie zaczepiali Niemcy zanadto energicznie; nie chciał być Volksdeutschem. To może warto dodać.

JS — Powróćmy jednak do polskich bohaterów zjawisk nieliniowych i mikrofal.

AP — Więc przede wszystkim musiałem się nauczyć tego sam. W Londynie miałem parę kilkogodzinnych rozmów z moimi angielskimi kolegami. Z rozmów i z wykładów można się czegoś dowiedzieć, ale nie nauczyć. Nauczyć się trzeba było samemu. Z każdą nauką tak jest. Skorzystałem jednak z tej literatury, którą mi dano w Londynie. Zabrawszy się do niej nauczyłem się tej dziedziny zaraz jak tylko wróciłem z Londynu. Było to prawie natychmiast po skończonej wojnie, byłem tam w końcu 1946 r. Ja mówię „natychmiast”, bo mi się to tak skróciło. Zaczęliśmy wtedy w Politechnice Gdańskiej pracować, jak już powiedziałem, nad nieliniowymi zjawiskami dielektrycznymi w nitrobenzenie i nad mikrofalami.

JS — Przejdźmy do tych, którzy powtórzyli zjawiska nieliniowe odkryte przez Pana Profesora wiele lat temu — tzn. myślę tu o Chełkowskim, Małeckim i Kielichu.

AK — O zespole, który dzięki Panu Profesorowi powstał w Poznaniu.

AP — Mój okres poznański zaczął się od tego, że zaproponowali mi przejście do Poznania profesorowie Szczeniowski, Loria i Witkowski (astronom), który był wówczas dziekanem i to była najważniejsza postać w tym przeniesieniu. Poważne trudności były w Gdańsku. Mianowicie, kiedy byłem w Paryżu, tzn. przed podróżą do Londynu jeszcze, ciągle myślałem o tym, żeby zrobić te zjawiska nieliniowe — zarówno wpływ pola magnetycznego, jak i wpływ pola elektrycznego na stałą dielektryczną. Otóż jakie trudności usiłowałem pokonać? Po pierwsze nie miałem aparatury. Druga trudność pojawiła się jednocześnie, bowiem po wojnie nie było odczynników chemicznych, o tej czystości, przy której

można byłoby zrobić najczystsze preparaty, oczyszczać „für wissenschaftliche Zwecke” („w celach naukowych”), jak to nazywano u Mercka i Kahlbauma. Nawet większa czystość była potrzebna niż „für wissenschaftliche Zwecke”, bo tu nie handlowe czyszczenie było przecież konieczne, lecz indywidualne oczyszczenie, kontrolowane. Otóż bez takiego oczyszczenia nic z moich efektów by nie wyszło. Nic! Mógłbym liczby podać, te do których byłem przyzwyczajony. Mianowicie przewodnictwo nitrobenzenu handlowego wynosiło 10^{-6} — 10^{-7} j.e.s., a my z takim nitrobenzenem nic nie mogliśmy zrobić, a on już był oczyszczony!

JS — A jaki był potrzebny?

AP — W Rydzynie przekonałem się, że do otrzymania zjawiska nieliniowego potrzebny był nitrobenzen 10^{-12} i ten nitrobenzen ja otrzymałem w Rydzynie bardzo daleko posuniętymi metodami chemicznymi, do których destylacja w próżni była tylko częścią wysiłku.

JS — Tam wytrząsania jakieś były?

AP — Wytrząsania i suszenie w określonej temperaturze nad Al_2O_3 . Trzeba było bardzo specjalnego, tzw. aktywnego Al_2O_3 .

JS — To dotyczyło samego materiału, samego przedmiotu badań, a teraz aparatura dudnieniowa, o ile pamiętam, została do tego zbudowana.

AP — Trzeba było zrobić aparaturę, na razie jeszcze nieimpulsową. Ja używałem aparatury rezonansowej w Rydzynie. Oczywiście sam zrobiłem tę aparaturę. Ale działanie na obwód rezonansowy, to jeszcze daje za małą czułość, by ten efekt znaleźć. Trzeba było dwa obwody nadawcze zdudnić, no i potem po zdudnieniu zastosować prostowanie, tak jak to jest w superheterodynie. To udało mi się zrobić w Rydzynie samemu, po czym robił to Łempicki, ale wojna mu przeszkodziła. No a w Gdańsku nie mieliśmy materiałów do tego zadania. Robiło się aparaturę, dobra aparatura została zrobiona, ale nitrobenzen był 10^{-7} , to znaczy nic nie wart. Trzeba było go oczyszczać. Otrzymać małą ilość zanieczyszczeń, to tak, jak otrzymać małą liczbę molekuł w powietrzu rozrzedzonym, czyli w wysokiej próżni. Trzeba wystartować z małą liczbą zanieczyszczeń, aby otrzymać jeszcze mniejszą. Otóż na początek trzeba było mieć nitrobenzen lepszy niż 10^{-7} i tego nie można było dostać ani w kraju, ani w Paryżu. Będąc w Paryżu myślałem o moich uczniach, którzy czekają na prace magisterskie i doktorskie, i żeby te prace udały się, trzeba im dostarczyć Al_2O_3 i trzeba im dostarczyć nitrobenzenu. Z fabryki Poulenc Frères w południowej Francji udało mi się otrzymać zarówno kilogram Al_2O_3 , jak i 3 litry nitrobenzenu najczystsze. Oni mieli jak najlepsze chęci, ci bracia Poulenc. Fabryka dostarczyła mi najlepsze odczynniki jakie miała. Ja te dwa odczynniki z Paryża, kiedy nie było jeszcze komunikacji lotniczej przewiozłem sanitarnym pociągami do Krakowa, a z Krakowa do Gdańska, bo w Gdańsku już byłem mianowany profesorem nadzwyczajnym. I w Gdańsku okazało się, że obie te substancje zarówno Al_2O_3 , jak i nitrobenzen, nie dały się oczyścić. Od 1946 do 1952 nie dało się tego zrobić. Do Poznania przyjechałem z silnym postanowieniem robienia dalszego ciągu tego programu i do tego celu znalazłem tam grupę chętnych ludzi, którzy potem okazali się nie tylko chętni, ale oddani bardzo sprawie badań naukowych w tej dziedzinie, do której ich zachęciłem. Lekkomyślnie byłoby mi teraz powiedzieć nazwiska tych ludzi, bo mógłbym kogoś opuścić.

JS — To nie szkodzi.



Prof. Arkadiusz Piekara. Fot. Tadeusz Rolke



Na konferencji w Pizie (1960 r.)



Prof. Piekara demonstruje model dimeru alkoholowego (na wykładzie dla studentów w 1975 r.). Fot. Bogdan Idzikowski

AP — Ale Pan mi pomoże.

JS — Ja wtedy byłem studentem, ale dużo rzeczy zapamiętałem. Chyba Chełkowski zaczął.

AP — W Poznaniu utworzyłem trzy grupy pracowników, którzy zajęli się trzema dziedzinami ze sobą silnie powiązanymi. Pierwsza grupa to była grupa z Pająkiem, ówczesnym magistrem z Politechniki Gdańskiej (który się zajmował początkowo promieniowaniem kosmicznym). Pająk zrobił z tego pracę magisterską, a potem na pracę doktorską dałem mu pracę z dziedziny ferroelektryków, które poznałem głównie z prac prof. Wuła. Prof. Wuł był nawet u nas w Poznaniu.

JS — Pająka już mamy, on jest łącznikiem czasów gdańskich i poznańskich.

AP — Nie udało mi się ściągnąć Sajdlera, któremu na skutek moich starań Infeld miał dać temat pracy teoretycznej, ale to były tylko zamiary. Sajdler zajął się informatyką z wielkim sukcesem.

AK — A jakie były następne grupy w Poznaniu?

AP — Następne i ostatnie dwie grupy to były: grupa dielektryków ciekłych, badania momentów dipolowych mieszanin oraz badania zmiany stałej dielektrycznej w polu elektrycznym i w polu magnetycznym. W Paryżu zrobiłem wraz z Schérerem ongiś nieudane doświadczenia. Było to poszukiwanie wpływu pola magnetycznego na przenikalność elektryczną i to się nie udało. Otóż gdy tylko wróciłem z Paryża do Rydzyny w roku 1934, pierwszym moim działaniem było powtórzenie tego w Rydzynie. W Rydzynie powtórzyć mi się nie udało, chociaż elektromagnes został specjalnie zbudowany przez grupę uczniów rydzynskich pod kierunkiem mechanika i instruktora Miszkina. Doświadczenie koniecznie chciałem powtórzyć dlatego, że chciałem sprostować błędne wyniki, jakie w pierwszym komunikacie zostały ogłoszone. To było rzeczą najpilniejszą. Zawsze uczyłem moich uczniów: chociaż *errare humanum est*, zawsze trzeba jak najprędzej sprostować pomyłkę. Zdawało mi się, że uczyć ludzi tego nie potrzeba, a jednak potrzeba było.

JS — Kto powtórzył z Panem Profesorem to doświadczenie nad wpływem pola magnetycznego na przenikalność elektryczną?

AP — Początkowo miałem zamiar zrobić to w Paryżu w Schérerem. Potem chciałem, żeby to zrobili w Gdańsku i dlatego postaraliśmy się o ten wielki elektromagnes zbudowany z transformatora wielkiej mocy. Tu trzeba będzie wspomnieć Adelmiana — utalentowanego laboranta. To był niezwykle inteligentny laborant. Zbudował mi on ten elektromagnes razem z Miszkinem, który został do Gdańska przeze mnie sprowadzony z Rydzyny. Widzicie Panowie jak się starałem, by ten efekt znaleźć, ażeby móc sprostować niepasujące do rzeczywistości wyniki.

JS — Ale w końcu ten efekt wpływu pola magnetycznego zaobserwowaliście z Chełkowskim?

AP — Tak, ale po jakich ogromnych pracach przygotowawczych. Trwały one 25 lat, w Paryżu, Rydzynie, Gdańsku i Poznaniu. Efekt ten, o którym wiedziałem już z obliczeń, że istnieje. Obliczenia efektów nieliniowych dokonałem jeszcze bez ówczesnego studenta Kielicha. We wszystkich powojennych latach zajmowałem się tym obliczeniami i tymi badaniami i kiedy dostałem Kielicha jako studenta, wkrótce odgadłem, że będę miał w nim współpracownika myślącego tak jak ja, a może lepiej. No i tak się stało. W dziedzinie fizyki teoretycznej odkryłem w nim wielki talent, a odkryłem w taki sposób, że prowadziłem

seminarium z fizyki ogólnej w Poznaniu. Dałem mu referat. Seminarium polegało na tym, że dawałem referaty z książki Sommerfelda, którą wysoce ceniłem *Atombau und Spektrallinien*. Uczyłem się z tej książki. No i Kielich opracował pierwszy referat. Zaproponowałem mu, aby napisał go w postaci nadającej się dla studentów jako skrypt — jeszcze nie był wtedy asystentem. No, ale nie miał na to czasu, bo on się intensywnie uczył, więc zamiast napisać skrypt ze swego referatu, który byłby studentom bardzo pożyteczny, pracował sam nad sobą, ja zaś go nie zmuszałem.

JS — Przechodzimy jeszcze raz do tego powtórzenia. Wraz z Chełkowskim obydwaj efekty powtórzyliście w Poznaniu: wpływ pola elektrycznego i magnetycznego.

AP — Aparatura, która się nadawała do pola elektrycznego, była jeszcze o dwa rzędy wielkości za mało czuła, by wykryć efekt pola magnetycznego. Efekt pola magnetycznego i elektrycznego przedstawiłem na II Konferencji AMPERE w Paryżu. Pokazałem, że musi być 9 rodzajów zjawisk nieliniowych. Pola silne są tu podstawą polaryzującą (ang. *biasing fields*), a pola słabe są polami mierzącymi (ang. *measuring fields*). Jak weźmiemy 3 kolumny i 3 rzędy, to będziemy mieli tablicę 9 efektów i te efekty zacząłem obliczać. Z ogromnym udziałem Kielicha. Pamiętam jak rano, po nieprzespanej nocy, pokazywaliście sobie wyniki.

AK — To był rok 1958?

AP — Tak, pamiętam na Konferencji oprócz Freymanna i wielu innych inicjatorów Groupement AMPERE był prof. Lucas. To był mój kolega z czasów mego pierwszego pobytu w Paryżu. Był asystentem Langevina. Niezwykle mądry, zrobił kilka odkryć, ogromnie zasłużony człowiek. Pragnąłem gorąco, aby został wyróżniony honorowym doktoratem Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Niestety, warunki nie były sprzyjające po temu, a w tym samym czasie, niezależnie od tego, zostałem powołany na katedrę fizyki w Uniwersytecie Warszawskim (1965).

JS — Dowiedzieliśmy się więc, że wpływy pola elektrycznego i magnetycznego odkrył Pan Profesor z Chełkowskim. Ja tutaj dodam, że przy okazji odkryliście dodatni efekt w molekułach z rotacją wewnętrzną. Może się jednak nie koncentrujemy na tym, bo to byłby cały wykład. Chodzi mi teraz o to, żeby Pan Profesor zechciał się jeszcze chwilę zatrzymać na Małeckim, który zaczął rozwijać stosowanie pól magnetycznych impulsowych.

AP — Tak, ale po przygotowaniu całej aparatury i tu trzeba słów parę powiedzieć. W Poznaniu Małecki, Surma i pani Gibalewicz otrzymali magnetyczne pola impulsowe. Do tego celu sprowadziliśmy 14 wielkich kondensatorów na wysokie napięcia i o dużych pojemnościach. Olbrzymy to były! Te impulsowe pola okazały się bardzo silne i bardzo efektowne, bo dochodziły prawie do 400 000 Oe w cewce specjalnie zbudowanej i obudowanej betonem żeby się nie rozwałała, a rozwałała się często! Otóż w tej cewce w dość dużej objętości kilku cm^3 , może nawet kilkunastu, otrzymaliśmy pola 360 000 Oe — na świecie już do 2×10^6 Oe doszli, ale w objętości znacznie mniejszej i w czasie znacznie krótszym. Ze względu na metodę unikaliśmy najkrótszych czasów i unikaliśmy małych objętości.

JS — Przy tych polach magnetycznych został Surma, a co się stało z Małeckim?

AP — Przez parę lat wszyscy oni zostali przy polach magnetycznych impulsowych. Na

temat pól magnetycznych opublikowaliśmy prace, które dawały rotacje $2\pi n$ (gdzie n równa się kilka jedności) w zjawisku Faradaya.

JS — A Małecki przeszedł wtedy do impulsowych pól elektrycznych i zajął się alkoholami.

AP — Ja muszę tu powiedzieć o mojej generalnej zasadzie. Gdy daję pracę doktorską, a nie jest ona przeze mnie wypróbowana jako pewna, to nie wiem czy ona się uda i stosuję „kłapę bezpieczeństwa”. Kłapa bezpieczeństwa działała, gdy potrzeba, często zaś nie była potrzebna. Wyjątkowy przypadek był przy pracy Małeckiego. Kłapa bezpieczeństwa powinna była zadziałać, dlatego że z tamtych pól w tak krótkich czasach, jakie wyładowanie kondensatorów dawało i w tych małych objętościach wykrycie tego efektu było niemożliwe. Może teraz byłoby to możliwe, ale wtedy było nieosiągalne. Otóż kłapa bezpieczeństwa zadziałała: Małecki przeszedł bardzo szybko do pola elektrycznego. Pole elektryczne bardzo łatwo jest zrobić impulsowe, pole magnetyczne gorzej, bo takie wielkie pola magnetyczne, gdy mają krótki impuls to mają dużą szybkość zmiany strumienia i dają pola elektryczne wirowe. Trzeba było robić to przy rozsądnych czasach nie za szybko, żeby się nie przyplątały efekty elektrycznego pola, które są znacznie większe. Otóż, co myśmy zrobili? W Poznaniu (bo w Poznaniu była cała aparatura budowana) taką chytrą metodę zastosowałem, do tego celu wymyśloną. Pole magnetyczne jeżeli od zera zwiększać do H , takiego dużego H , to jest metoda zwykła, bezpośrednia, która daje duże pole elektryczne zakłócające, a ja zastosowałem pomysł następujący. Pole magnetyczne stałe, w stałym magnesie Bellevue doprowadzamy do 40 000 Oe i teraz od 40 000 Oe dochodzimy do 50 000 Oe, to jest powiększamy o $\Delta H = 10\ 000$ Oe. No i co, efekt już widać? A tak, widać. Dlaczego? Bo podwójny iloczyn tych dwóch wyrazów, jeśli się je podwoi (do kwadratu, bo to od kwadratu pola zależy), jest 2 razy 40 kOe razy 10 kOe, to znaczy stałe pole, *biasing field* jest 80 kOe, pole zmienne w czasie jest tylko 10 kOe. To była właśnie moja metoda, którą zastosowaliśmy razem z Chelkowskim.

JS — Bardzo Panu Profesorowi dziękujemy za pokazanie historii odtworzenia tych niezwykle ważnych dla poznania oddziaływań molekularnych efektów a teraz może byśmy kontynuowali to, co już w naszej rozmowie się zaczęło, mianowicie o mikrofalach. Wdzieliśmy, że zarówno od Freymanna, jak i od Pipparda zainteresowanie Pana Profesora mikrofalami wzięło swój początek od tych dyskusji, które Pan Profesor prowadził w Cavendish Laboratory. Freymann — to jest hertzowska spektroskopia. Stąd wzięły się kontakty Pana Profesora z mikrofalami.

AP — Z Sorbony i z Imperial College.

JS — I stąd ta cała miłość do mikrofal i ten początek — pierwszy podręcznik fundamentalny: *Mikrofały i spektroskopia mikrofalowa*.

AP — Ten podręcznik wziął się nie tylko z mojej wiedzy, z moich studiów, ale z „Infeldiady” w Kuźnicach. Infeld zaproponował mi, żebym wygłosił wykłady z fizyki teoretycznej, dlatego, że wtedy profesorów teoretyków było bardzo mało, właściwie tylko Rubinowicz, Infeld i Szczeniowski. Zaproponowałem mu, że wygłoszę wykłady z mikrofal. Zacząłem książkę pisać na ten temat, co mi pomogło, bo z rękopisem książki pojechałem do Kuźnic.

JS — Ponieważ to był podręcznik, z którego czerpaliśmy i nadal czerpiemy naszą

wiedzę o początkach zarówno mikrofalowej spektroskopii rotacyjnej (myślę tu o genialnych pracach Bleaneya, pracach Zawojkiego czy Blocha), może Pan Profesor powiedziałby nam, jak Pan zetknął się np. z magnetycznym rezonansem elektronowym czy jądrowym. Dlatego zadają to pytanie, bo Pan Profesor mordował nas równaniami Blocha, gdy o przydatności ich mieliśmy nikłe pojęcie.

AP — To się bierze z moich peregrynacji powojennych do Francji. Jeszcze słyhać było *branle-bas* wojenne, *branle-bas* to jest takie francuskie określenie na rumor wojenny, kiedy przechodząc w Paryżu przez jakąś ulicę, nie pamiętam jaką, zauważyłem, że jest tam oddział wojenny amerykańskiej biblioteki z Waszyngtonu, Biblioteki Kongresu. No i wobec tego niewiele myśląc wstąpiłem do niej. Wchodziło się tak jak z ulicy do sklepu. Patrzą, a tam całe *Physical Review*. Panowie, wyobraźcie sobie moją radość, kiedy ja po wojnie tęskniłem do literatury naukowej do tego stopnia, że w 1945 r. napisałem do Moskwy i zaprenumerowałem *Journal of Physics*, czasopismo rosyjskie wydawane w języku angielskim. Nie wiedziałem o tym, że więcej to czasopismo nie będzie wychodziło dlatego, że Rosjanie przestali wydawać po angielsku, a zaczęli wydawać tylko w języku rosyjskim. Ja rosyjski trochę znałem, bo urodziłem się w Warszawie, ale chodziłem do szkoły polskiej. Rodzice moi bowiem nie posyłali mnie do szkoły państwowej, rosyjskiej i dlatego rosyjskiego nie uczyłem się długo, lecz uczyłem się polskiego, niemieckiego, francuskiego i oczywiście łaciny. Angielskiego nauczyłem się po maturze u „Metodystów”.

JS — Wtedy Pan Profesor zetknął się pierwszy raz z pracami Zawojkiego?

AP — Tak, to że ja otrzymałem ten rocznik, ostatni jaki wydali, to temu zawdzięczam, że przeczytałem prace Frenkla, Zawojkiego i Wuła.

JS — Zawojski odkrywając rezonans był bez żadnego kontaktu z dociekaniem Gortera, zupełnie niezależna praca. Zaś Frenkel zinterpretował doświadczenia Zawojkiego jako rezonans elektronowy stosując optyczne metody opisu.

AP — Ja z Gorterem rozmawiałem w Paryżu, gdy Freymann nas przyjmował w restauracji. Francuzi często przyjmują nie tylko w swych domach, ale w restauracji. Gorter nie przyznał się do tego, że przegapił rezonans, mówiąc ogólnie, że były tam poważne trudności. Zawojski miał niezawodnie słabszy elektromagnes od Gortera i tym słabszym elektromagnesem odniósł zwycięstwo, bo rezonans odbywał się przy bardzo słabym polu magnetycznym, a Gorter miał pole magnetyczne takie silne, jak każdy kto ma elektromagnes żelazny, do mniej więcej 10 000—40 000 Oe. Tak że zbyt dobry elektromagnes miał Gorter, żeby ten efekt odkryć; poprzez rezonans przeskoczył.

JS — Chociaż ja myślę, że też hel mu bardzo przeszkodził, bo przy długich czasach relaksacji reakcja na pole jest długa.

AP — Być może używanie helu jako kąpieli też mu przeszkodziło, ale przede wszystkim miał za silne pole magnetyczne. Byłem zachwycony pracami Frenkla, Zawojkiego, Wuła. Wywarło to na mnie ogromne wrażenie i dlatego seminaria w owych czasach w Gdańsku i Poznaniu prowadziłem na te tematy. A więc ma Pan tu temat elektronowego rezonansu magnetycznego. A z protonowym jak się zetknąłem? Właśnie przez Bibliotekę Kongresu Amerykańskiego w Paryżu. Patrząc, *Physical Review* jest, więc dalej biorę ostatni tom i tam znajduję list Pounda, Purcella i Torreya i Blocha cała praca teoretyczna *in extenso*. No i te równania Blocha, te proste i piękne równania Blocha!

JS — Te prace ze sobą sąsiadują, bo nawet tam była taka pewna delikatność. Bloch

był już sławnym fizykiem. Purcell o tym mówił na ostatniej „szkole” Gordona, że specjalnie spowodowano, aby one jednocześnie się ukazały. Purcell, oczywiście, uważa, że odkrycie rezonansu jądrowego zrobiła szkoła MIT pod jego kierunkiem z wielkim Poundem i Torreyem. Zresztą to był wspaniały okres postępu w radiospektroskopii. Hennel z Hryniewiczem robili badania nad jądrowym rezonansem. Antonowicz zrobił doświadczenie z dużą zdolnością rozdzielczą. Po Antonowiczu nikt właściwie w Polsce nie powtórzył doświadczeń z dużą zdolnością rozdzielczą na aparaturze przez siebie skonstruowanej.

AP — Gdy byliśmy na Konferencji Fizyków w Spale, przysłała wiadomość w czasie mojego referatu. Powiedziała ją, pamiętam, późniejsza profesor Janikowa. Właśnie mówiłem: „a teraz już w Krakowie odbywają się poszukiwania tego efektu taką i taką aparaturą. Właśnie teraz kiedy to mówimy, poszukiwania pewnie trwają”, wtedy odzywa się Janikowa: „Już efekt uzyskali. Właśnie przysłała wiadomość”.

JS — To był wielki boom rezonansu. Rezonans elektronowy u nas był obserwowany bardzo prymitywnymi metodami. Był to koniec lat pięćdziesiątych. A jak pojawiły się u nas masery? Pamiętam jak kiedyś, po powrocie z wyjazdu za granicę Pan Profesor zapytał mnie czy ja wiem co to jest maser, a ja oczywiście nie wiedziałem. Masery zaczęliśmy konstruować w 1958 czy 1959 roku, czyli w 3 lata po ich uruchomieniu przez Basowa, Prochorowa i Townesa. Mnie interesuje kiedy Pan się z tym zetknął?

AP — Początek maserów to 1955—56.

JS — A myśmy ruszyli z urządzeniami próżniowymi pod koniec 1958 r.

AP — To się zaczęło od rezonansu w dziedzinie mikrofalowej, od amoniaku.

AK — Mając tak zaawansowane techniki mikrofalowe było bez znaczenia jaki drobny szczegół zadecydował. Było naturalne, że natychmiast Pan Profesor podjął pracę w dziedzinie maserów.

AP — A w kilka lat po odkryciu maserów dowiedzieliśmy się o tym, że dla fal świetlnych zaobserwowano ten sam efekt i to jest maser optyczny, tak go Townes nazwał. Townes przewidział go już wcześniej w roku 1958. Wiele lat wcześniej Einstein otrzymuje wzór Plancka rozważając równowagę termodynamiczną absorpcji, emisji spontanicznej i emisji wymuszonej. Właściwie Einstein odkryłby akcję maserową już wówczas, gdyby ze swego odkrycia wyciągnął taki wniosek, ale go nie wyciągnął. Wyciągnął ten wniosek Townes w USA, wspólnie z Schawlowem.

JS — Masery chyba wywodzą się ze zjawiska Purcella i Pounda, kiedy to uzyskano ujemną temperaturę układu spinowego. Townes powiedział, że jeśli jest ujemna temperatura układu spinowego, to musi być inwersja stanów, a układy optyczne o ujemnym współczynniku absorpcji mogą stać się generatorami.

AK — Townes powiedział to w uniwersalny sposób. Ta praca Townesa odnosi się oczywiście do promieniowania elektromagnetycznego optycznego i podczerwieni, on to wyraźnie pisze.

AP — Townes i Schawlow zastosowali to potem do fal światła widzialnego.

AK — Jak Pan Profesor sobie przypomina początek badań nad autokolimacją w zakresie optycznym?

AP — Wycieczki kształcą ale i odwiedziny innych nas kształcą. Otóż w tym przypadku to było tak. Już od paru lat pracowaliśmy nad maserami z moimi uczniami (również i z tutaj siedzącym Stankowskim), kiedy dowiedziałem się, że Townes przyjeżdża do Polski.

Na Hożej, gdzie zaproszono mnie na to posiedzenie, miał odczyt. To był rok 1964. Przywiózł wtedy świeżutką wiadomość o istnieniu autokolimacji czyli *self-trappingu* (Hercher w USA zrobił obserwację, że w szkle robią się dość długie cienkie kanały pod wpływem silnej wiązki światła laserowego).

AK — Jeśli Pan pozwoli, to my do autokolimacji jeszcze specjalnie powrócimy. Natomiast interesowałyby nas teraz początki laserów w Polsce, Pan Profesor jest tu pionierem. Cały start technik laserowych i fizyki laserów rozpoczął się przecież w Poznaniu. To wyrastało z maserów w naturalny sposób. Jak Pan przypomina sobie to przejście do lasera? Jacy ludzie to robili. To jest ważne nie tylko dla naszej wiedzy i satysfakcji z prac Pana Profesora, ale to jest ważne dla historii fizyki, w szczególności historii fizyki laserowej w Polsce. Komentarz Pana na temat początków laserów jest dla nas szczególnie ważny i cenny.

AP — Pierwszą wiadomość o laserze otrzymałem z pracy opublikowanej w *Physical Review* przez Townesa i Schwalowa, to było przewidywanie laserów w 1958 r. Równo dwa lata potem przewidywanie Townesa się spełnia i rzeczywiście Maiman znalazł ten efekt w rubinie, a prawie w rok później znalazł Javan w neonie i helu. Bezpośrednio po odkryciu Maimana, Franciszkowi Kaczmarkowi poleciłem zająć się tą sprawą. On mi mówi: „podwójny rezonans jest lepszy”. Powiedziałem mu: „jestem za podwójnym rezonansem, ale po tej pracy, bo to jest pilne” i wiem, że on początkowo mnie nie posłuchał, a potem bardzo się do niej zapalił.

JS — On pracował u Hippela nad dielektrycznymi właściwościami ciał stałych i u Strandberga nad podwójnym rezonansem.

AK — On miał swoją tematykę i rozumiał, że nie chciał jej zmieniać.

AP — Rozumiałem, że przywiązany jest do tej tematyki, która jego wyobraźnię pobudziła i chciał w niej pracować, dlatego mu obiecałem, że wróci do podwójnego rezonansu, tylko niech zrobi te próby, które zrobił Maiman. Otóż był rok 1964, kiedy przyjechał do nas do Warszawy Townes i po raz pierwszy powiedział o autokolimacji (*self-trapping*). Podziało to na mnie bardzo silnie, bo wtedy przed oczami stanęły mi równania Maxwella, które ja bardzo kochałem i nad którymi bardzo chciałem pracować. Myślę sobie, tu trzeba właśnie zamianę współczynnika załamania z polem uwzględnić, to daje nadzieję obliczenia autokolimacji, którą Townes narysował na tablicy. Fotografii nie pokazywał, nie miał wtedy. Fotografię zrobił dopiero Kaczmarek, ale Pilipiecki i Rustamow zrobili wcześniej i ogłosili wcześniej w *ŽETF*. Ja zawsze Pilipieckiego i Rustamowa, a także Askariana, jako pierwszych umieszczam, o Hercherze też w moich pracach wspominam, chociaż on nie wiedział chyba wtedy co to znaczą te kanaliki, które zobaczył w szkle.

JS — Ale powracając jeszcze do naszego szału laserowego, co jeszcze się wtedy w kraju działo, bo laserami zajmował się nie tylko Poznań.

AK — Jak Pan Profesor w ogóle widzi początek rozwoju laserów w Polsce?

AP — Mnie się wydaje, że myśmy pierwsi zaczęli. W Wojskowej Akademii Technicznej zrobili to wprawdzie wcześniej o parę tygodni, ale inaczej robią bogaci, a inaczej biedni. Mnie do głowy nie przyszło, ażeby powtarzając lasery, które Amerykanie zrobili pierwsi, ażeby coś kupować, napisać do firmy, żeby nam przysłała szlifowany rubin itp. Mnie przyszło do głowy tylko powtórzyć ich doświadczenie. Powtórzyć doświadczenie, tzn.

oszlifować rubin. I myśmy szlifowali rubin. Kto nauczył Kufla szlifować rubin? I tu będzie niespodzianka, bo Kufla nauczył ten, kto nie miał pojęcia o szlifowaniu kamieni szlachetnych, to znaczy ja. Tak długo szlifował i ze wskazówek moich korzystał, aż wreszcie oszlifował. Tego ranka kiedy Kaczmarek zadzwonił, że już rubin jest oszlifowany, przyjeżdża do Poznania kol. Puzewicz. Ja mówię: „Będzie Pan widział nasze pierwsze doświadczenie ze świeżo oszlifowanymi rubinami”. Rzeczywiście stanął z boku i rzeczywiście wyszło. Wyszła regularna mała i silna plamka. (Otrzymywaliśmy przedtem różne plamki, ale to były tylko przez wielokrotne odbicia, wychodziła plamka jeszcze nie taka zwężona jak powinna być).

JS — Zresztą wydaje mi się, że Pan wielu z nas potrafił nauczyć wielu rzeczy, których sam nie umiał. To jest cecha, która Pana w wysokim stopniu charakteryzuje, tzn. umiejętność prowadzenia ucznia, to jest pewna żywość wyobraźni, którą chcielibyśmy tu podkreślić.

AP — Ja siebie tak uczę przede wszystkim. Kiedy mówiłem o tym wpływie pola magnetycznego, o zmianie 40 000 Oe na 50 000, to trzeba było utrwalić stałość tego galwanometru, który pokazywał nam zmianę pojemności. Tego ustalenia nie można było osiągnąć, bo to się robiło na lampach z gorącą katodą. Co ja wtedy zrobiłem? Zrobiłem regulator oporowy kręcony małym motorkiem i tak wyregulowałem to, aby kompensował ruch galwanometru wywołany zmianą temperatury (powolną!). Robiliśmy to z Chełkowskim, zawieźliśmy ten kompensator do Bellevue, wszystko razem uruchomiliśmy i kompensator unieruchomił tę plamkę bez żadnej automatyki, po prostu przez uregulowanie. To trwało niezmiennie 1-2 min. W ciągu tego czasu pomiar zmiany stałej dielektrycznej w polu magnetycznym został wykonany.

JS — Czy Pan Profesor mógłby nam coś powiedzieć o usiłowaniu Wolfkego, który mierzył ϵ helu w pobliżu punktu λ . Czy Pan ma do tego jakiś komentarz?

AP — No, to cała historia! Proszę Pana, prof. Wolfke był wielkim uczonym i miał ogromną intuicję. Jeżeli ja Panu powiem, że profesor Wolfke trzykrotnie zasłużył na nagrodę Nobla, to wystarczy.

JS — Za jakie trzy rzeczy?

AP — Mogę Panu krótko powiedzieć: za hel, za „atomy i molekuly świetlne” czyli za fotony i za holografię, ale czy mamy rozrywać teraz ten tok opowieści?

JS — Nie, lepiej nie.

AK — Na uroczystości wręczenia Panu Profesorowi medalu Smoluchowskiego Pan w piękny sposób wspominał prace Smoluchowskiego i zacytował jedną z nich „na chybił trafił”.

AP — A proszę Panów, do Smoluchowskiego zajrzałem na chybił trafił uczciwie. Mianowicie wziąłem drugi tom Smoluchowskiego, otworzyłem i trafiłem na tabelkę. To myślę sobie, co ja z tabelki im powiem, ... no co, tabelkę powiem?

AK — Tabelka jest bardzo piękna, bardzo pouczająca.

AP — I to proszę Panów było tak autentycznie, prawdziwie zrobione. A że na chybił trafił, to na dowód, że w każdym miejscu u Smoluchowskiego można ciekawe rzeczy znaleźć.

JS — A czy Pan Profesor spotkał Smoluchowskiego?

AP — Nigdy. Kiedy on proszę Pana umarł w Krakowie, ja miałem w Warszawie lat trzynaście. Syna jego, Romana Smoluchowskiego, poznałem w 1939 r. i tak się zaprzy-

jaźniliśmy w ciągu jednego dnia, że go odprowadziłem na dworzec w Krakowie, gdy on odjeżdżał za granicę.

AK — Ale powróćmy do laserów.

AP — Dobrze, że mi to Pan przypomina. Kielich obliczył, częściowo sam, częściowo razem ze mną, zmianę współczynnika załamania pod wpływem światła. Otrzymaliśmy taką małą wielkość do pomiaru, o jakiej śnić nie można. Pamiętam, że trzeba byłoby mieć lampę o mocy ileś tam tysięcy kilowatów, żeby przy pomocy światła termicznego taki efekt wywołać. Światło takie spaliłoby ciecz, lub wyparowałaby ona od razu. Obliczenia te były zrobione na trzy lata przed odkryciem laserów. Lasery odkryto w 1960 r. a nasze obliczenia pochodzą z 1957 r. Wszystkie efekty elektro- i magneto-optyczne ułożyłem w tabelkę dziewięciu efektów. Gdy zreferowałem nasze wyniki w 1958 r. w Paryżu (wtedy właśnie spotkałem starych przyjaciół Freymanna i Lucasa), wyrazili się oni niezwykle pochlebnie o tej pracy, dużą mi przyjemność zrobili. Otóż proszę Panów, ja nie marzyłem o tym, żeby Kielich wszystkie efekty ułożone we wspomnianej tabeli obliczył w pracy magisterskiej. Okienko jedno niech zrobi! Otóż Kielich zrobił pracę magisterską taką, że wszystkie okienka zappełnił i do pracy doktorskiej obmyślił sobie sam temat, mianowicie rozpraszanie światła: wpływ pól elektrycznego i magnetycznego na rayleighowskie rozpraszanie światła. No, a potem to już poszło rozpraszanie ramanowskie. Coraz więcej interesował się tymi efektami, tak że jego pracę doktorską z wielkim uznaniem akceptowałem.

AK — Powstanie optyki nieliniowej w Polsce, trzeba to wyraźnie powiedzieć, możliwe było dzięki temu, że istniały prace lat trzydziestych, a już w powojennym okresie — lat pięćdziesiątych.

AP — Referat o autokolimacji wygłosiłem zachęcony przez Townesa, który był w Warszawie. Świeżo odkryta, porwała mnie ta tematyka. Natychmiast stwierdziłem, proszę Panów, prymitywność metody optyki geometrycznej. Ponadto, że przyjęcie $n = n_0 + \varepsilon_2 E^2$ jest absolutnie niewystarczające do tego, by wystąpiła autokolimacja.

AK — Czy to było już w tej pierwszej pracy Pana Profesora?

AP — Tak. W tym samym roku 1966 zrobiłem naturalną zupełnie rzecz. Dodałem jeden wyraz więcej (E^4) i z tego wyniknęło to, że pierwszy wyraz nieliniowy pokazuje tylko próg efektu. Dopiero z tego drugiego nieliniowego członu wynika początek autokolimacji. Ale mnie zainteresował dalszy ciąg, wobec tego po tej pracy, w rok później dodałem trzeci wyraz E^6 .

JS — Ja się chciałem zapytać, kto na świecie się tym zajmował w tym czasie, kiedy Pan Profesor do tego startował?

AP — Zajmowali się ci, których ja wtedy czytałem, a więc: Chiao, Garmire, Townes, Kelly w USA i z nimi wszystkimi później konferowałem. W Związku Radzieckim zajmował się tym Askarian. Dużą pracę napisali Chochłow i dwóch innych współpracowników i oni dorzucili w tym samym roku i chyba w tym samym miesiącu wyraz E^4 . Ale dlaczego oni dorzucili E^4 , może tak, przez ciekawość? Nie wiem, dorzucili jednym słowem, równocześnie ze mną, tak że wydaje mi się, że ani oni mnie nie naśladowali, ani ja ich. Ale trzeci wyraz ten E^6 , to ja dorzuciłem i już po mnie nikt nie dorzucał np. E^8 . Trzy wyrazy zawierające potęgę drugą, czwartą i szóstą, wystarczyły do kompletnego opisu całego zjawiska. W r. 1963 z Kielichem zgłosiliśmy referat na Conference of Quantum Electronics w Paryżu. Tam referowaliśmy te wszystkie zjawiska z „tabelki”, bo te zjawiska wyniknęły

z orientacji dipolowych cząsteczek, właśnie z tego, co się narodziło w dielektrykach. A później przekonałem się, że te same zjawiska nie tylko polegają na mechanizmie dipolowym, bo do tego mechanizmu dipolowego trzeba żeby były dipole, ale również odbywały się tam, gdzie nie ma dipoli. Tutaj stwierdziłem przy pomocy komputera PDP 15, że to mogą być tylko drgania molekuł względem sieci.

JS — Nawet w cieczy, tak?

AP — W cieczy czyli w sieci cieczy. Bo ciecz jest to takie ciało stałe, którego sieć ma krótkie życie, bardzo krótko ma twardą sieć. Otóż sieć benzenu jest równie twarda, jak sieć diamentu tylko dla małych bardzo czasów oddziaływania. Cały szereg prac zrobiłem z moją uczennicą panią Bożeną Ratajską-Gadomską, w latach siedemdziesiątych. Właśnie te drgania dorzuciłem dlatego, żeby zrozumieć, co się dzieje w tych cieczach, w których się dzieje tak, jakby były dipole, a dipoli tam nie ma.

AK — Prace na temat samoogniskowania, które Pan Profesor wykonał, miały bardzo duży oddźwięk za granicą.

AP — Według mojej opinii, szczególnie praca Lama, Lippmanna i Tapperta z Nowego Jorku, zajęła się obszernie naszą pracą wykonaną w MIT w r. 1975 i opublikowaną w *Physical Review*.

AK — Jak widzimy, niektóre z nich były wykonane we współpracy w czasie pobytu Pana Profesora w Stanach, prawda? Czy Pan Profesor mógłby wspomnieć o tych ludziach, z którymi Pan Profesor utrzymywał i utrzymuje jeszcze kontakt bliski, zwłaszcza na temat samoogniskowania. Ja za chwilę chciałbym usłyszeć coś innego, jaką rolę odgrywa samoogniskowanie w dalszych pomysłach fizycznych Pana Profesora? Ale na razie powróćmy na krótko do tych kontaktów, które Pan Profesor miał w latach sześćdziesiątych, a i później oczywiście, w związku z samoogniskowaniem.

AP — Pierwszy był Townes. Ja kiedyś znalazłem się u niego akurat, los tak chciał, gdy Pan się też znalazł w tym samym miejscu i z aparatem fotograficznym i sfotografował mnie. Wtedy ja pierwszy raz w życiu, nie tylko odczyt, lecz także dowcip powiedziałem po angielsku.

AK — Czy to jest dowcip o Biblii?

AP — Nie, to było z Szekspira.

AK — Jeśli Pan Profesor nie pamięta, ja przypomnę dowcip, który Pan powiedział w Rochester, ale to za moment, więc może najpierw ten Szekspir.

AP — Ten dowcip polegał na tym, że ja powiedziałem, iż pierwszy współczynnik nieliniowości decyduje tylko o tym, czy autokolimacja istnieje czy nie. Ktoś się tam spytał, jak to należy rozumieć. „To be or not to be” odrzekłem. I wtedy sala ryknęła śmiechem. A drugiego dowcipu nie pamiętam.

AK — Kiedy Pan przyjechał do Rochester i przy okazji dyskusji naukowej i referatu, który Pan wygłaszał, powiedział Pan, że jest mu bardzo miło być tutaj w Rochester, bo czuje się tu jak gdyby przyjechał do Rzymu, do papieża, więc wszyscy w pierwszej chwili nie wiedzieli, o co chodzi. Pan Profesor wyjaśnił: do takiego optycznego Rzymu, tam, gdzie jest papież optyki. Jeszcze się nie zorientowano kto. Wtedy Pan Profesor wyjaśnił, że tutaj jest autor wielkiej biblii optyki! Więc dopiero wtedy ze śmiechem zorientowano się, że chodzi o Emila Wolfa, który jest współautorem książki Borna i Wolfa *Principles of Optics*, dzieła fundamentalnego jak Biblia.

AK — To teraz, Panie Profesorze, jeszcze w związku z autokolimacją i samoogniskowaniem, czy Pan mógłby króciutko skomentować pewną główną myśl swoich obecnych prac?

AP — Proszę Panów, ja męcę się nad tym i pracuję jakoś coraz wolniej.

AK — Ale my wiemy, że wydadźcie. Obserwujemy to i podziwiamy.

AP — Wydaje mi się, że nowe zjawisko, które po raz pierwszy w życiu widzieliśmy wszyscy — samoogniskowanie, autokolimacja, że to nowe zjawisko wskazało nam chyba genezę fotonu. Tak jak powstaje foton w zjawisku autokolimacji tak on musi powstawać w każdym akcie świetlnym. Jeżeli tych aktów jest mało, światło jest ciemne, a światło jasne jest wtedy kiedy tych aktów jest bardzo dużo. Ale akt powstania fotonu jest ten sam ciągle, czy to będzie błyskawica, czy to będzie światło świeczki. Czyli, krótko mówiąc, fotony są te same. Co to znaczy „te same”? Dla mnie to znaczy, że w środku wiązki fotonów, cieniutkiej nici fotonów, panuje pole elektryczne 10^5 j.e.s. To jest fantastyczne natężenie pola, nieosiągalne przez człowieka w ogóle i nieosiągalne w normalnych warunkach np. w powietrzu. No więc wydaje mi się, że atom wzbudzony jakimkolwiek sposobem emituje elektromagnetycznie tak, jak każe dobry Pan Bóg, który w czasach Maxwella, Faradaya i innych uprawiał tylko radiotechnikę wszelkich długości fal. Bo Pan Bóg zmieniał różne zawody w umysłach fizyków i matematyków. Matematycy uważali, że Pan Bóg był algebraikiem, Einstein uważał, że Pan Bóg był geometrą. Ja zaś myślę, że Pan Bóg stworzywszy niebo i ziemię, bezkształtną i pustą, był przede wszystkim fizykiem nien liniowym, stwarzając światło, o czym można przeczytać w najpiękniejszym poemacie świata, *Genesis*.

AK — W ostatnich pracach, podobnie zresztą jak w wielu innych, występuje pewien element, pewna cecha, do której Pan przywiązywał dużą wagę. Chodzi o pogładowość, o opis zjawiska w sposób taki, żeby odpowiadało to jak najlepiej naszej intuicji fizycznej. Wynika to oczywiście również z tego, że Pan Profesor zawsze nam wszystkim pokazywał, jak prawdziwa dydaktyka powinna wyglądać. Ja osobiście nigdy nie zapomnę wykładu Pana Profesora, na którym piłeczki pingpongowe fruwały i odbijały się demonstrując sprzężenie zwrotne w maserze. Gdyby Pan mógł skomentować, jak to się stało, że Pan w swojej działalności naukowej zawsze przywiązywał dużą wagę do pogładowości, przystępności, ułatwiania rozumienia. Jak do tego doszło? Czy Pan Profesor to od razu miał że tak powiem we krwi, czy też zorientował się w pewnym okresie swojego życia, że trzeba dbać o to, żeby innym tę wiedzę przekazywać przystępnie?

AP — To chyba miałem od samego początku. Ale ja się zastanawiam sam, czy ja obecnie, jeżeli można do wiedzy dodać jeszcze pewną wiarę, to wierzę, że wszystko można zrozumieć z wyjątkiem ostatecznych rzeczy. W zrozumienie absolutnie wszystkiego nie wierzę i uważam to za bezsens, za mrzonkę okropnie nienaukową. Jeżeli chodzi o mój pogląd na światło, chcę powiedzieć, że jeszcze autokolimacja nauczyła mnie bardzo wiele. *Selftrapping* nauczył mnie np. jak się tworzy nić, która sięgałaby od Ziemi do jakiejś tam gwiazdy. Ale jak tworzą się fotony? Otóż proszę Panów, autokolimacja „tnie” fotony z nici swoją naturą. A jaka jest natura autokolimacji? Pokazuje ją komputer trafnie zaprogramowany. Pokazuje on mianowicie, że nić ma swój początek i ma koniec, wobec tego robi po prostu fotony i ja nie widzę innego sposobu na robienie fotonów. Być może jest jakiś inny sposób, ale ja muszę się zadowolić tym tylko, co wiem i co na tej podstawie przypuszczam. W ten

sposób widzę, że zjawisko powstania fotonów jest zjawiskiem klasycznym, bo ono powstaje z równań Maxwella, z wyrazami nieliniowymi. Stosować do atomów równania liniowe Maxwella, czysto makroskopowe nie ma najmniejszego sensu. Otóż ja uważam, że przypisać równaniom Maxwella prawo wstępu do atomu, do wnętrza, nie można, gdy się pomija wyrazy nieliniowe.

AK — Pan Profesor zgłębiwszy, jeśli mogę użyć tego słowa, samoogniskowanie i autokolimację, zdaje sobie bardzo głęboko sprawę z tego, że liniowe równania Maxwella, jeśli chcemy się nimi posługiwać w fizyce atomowej w sposób klasyczny bez operacji kwantowania, to możemy bardzo dużo uzyskać, wytłumaczyć, wyjaśnić, ale właśnie pod warunkiem wprowadzenia nieliniowości.

AP — Tak oczywiście. Ja to nawet napisałem.

AK — Panie Profesorze, dowiedzieliśmy się o zjawiskach nieliniowych, o implikacjach, które badania nad tymi zjawiskami wywołały w sferze wprowadzenia polskiej fizyki od razu na rynek światowy. Ale nie ulega wątpliwości, że tą drabiną do optyki nieliniowej były zjawiska dielektryczne. Chciałem jeszcze na zakończenie naszego wywiadu zadać takie pytanie dotyczące zupełnie czegoś innego, mianowicie czy Pan Profesor ma świadomość wielkiego dzieła stworzenia szkoły fizyków w Polsce?

AP — Mając uczniów pracujących twórczo, jakże mógłbym mieć inne zdanie, jestem dumny z tego, jeżeli to jest prawda co Pan mówi.

JS — Chcę tutaj dodać, że tworzenie różnych kierunków, jak już mówiliśmy badań dielektrycznych, maserów, a potem laserów dało Panu Profesorowi satysfakcję duchową, natomiast my teraz zbieramy owoce Pańskiej działalności, jesteśmy żniwiarzami tego posiewu, którego Pan Profesor w polskiej fizyce dokonał.

AP — Jestem dumny z tych słów i wyrażam jeszcze raz moją pełną satysfakcję z tego stanu rzeczy, zwłaszcza, że od Was wiele się nauczyłem i coraz więcej się uczę. I tak być powinno, jeśli chcemy by fizyka, by wiedza wszelka rozwijała się u nas bujnie, by był postęp.

N O W O Ś C I N A U K O W E

*Krzysztof Rybicki*Instytut Fizyki Jądrowej
Kraków**Odkrycie bozonu W^\pm *****Discovery of the Intermediate Boson W^\pm**

Abstract: This article deals with the recent discovery of W^\pm at the CERN SPS Collider. The accelerator, the UA1 and UA2 detectors, the data reduction and results are described.

1. Wstęp

Po okresie bardzo szybkiego ale rozwichrzonego rozwoju fizyka cząstek elementarnych wstąpiła w okres syntezy i coraz porządniejszych teorii. Udało się opisać kilkaset hadronów przez kilka kwarków, które wraz z leptonami uważamy teraz za najbardziej podstawowe składniki materii, choć może nie stanowią one jeszcze końca drogi. Coraz wyraźniej występują podobieństwa pomiędzy różnymi typami oddziaływań. Obecnie wiemy, że występują one pomiędzy podstawowymi fermionami (leptony i kwarki) a nośnikami oddziaływań są bozony wektorowe.

W 1957 r. Schwinger [1] zaproponował naładowany i masywny kwant słabych oddziaływań nazwany później pośredniczącym bozonem W^\pm . W latach sześćdziesiątych Glashow [2], Weinberg [3] i Salam [4] przedstawili jednolity opis oddziaływań słabych i elektromagnetycznych — prace te doczekały się nagrody Nobla w 1979 roku. Opis ten oprócz udanego przewidywania tzw. prądów neutralnych nadał bozonowi W^\pm ogromną masę — około 80 GeV.

Równoległe postępował szybki rozwój techniki doświadczalnej, komputerowej i akceleratorowej. W 1978 r. rozpoczęto w CERN-ie budowę akceleratora, który miał do-

* Artykuł oparty na referatach wygłoszonych przez autora na seminarium Zakładu Fizyki Wysokich Energii Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie oraz seminarium Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego w lutym 1982 r.

starczać energii wystarczającej do wytworzenia bozonu W^\pm , rozpoczęto też konstrukcję ogromnych detektorów UA1 i UA2. Pod koniec ubiegłego roku zarejestrowano pierwsze przypadki W^\pm . Wyniki te przedstawili Carlo Rubbia i Luigi Di Lella 20 i 21 stycznia w CERN-ie.

Na treści tych referatów został głównie oparty tekst niniejszego artykułu. W drugim rozdziale przypomnimy pojęcie pośredniczącego bozonu, w trzecim zaś opiszemy zasadę działania akceleratora $\bar{p}-p$ w CERN-ie. W czwartym rozdziale sformułujemy metody poszukiwania W^\pm w oddziaływaniach $\bar{p}-p$. Piąty i szósty rozdział będą odpowiednio dotyczyć aparatury oraz wyników eksperymentów UA1 i UA2.

2. Pośredniczący bozon W^\pm

2.1. Cząstki i oddziaływania

Za podstawowe fermiony uważamy obecnie trzy rodziny kwarków i leptonów, których podstawowe własności zebrano w tabl. 1.

Znamy trzy rodzaje oddziaływań (rys. 1) odgrywających rolę w świecie cząstek, każde z nich jest opisywane wymianą wektorowych ($J^P = 1^-$) bozonów, zestawionych w tabl. 2.

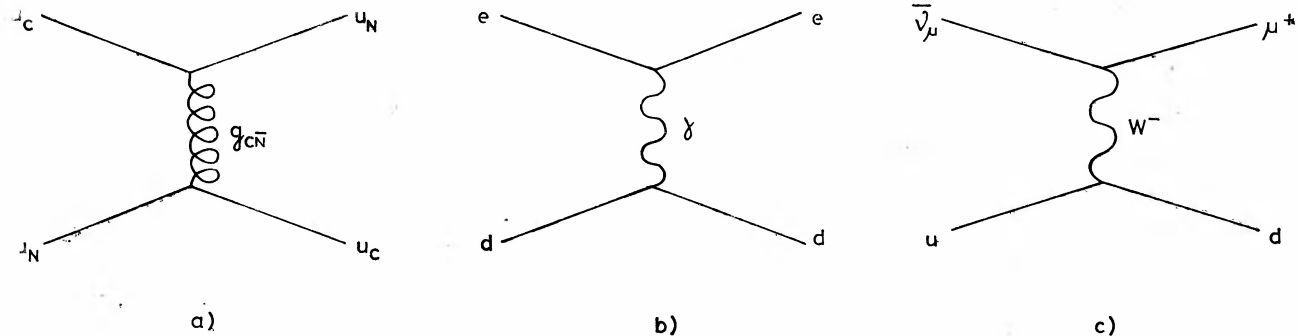
Tablica 1. Własności kwarków i leptonów

Cząstka	Q	B	Kolor
u c t	2/3	1/3	C, N, Ż
d s b	-1/3	1/3	
e^- μ^- τ^-	-1	0	0
ν_e ν_μ ν_τ	0	0	

Tablica 2. Podstawowe oddziaływania i ich nośniki

Oddziaływanie	Silne	Elektromagnetyczne	Słabe	
nośnik	8 kolorowych gluonów	foton	W^\pm	Z^0
masa (GeV)	0	0	82	93
zasięg (fm)	1	∞	10 ⁻³	

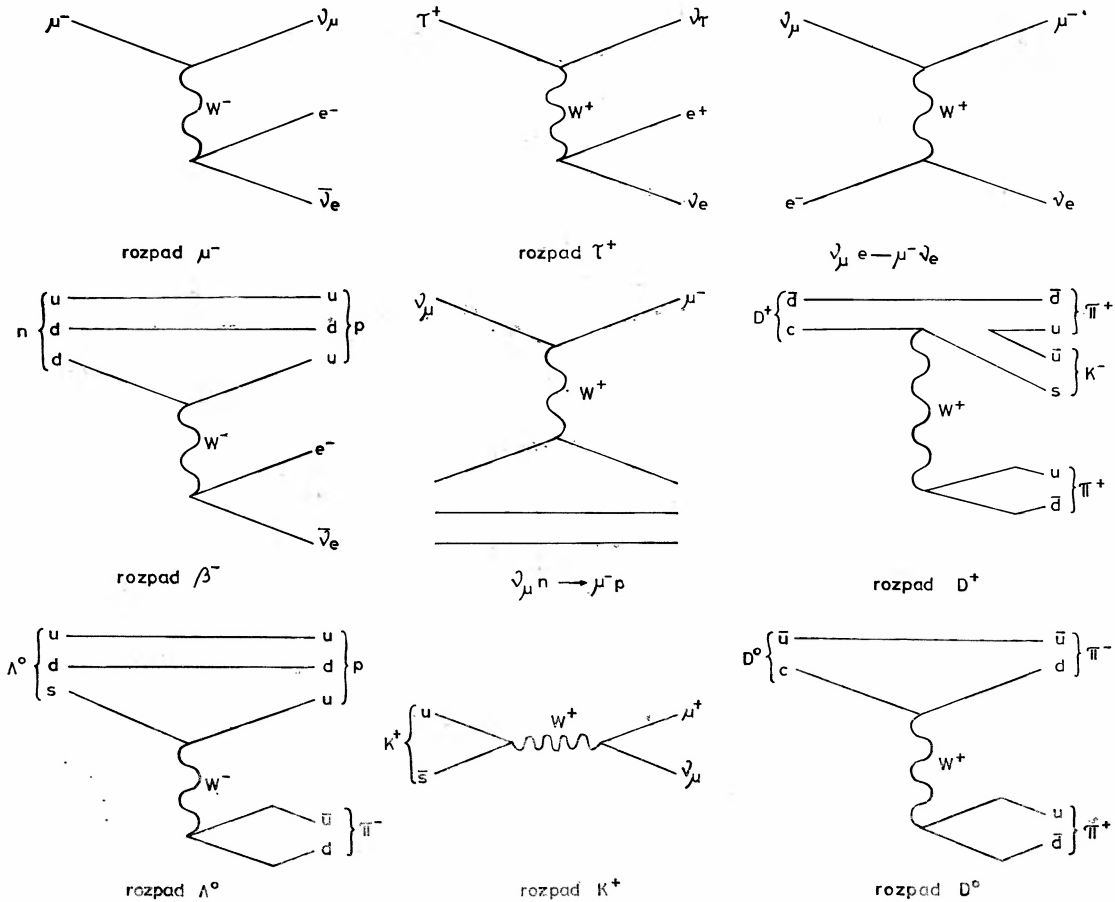
Oczywiście kwarki nie występują na swobodzie a tylko wchodzą w skład hadronów; mezony składają się z pary kwark-antykwarok o przeciwnych kolorach, a bariony z trzech kwarków o różnych kolorach. Uwężenie koloru nie pozwala na oderwanie kwarku lub gluonu na odległość przekraczającą 1 fm. Szerzej na ten temat pisze np. W. Królikowski [5].



Rys. 1. Przykłady oddziaływań z wymianą bozonów wektorowych: a) oddziaływania silne — wymiana kolorowego gluonu pomiędzy kwarkami w nukleonie, b) oddziaływanie elektromagnetyczne — rozproszenie elektronów na kwarkach nukleonu, c) słabe oddziaływanie — reakcja $\bar{\nu}_\mu u \rightarrow \mu^+ d$

2.2. Słabe oddziaływania z wymianą ładunku (prądy naładowane)

Już w latach pięćdziesiątych zauważono, że wszystkie podówczas znane słabe oddziaływania można opisać przez wymianę naładowanego pośredniczącego bozonu W^\pm . Szereg przykładów tych procesów pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Przykłady prądów naładowanych. W pierwszym rzędzie są procesy, w których uczestniczą same leptony, w drugim — kwarki z tej samej rodziny, a w trzecim są przejścia pomiędzy kwarkami z różnych rodzin. Znak W odpowiada kierunkowi w dół rysunku

Z przykładów tych widzimy, że bozon pośredniczący W^\pm sprzęga się bądź do pary naładowanej lepton-odpowiednie neutrino, bądź do pary kwark-antkwark o różnych ładunkach. Jeśli uwzględnimy różnice energii dostępnej w każdej reakcji to okaże się, że stałe słabych oddziaływań są w każdej klasie jednakowe. Stała dla samych leptonów jest o kilka procent wyższa niż dla przejść pomiędzy kwarkami z tej samej rodziny (sprzężenie W^\pm do $u\bar{d}$ lub $c\bar{s}$); natomiast przejścia pomiędzy kwarkami z różnych rodzin są już słabsze o czynnik ok. 20. Możemy jednak te trzy klasy opisać przy pomocy dwu tylko

stałych jeśli przyjmiemy, że stanami własnymi słabych oddziaływań są kwarki d' i s' takie, że

$$\begin{aligned}d' &= d \cos \vartheta_C + s \sin \vartheta_C \\s' &= -d \sin \vartheta_C + s \cos \vartheta_C,\end{aligned}$$

gdzie ϑ_C jest kątem Cabibbo. Wtedy sprzężenie W^\pm do leptonów będzie opisywane właściwą stałą słabych oddziaływań g , sprzężenie W^\pm do pary kwark-antykwarik z tej samej rodziny — stałą $g \cos^2 \vartheta_C$ i wreszcie sprzężenie do pary $(u\bar{s})$ lub $(c\bar{d})$ — stałą $g \sin^2 \vartheta_C$.

Z doświadczenia [6] otrzymujemy $\cos \vartheta_C = 0.9737 \pm 0.0025$, a więc kąt mieszania jest dość mały.

Kobayashi i Maskawa [7] pokazali, że uogólnienie tego mieszania na trzy rodziny daje w teorii miejsce na niezachowanie kombinowanej parzystości CP w rozpadach neutralnych mezonów K^0 (patrz również referat J. Cronina [8]).

Wróćmy jednak do stałej g słabych oddziaływań i rozważmy reakcję $\nu_\mu N \rightarrow \mu^- \dots$ (środkowy przykład w drugiej klasie). Przekrój czynny na tę reakcję rośnie liniowo z energią

$$\frac{\sigma_\nu}{E} \approx 6 \cdot 10^{-5} \text{ nb/GeV}.$$

Wzrost przekroju czynnego z energią dla słabych oddziaływań i jego mała wartość wynika właśnie z masywności pośredniczącego bozonu W^\pm . Otóż ogólnie dla wymiany bozonu wektorowego o masie m_b

$$\sigma \sim \left| \frac{q^2}{q^2 - m_b^2} \right|,$$

gdzie q jest przekazanym pędem, który rośnie ze wzrostem energii. Dla oddziaływań silnych (gluony) i elektromagnetycznych (foton) $m_b = 0$ i przekrój czynny jest stały. Natomiast przy niskich energiach $|q| \ll m_W$ a więc

$$\sigma_W \sim \frac{|q^2|}{m_W^2}.$$

Dopiero dla bardzo wysokich energii spodziewamy się stałości przekroju czynnego σ_W .

2.3. Przewidywania teorii Weinberga-Salama

Nie zamierzamy tu omawiać unifikacji oddziaływań słabych i elektromagnetycznych, ponieważ była ona już wielokrotnie opisywana na tych łamach np. w wykładach Glashowa [6], Weinberga [7] i Salama [8] wygłoszonych z okazji otrzymania nagrody Nobla. Przypomnimy tu tylko, że teoria przewiduje drugi bozon pośredniczący Z^0 o masie związanej z masą W^\pm przez związek (w najprostszym wariacie teorii)

$$m_W = m_Z \cos \vartheta_W,$$

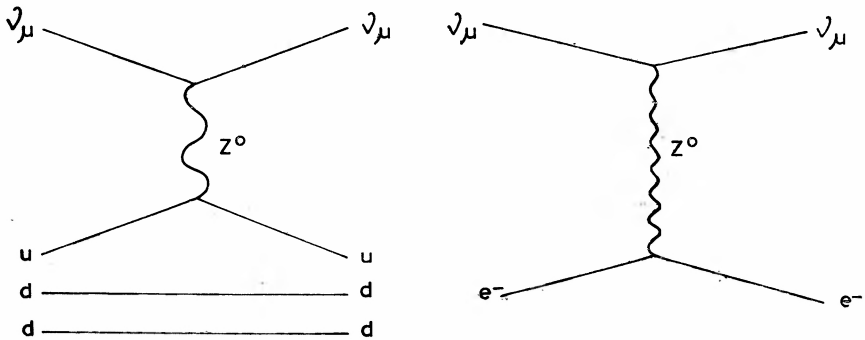
gdzie ϑ_W jest kątem Weinberga, który opisuje mieszanie pomiędzy oddziaływaniami elektromagnetycznymi a słabymi bez wymiany ładunku (tzw. prądy neutralne). Natomiast

stała słabych oddziaływań g jest powiązana ze stałą struktury subtelnej (a więc i ładunkiem elektrycznym) następującą relacją

$$g = \frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}m_W^2 \sin^2 \vartheta_W}.$$

Te stałe i kąty Cabibbo wystarczają do pełnego opisu oddziaływań słabych i elektromagnetycznych.

Pierwszym potwierdzeniem teorii Weinberga-Salama było odkrycie prądów neutralnych czyli słabych oddziaływań bez zmiany ładunku. Oddziaływanie takie (rys. 3) zaobserwowano w połowie lat siedemdziesiątych. Mierząc stosunek przekrojów czynnych



Rys. 3. Przykłady procesów opisywanych przez prądy neutralne

prądów neutralnych do naładowanych można wyznaczyć kąt Weinberga. Otrzymujemy [6] $\sin^2 \vartheta_W = 0.229 \pm 0.010$.

Przypomnijmy, że stałą g możemy wyznaczyć bezpośrednio z prądów naładowanych, w których uczestniczą same leptony. Najlepiej znany z nich — rozpad μ — daje [6] $g = (1.166332 \pm 0.00002) \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$. Otrzymujemy stąd po uwzględnieniu poprawek radiacyjnych

$$m_W = (82.0 \pm 2.4) \text{ GeV}; \quad m_Z = (93.0 \pm 2.0) \text{ GeV}.$$

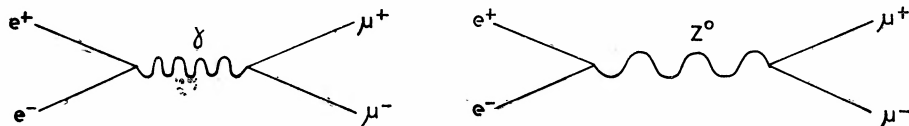
Są to gigantyczne masy (przypomnijmy, że najcięższa znana cząstka, tzw. γ''' ma masę raptem 10.6 GeV), których wytworzenie wymaga energii przekraczających możliwości akceleratorów lat siedemdziesiątych; nawet akcelerator ISR Europejskiego Ośrodka Badań Jądrowych (CERN) daje „tylko” 62 GeV w układzie środka masy.

Mimo to parę lat temu zaobserwowano ingerencję Z^0 w oddziaływaniach e^+e^- . Mianowicie za pomocą akceleratora PETRA pod Hamburgiem badano proces

$$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-.$$

Proces ten jak wiadomo zachodzi przez oddziaływanie elektromagnetyczne (rys. 4). Jednakże już przy energii trzydziestu kilku GeV zaobserwowano asymetrię przód — tył w rozkładzie kątowym mionów. Podobny choć mniej znaczący wynik otrzymano dla leptonów τ . Asymetria ta świadczy o niezachowaniu parzystości, a więc o obecności „dalekiego

ogona” Z^0 już przy tej energii. Wielkość tej asymetrii zgadza się z przewidywaną [12—14]. Oczekujemy, że ze wzrostem energii efekt będzie wzrastał, aż przy masie Z^0 oddziaływania słabe będą o kilka rzędów wielkości silniejsze od elektromagnetycznych. Jednakże takie akceleratory wiązek e^+e^- będą uruchomione dopiero w drugiej połowie lat osiemdziesiątych. Najpierw będzie to tzw. Stanford Linear Collider w Kalifornii, a później tzw.



Rys. 4. Reakcja $e^+e^- \rightarrow u^+u^-$ zachodząca poprzez oddziaływania elektromagnetyczne i słabe

LEP (Large Electron-Positron) w CERN-ie, który za to będzie miał większą świetność i energię umożliwiającą nawet obserwację procesu

$$e^+e^- \rightarrow W^+W^-.$$

Znaleziono jednak szybszą drogę — wiązki przeciwbieżne $\bar{p}p$ — do wytworzenia W^\pm i Z^0 , których bezpośrednia obserwacja ma zasadnicze znaczenie dla teorii. Zanim ją opiszemy zauważmy, że ostatnio Europejska Współpraca Mionowa [15] zmierzyła asymetrię w procesie głęboko nieelastycznego rozproszenia mionów na nukleonach. Asymetria ta również świadczy o udziale słabych oddziaływań, a więc o wymianie Z^0 .

3. Wiązki przeciwbieżne $\bar{p}-p$

3.1. Historia

W połowie lat siedemdziesiątych Rubbia, Mc Intyre i Cline [16] zaproponowali wykorzystanie istniejących akceleratorów protonowych tzn. SPS-u (Super Proton Synchrotron) w CERN-ie i Tevatronu w Batawii (USA) do przyspieszania antyprotonów. Ujemny ładunek antyprotonu powoduje, że jest on właściwie odchylany i przyspieszany przez te same pola, które działają na proton pod warunkiem, że leci w przeciwnym kierunku. Podstawową trudność stanowi mała liczba antyprotonów, musimy je bowiem dopiero wytworzyć w zderzeniach protonów. Tymczasem podstawowy parametr akceleratora — świetność L zależy bezpośrednio tak od ich liczby, jak i od liczby protonów. Liczba N zderzeń $p-\bar{p}$ w ciągu sekundy wyraża się wzorem

$$N = \sigma_{\bar{p}p} \cdot L.$$

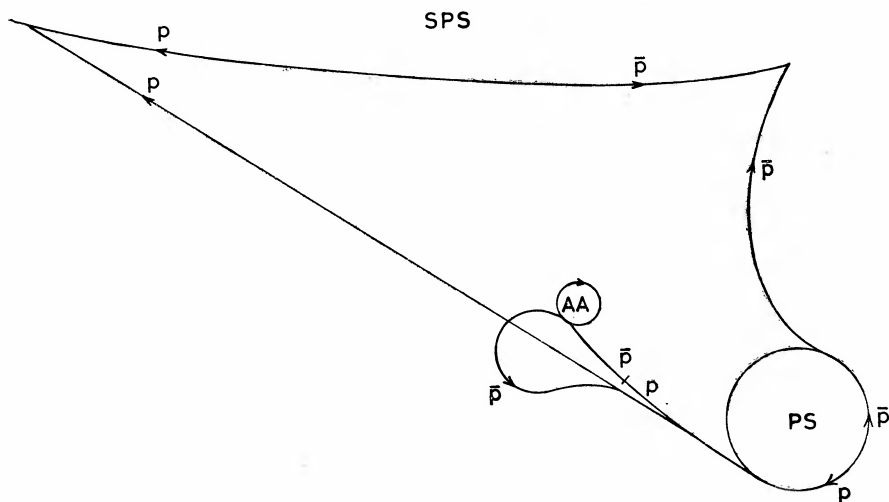
Zasadniczą trudność stanowi również szerokie widmo kątowe i pędowe wytworzonych antyprotonów. Ogniskowanie wiązki antyprotonów i utrzymywanie jej stabilności nazywamy chłodzeniem. Krótką historię akceleratora podano w tabl. 3 (ta część artykułu jest oparta na referacie Kalmusa [17]).

Tablica 3. Historia akceleratora wiązek przeciwbieżnych $\bar{p}p$

	1974	Obserwacja chłodzenia w Nowosybirsku i CERN-ie
	1976	Propozycja wiązek przeciwbieżnych $\bar{p}-p$
	1978	Zatwierdzenie projektu i początek budowy akumulatora antyprotonowego (AA). Zatwierdzenie projektów eksperymentów UA1 i UA2
	1980	\bar{p} w AA; przyspieszenie w PS do 26 GeV
IV/VII	1981	Pierwsze zderzenia $\bar{p}-p$
XII	1981	100 godz., $L = 3 \cdot 10^{26} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
XI/XII	1982	30 dni, $L = 5 \cdot 10^{28} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
20/21 I	1983	Referaty o odkryciu W^\pm w eksperymentach UA1 i UA2

3.2. Zasada działania akceleratora

Wiązka 10^{13} protonów z akceleratora PS (patrz rys. 5) o energii 26 GeV uderza co 2.4 s w tarczę miedzianą o długości 110 mm i średnicy 3 mm. Wśród wytworzonych cząstek znajduje się $1.2 \cdot 10^7$ antyprotonów o średnim pędzie $3.5 \text{ GeV}/c$ i takim rozmyciu



Rys. 5. Schemat tworzenia, zbierania i przyspieszenia antyprotonów w akceleratorach protonowych

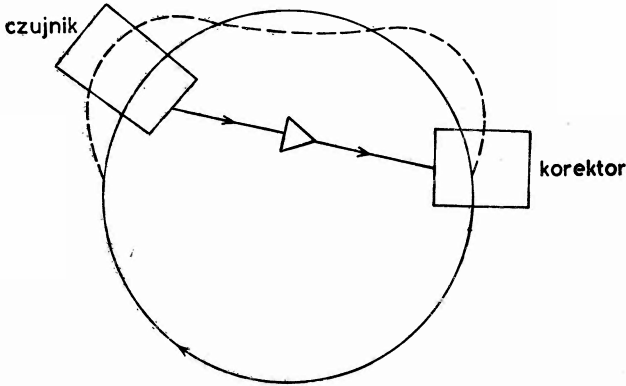
przestrzennym, kątowym i pędowym, które może być przyjęte przez pierścień magazynująco-chłodzący zwany akumulatorem antyprotonów (AA). Rozmycie to wynosi 100π

(mm·mrad) tak w pionie jak i w poziomie, a $\frac{\Delta p}{p} = 0.75\%$. Musimy zatem wyodrębnić

antyprotony spośród wszystkich ujemnych cząstek tworzonych w tych zderzeniach i zmniejszyć ich rozmycie. Wprowadzamy więc cząstki ujemne o takich parametrach do akumulatora. Jest to pierścień o obwodzie 50π m i wielkiej komorze próżniowej (apertura 0.7 m). Elektrony tracą energię przez promieniowanie synchrotronowe i wypadają z orbity, natomiast inne cząstki ujemne rozpadają się tak, że wkrótce wiązka składa się wyłącznie z antyprotonów.

Znacznie trudniejsze jest dramatyczne zmniejszenie ich rozmycia. Dla przyspieszenia w SPS trzeba zmniejszyć rozmycie kątowe i przestrzenne o czynnik 10^2 w płaszczyźnie pionowej i tyleż samo w płaszczyźnie poziomej, a $\frac{\Delta p}{p}$ musi być zredukowane aż 10^5 razy.

Ponieważ ta czynność daje uporządkowaną wiązkę o znacznie mniejszych przypadkowych prędkościach jednego antyprotonu względem drugiego, nazywamy ją chłodzeniem wiązki. W przeciwieństwie do chłodzenia elektronami zaproponowanego przez G. I. Budkera



Rys. 6. Zasada stochastycznego chłodzenia wiązki antyprotonów (linia przerywana) w akumulatorze antyprotonowym

w Nowosybirsku w 1966 r., w CERN-ie zastosowano tzw. chłodzenie stochastyczne zaproponowane dwa lata później przez S. van der Meer. Zasadę stochastycznego chłodzenia przedstawia rys. 6 na przykładzie poziomych drgań betatronowych. Szybki czujnik rejestruje duże odchylenie cząstek w A i przekazuje informację do B, gdzie cząstka jest bliska orbity stabilnej ale ma znaczne odchylenie kątowe. Odpowiedni impuls elektryczny koryguje kierunek cząstki. Wymagana tu jest precyzyjna synchronizacja i duża szybkość (ponieważ antyprotony biegną już z prędkością bliską prędkości światła więc można je wyprzedzić tylko po cięciwie!). Czujnik reaguje na środek próbki cząstek w A, a więc w B będą zredukowane oscylacje większości cząstek (oscylacje niektórych mogą być nawet zwiększone); stąd pochodzi nazwa — chłodzenie stochastyczne. Podobne zespoły czujnik-korektor poprawiają rozmycie pionowe i pędowe.

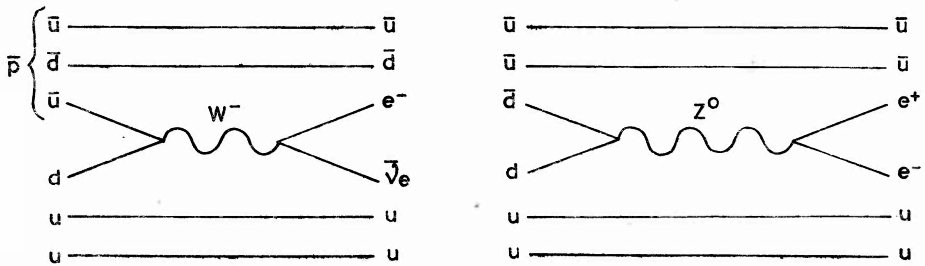
Z uwagi na małą liczbę tworzonych antyprotonów ich zbieranie trwa dość długo — trzeba aż 40 godz. dla otrzymania $6 \cdot 10^{11}$ antyprotonów. Chłodna wiązka zostaje wprowadzona do PS oczywiście w odwrotnym kierunku niż kierunek protonów. Tu następuje przyspieszenie antyprotonów do 26 GeV. Następnie impuls antyprotonów zostaje przekazany do wielkiego akceleratora SPS, gdzie już krążą w przeciwnym kierunku pęczki protonów. Antyprotony i protony zostają równocześnie przyspieszone do 270 GeV i wtedy mogą krążyć przez wiele godzin. Każdy pęczek ma kilkadziesiąt centymetrów długości i milimetr średnicy. Przewidziano po sześć pęczków tak, że zderzenia następowałyby w sześciu miejscach. Przy pełnej sprawności całego urządzenia dawałoby to świetność $L \approx 5 \cdot 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (w projekcie zawyżono o czynnik 2 przekrój czynny na produkcję

\bar{p}). W 1982 r. osiągnięto świetlność o rząd wielkości niższą; obecnie trwają intensywne prace nad ulepszeniem akceleratora.

Dwa miejsca przecięcia zostały wykorzystane do eksperymentów. Są one na głębokości kilkudziesięciu metrów i każde z nich gości dwie lub trzy aparaty. Spośród tych eksperymentów dwa (UA1 i UA2) miały na celu odkrycie bozonu pośredniczącego.

4. Przepis na odkrycie bozonu pośredniczącego

W zderzeniu $\bar{p}-p$ może powstać pojedynczy bozon bezpośrednio z kwarków tworzących zderzające się cząstki. Przykłady takich procesów podano na rys. 7. Dla produkcji W^\pm oczekujemy $\sigma = 4$ nb. Jest to już spory przekrój czynny — taki jak w oddziaływaniach e^+e^- — jednakże całkowity przekrój czynny na oddziaływanie $\bar{p}-p$ wynosi ok. 50 mb.

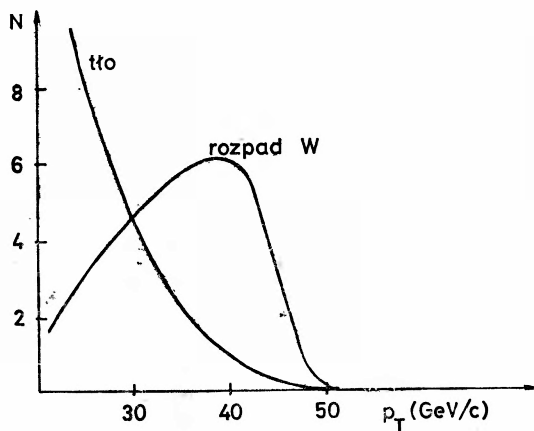


Rys. 7. Produkcja bozonów pośredniczących w oddziaływaniu $\bar{p}-p$

W^\pm rozpaść się powinien bądź na parę kwark-antykwarik bądź też na parę lepton-neutrino. Z uwagi na trzy kolory kwarków pierwszy rozpad będzie trzykrotnie bardziej prawdopodobny. Niestety emisja szybkiego kwarku prowadzi do produkcji pędu hadronów (tzw. *jet*). Identyfikacja kwarkowej natury takiego pędu jest dość skomplikowana i niejednoznaczna; pozostają nam więc rozpady na leptony (każdy po $\sim 8\%$). Najłatwiejszy do szybkiego wyboru jest rozpad $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu_e$. Ogromna masa W^\pm prowadzi do wielkiego pędu poprzecznego leptonów. Jak widać na rys. 8, większość pędów poprzecznych leptonów z rozpadu W^\pm znajdzie się pomiędzy 30 a 40 GeV/c. Natomiast średni pęd poprzeczny cząstek z „normalnych” zderzeń wynosi ok. 0.6 GeV/c, a widmo pędu poprzecznego spada bardzo szybko dla dużych wartości. Patrząc więc na bardzo duże pędy poprzeczne możemy nadrobić osiem rzędów wielkości w przekroju czynnym. W eksperymentach UA1 i UA2 szukano zatem pojedynczego elektronu o bardzo dużym pędzie poprzecznym. Ważna jest tutaj bardzo dobra identyfikacja elektronów a także wybór przypadków z pojedynczym elektronem. Główne tło przy wielkich pędach poprzecznych będą bowiem stanowić pęki cząstek z bardzo twardych zderzeń kwarków. Aparatura UA2 jest pod tym względem lepsza.

Do pełni szczęścia potrzebne nam jest jednak neutrino o równie wielkim i przeciwnie skierowanym pędzie poprzecznym. Obserwacja neutrino jest oparta na tym samym pomysł, co w kalorymetrycznych pomiarach Ellisa i Woostera, w których stwierdzono deficyt energii w rozpadzie β . Otaczamy mianowicie miejsce zderzenia bardzo grubą

warstwą detektorów, które rejestrują wszystkie cząstki wtórne — oprócz neutrina. Neutrino „widzimy” poprzez deficyt w bilansie energii. Bilans taki znacznie łatwiej zrobić w kierunku poprzecznym, tzn. dodając wektorowo pędy poprzeczne wszystkich widzianych cząstek w płaszczyźnie azymutalnej (prostopadłej do kierunku wiązek). Im wyższy bowiem pęd cząstki tym trudniej go dokładnie zmierzyć, jednakże szybsze cząstki lecą pod mniej-



Rys. 8. Widmo pędów poprzecznych leptonów z rozpadu W i z innych źródeł (na osi pionowej są jednostki względne)

szymi kątami. Szczególnie kłopotliwe byłyby protony lub antyprotony tracące mały ułamek energii w zderzeniu. Takie cząstki lecą pod tak małym kątem, że mogą w ogóle nie wyjść z rury próżniowej do detektora. Brakujące 100 GeV czy nawet 200 GeV kompletnie zrujnowałoby nam bilans energii. Natomiast pęd poprzeczny takiego protonu czy antyprotonu będzie zwykle mniejszy niż 1 GeV/c i nie zaważy na bilansie pędu poprzecznego. Do takiej detekcji neutrina lepiej nadawała się aparatura UA1. Pewna komplementarność obu eksperymentów zwiększa zaufanie do ich wyników.

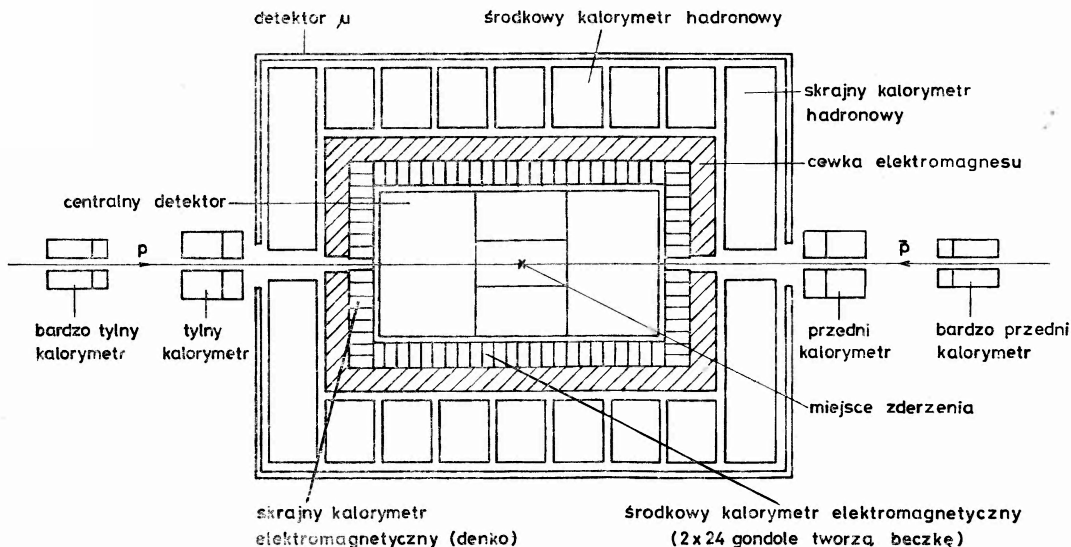
5. Obserwacja W^\pm w eksperymencie współpracy UA1

5.1. Współpraca i aparatura

Współpraca UA1 stanowi jak dotąd największy zespół fizyków w eksperymencie wysokich energii (a może i w ogóle) — jeszcze większe zespoły dopiero przygotowują eksperymenty dla LEP-u [18]. Lista współpracujących laboratoriów obejmuje Uniwersytet w Akwizgranie (RFN), Instytut Fizyki Cząstek w Annecy (Francja), Uniwersytet w Birmingham (Wielka Brytania), CERN, Uniwersytet w Helsinkach, Queen Mary College w Londynie, Collège de France w Paryżu, Uniwersytet Kalifornijski w Riverside, Uniwersytet w Rzymie, Instytut Rutherforda (Anglia), Ośrodek Badań Jądrowych w Saclay (Francja) i wreszcie Uniwersytet Wiedeński. Spis 135 fizyków zajmuje całą stronę publikacji [19], na której oparty jest ten rozdział; odpowiednio wielka jest też aparatura. Detektor UA1 kosztował przynajmniej 20 milionów dolarów, waży 2000 ton i zajmuje 250 m³,

a wszystko dlatego, że jest pomyślany jako uniwersalna aparatura do badania różnego typu oddziaływań $\bar{p}-p$, a szczególnie do pomiaru pędów wszelkich cząstek wtórnych w prawie pełnym kącie bryłowym.

Zaczynając od osi zderzenia (rys. 9) widzimy najpierw tzw. centralny detektor. Jest to zespół walcowych komór dryfowych o łącznej długości 5.8 m i średnicy 2.3 m. Detektor ten pozwala na rekonstrukcję torów cząstek naładowanych niezależnie od ich



Rys. 9. Aparatura eksperymentu UA1

liczby (zaobserwowano m. in. przypadek, który miał około 160 cząstek), pomiar ich pędów poprzez zakrzywienie w polu magnetycznym i na pomiar jonizacji właściwej. Ten ostatni pozwala na odróżnienie cząstek pojedynczych od np. bardzo wąskich par e^+e^- , których komory dryfowe mogłyby nie rozdzielić. Pęd natomiast mierzymy z dokładnością 20% dla toru o $p = 40 \text{ GeV}/c$ (oczekujemy takich elektronów z rozpadu (W^\pm) biegnącego prostopadle do kierunku wiązek, dla dłuższych torów bądź niższych pędów dokładność jest oczywiście lepsza.

Na zewnątrz centralnego detektora, ale jeszcze wewnątrz cewki magnesu znajduje się zespół kalorymtrów elektromagnetycznych przeznaczonych do detekcji elektronów i fotonów. Jak wiadomo wysokoenergetyczny elektron oddziałuje z materią wysyłając fotony hamowania, zaś foton — tworząc pary e^+e^- . Procesy te prowadzą do powstania strumienia elektronów (kaskada). Kalorymtr elektromagnetyczny stanowi tu przekładaniec warstw ołowiu i scyntylatora o łącznej grubości $(24-50)\lambda_{\text{rad}}$. Każdy zatem elektron lub foton pozostawi tu całą swoją energię, którą mierzymy przy pomocy fotopowielaczy zbierających światło ze scyntylatora. Tablica 4 podaje parametry wszystkich kalorymtrów UA1, dlatego tu opiszemy tylko najważniejsze ich cechy.

Śródkowy kalorymtr składa się z 2×24 półwalcowych części (tzw. gondole) tworzących „beczkę” otaczającą centralny detektor. Każda gondola ma 22.5 cm w kierunku

Tablica 4. Parametry wszystkich kalorymetrów eksperymentu UA1

Kalorymetr		Pokrywane kąty (°)	Grubość		Rozmiar $\Delta\theta$ (°) $\Delta\varphi$ (°)	Grubość warstwy (mm) metal+scynt.	Zdolność rozdzielcza $\Delta E/E$
			$[\lambda_{\text{rad}}]$	$[\lambda_{\text{abs}}]$			
Beczka	elektromagnetyczny	25—155	$26/\sin\theta$	$1.1/\sin\theta$	5 180	1.2+1.5	$0.15/\sqrt{E}$
	hadronowy		—	$5.0/\sin\theta$	15 18	50+10	$0.80/\sqrt{E}$
Denka	elektromagnetyczny	5—25	$27/\cos\theta$	$1.1/\cos\theta$	20 11	4+6	$0.12/\sqrt{E}$
	hadronowy	155—175	—	$7.1/\cos\theta$	5 10	50+10	$0.80/\sqrt{E}$
Przedni i tylny	elektromagnetyczny	0.7—5	30	1.2	4 45	3+3	$0.15/\sqrt{E}$
	hadronowy	175—179.3	—	10.2	— —	40+8	$0.80/\sqrt{E}$
Bardzo przedni i bardzo tylny	elektromagnetyczny	0.2—0.7	24.5	1.0	0.5 90	3+6	$0.15/\sqrt{E}$
	hadronowy	179.3—179.8	—	5.7	0.5 90	40+10	$0.80/\sqrt{E}$

wiązki i pokrywa 180° kąta azymutalnego φ , tzn. kąta w płaszczyźnie prostopadłej do wiązek. Mierzymy jednakże pozycję kaskady znacznie dokładniej wykorzystując pochłanianie światła w scyntylatorze tzn. porównując wielkości impulsu w fotopowielaczach na obu końcach gondoli. Daje to dokładność $0.3 \text{ rad}/\sqrt{E(\text{GeV})}$. Podobną dokładność osiągamy i w kącie biegunowym ϑ dzięki innej kombinacji fotopowielaczy.

Skrajny kalorymetr elektromagnetyczny tworzący denka beczki składa się po każdej stronie z 64 sektorów. Dodatkowo mamy (po przejściu odległości $11\lambda_{\text{rad}}$) możliwość pomiaru środka ciężkości kaskady (z dokładnością $x = \pm 2 \text{ mm}$), dzięki dwu skrzyżowanym hodoskopom liczników proporcjonalnych. Droga atenuacji w scyntylatorze została tak dobrana, że wielkość impulsu z fotopowielaczy daje bezpośrednio $E_T = E \sin \vartheta$.

Na zewnątrz tych kalorymetrów elektromagnetycznych znajduje się cewka elektromagnesu dającego pole magnetyczne o natężeniu $0.7 T$ w objętości $7 \times 3.5 \times 3.5 = 86 \text{ m}^3$. Ustawienie cewki wewnątrz kalorymetrów znacznie zmniejszałoby jej rozmiary, a więc i koszty eksperymentu, ale zakłóciłoby detekcję elektronów, która jest zupełnie zasadnicza dla obserwacji W^\pm . Natomiast na zewnątrz cewki znajduje się kalorymetr hadronowy. Hadron oddziałuje z jądrami tworząc wiele wtórnych hadronów (głównie pionów). Neutralne piony natychmiast rozpadają się na fotony, które szybko dadzą kaskady elektromagnetyczne, natomiast hadrony naładowane będą produkować nowe hadrony itd. Kalorymetr stanowi tu przekładaniec żelaza i scyntylatora, z którego impuls jest miarą energii pierwotnego hadronu. Jest to jedyna metoda obserwacji tych neutralnych hadronów, które się nie rozpadną wewnątrz centralnego detektora (np. neutrony).

Najbardziej zewnętrzną częścią aparatury UA1 jest detektor mionów czyli zespół komór dryfowych otaczający kalorymetr hadronowy. Ze znanych cząstek naładowanych tylko miony przejdą przez kalorymetr. Zauważmy tu, że kalorymetr hadronowy i detektor mionów pokrywają także denka beczki, jednakże przez ich środek przechodzą rury próżniowe prowadzące wiązki. Mamy wobec tego jeszcze dwa dodatkowe kalorymetry z każdej strony. Są to kalorymetry mające tak część elektromagnetyczną jak i hadronową. Parametry tych kalorymetrów są również podane w tabl. 4.

Wszystkie parametry kalorymetrów były starannie kalibrowane tak na wiązce elektronicznej jak i hadronowej; wobec tego dokładność wyznaczenia energii i położenia w kalorymetrze jest dobrze znana; wiadomo też jakie cięcia można stosować przy wyborze przypadków.

Widzimy więc, że detektor UA1 pokrywa prawie pełny kąt bryłowy sięgając od $\vartheta = 0.2^\circ$ do $\vartheta = 179.8^\circ$ i to w układzie środka masy. Jediną cząstką, która przejdzie niezauważona przez wszystkie jego elementy, jest neutrino.

5.2. Wybór przypadków $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu_e$

Dla wyzwolenia aparatury (tryger) wymagano energii poprzecznej $E_T > 10 \text{ GeV}$ w dwu sąsiednich gondolach lub w dwu sektorach denka, taki przypadek zdarzał się co 0.2 s. Łącznie w ciągu 30 dni pracy akceleratora przy świetlności $5 \cdot 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ zarejestrowano 140 tys. przypadków. Komputerowa analiza doprowadziła do wybrania 28 tys. przypadków, w których dokładnie zmierzona energia poprzeczna kaskady w kalorymetrze przekraczała 15 GeV. Dla tych wszystkich przypadków przeprowadzono

pełną rekonstrukcję torów w centralnym detektorze. Dalsza selekcja dała 2125 przypadków, w których był tor cząstki o $p_T > 7 \text{ GeV}/c$ wychodzący z miejsca zderzenia. Te 2125 przypadków z dużą energią poprzeczną analizowano dalej na dwa sposoby.

5.2.1. Droga elektronowa

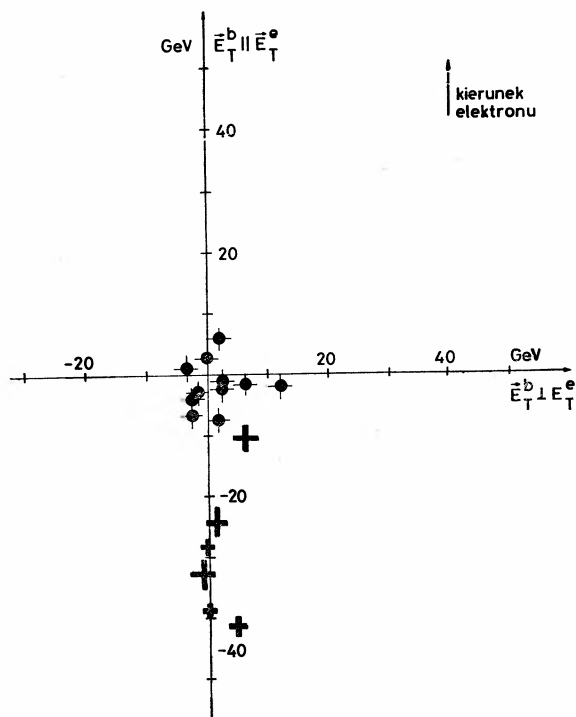
W tej metodzie szukano pojedynczego elektronu o wielkiej energii poprzecznej w gondolach stosując następujące kolejne cięcia redukujące próbkę do mniejszej liczby przypadków (w nawiasie):

- a) tor o $p_T > 7 \text{ GeV}/c$ wychodzący z miejsca zderzenia celuje w gondole o $E_T > 15 \text{ GeV}$ (1106);
- b) inne tory wchodzące do tych gondoli mają łączny $p_T < 2 \text{ GeV}/c$ (276);
- c) kąt azymutalny toru zgadza się z pozycją kaskady w gondoli zmierzona przez podział impulsu (167);
- d) energia zarejestrowana w odpowiednim kalorymetrze hadronowym (elektron zostawi praktycznie całą energię w kalorymetrze elektromagnetycznym) $E < 600 \text{ MeV}$ (72);
- e) energia kaskady w gondolach zgadza się z pędem zmierzonym w centralnym detektorze (39).

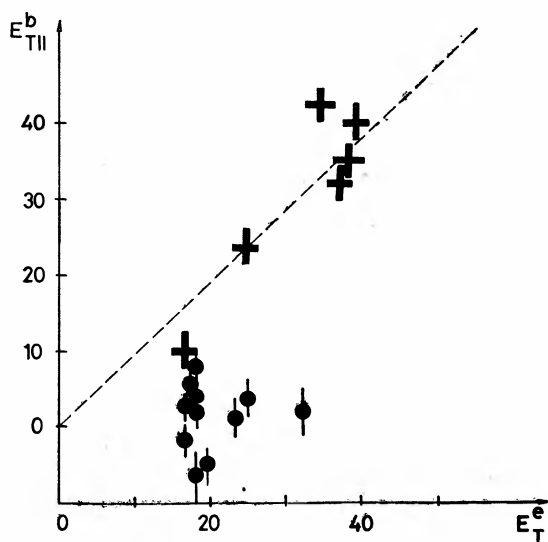
Te 39 przypadków można podzielić na trzy kategorie. Jedną stanowią 23 pary e^+e^- pochodzące z konwersji wysokoenergetycznych fotonów lub przypadki z dwoma pękami cząstek, z których jeden zawiera elektron. Należy tu wyjaśnić, że taki pęk (*jet*) jest dominującą cechą silnych oddziaływań, w których pojawiają się duże pędy poprzeczne. Oddziaływania takie są interpretowane przez bardzo twarde zderzenia kwarków. W 11 przypadkach występuje pojedynczy elektron i pęk cząstek po przeciwnej stronie. Liczba i widmo tych przypadków zgadzają się z tym co wiemy o pękach kwarkowych, a najwyższa energia poprzeczna wynosi $E_T = 32 \text{ GeV}$. Mogą też one pochodzić z rozpadu np. „toponium”, tzn. mezonu składającego się z pary $t\bar{t}$, na parę mezonów o składzie np. $(t\bar{u})$ i $(\bar{t}u)$, o ile masa kwarku t wynosi ok. 40 GeV. Jeden z tych mezonów rozpadalby się m. in. na elektron, a drugi na pęk hadronów. I wreszcie w pięciu przypadkach wielka energia poprzeczna elektronu nie jest równoważona żadnym pękiem cząstek. Podobna analiza przeprowadzona w denkach dała jeszcze jeden przypadek tego typu. W tych sześciu przypadkach jonizacja na torze elektronu w centralnym detektorze odpowiada pojedynczej cząstce relatywistycznej.

Dalsza analiza jest związana z brakującą energią poprzeczną w ostatnich dwu kategoriach przypadków. Przypomnijmy, że definiuje się ją jako wektor, który trzeba dodać do wektorowej sumy energii poprzecznych wszystkich obserwowanych cząstek tak, aby ich suma wynosiła zero. Do bilansu tego wchodzi tor widoczny w centralnym detektorze (cząstki naładowane), sygnały z kalorymetru elektromagnetycznego (fotony) i wreszcie te sygnały z kalorymetru hadronowego, które nie odpowiadają żadnym torom (np. neutrony). Rozkład brakującej energii poprzecznej E_T^b ma kształt gaussowski wokół zera z szerokością $0.4 \sqrt{E_T^b(\text{GeV})}$.

Rysunki 10 i 11 pokazują, że przypadki z pękiem naprzeciw elektronu mają $E_T^b \approx 0$, podczas gdy dla sześciu przypadków z elektronem bez pędu brakująca energia poprzeczna jest równa energii poprzecznej elektronu i przeciwnie skierowana, co silnie sugeruje obecność neutrino pochodzącego z rozpadu $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu_e$.



Rys. 10. Orientacja wektora brakującej energii poprzecznej w stosunku do kierunku elektronu dla elektronów z pękiem naprzeciw (-●-) i bez takiego pęku (+)



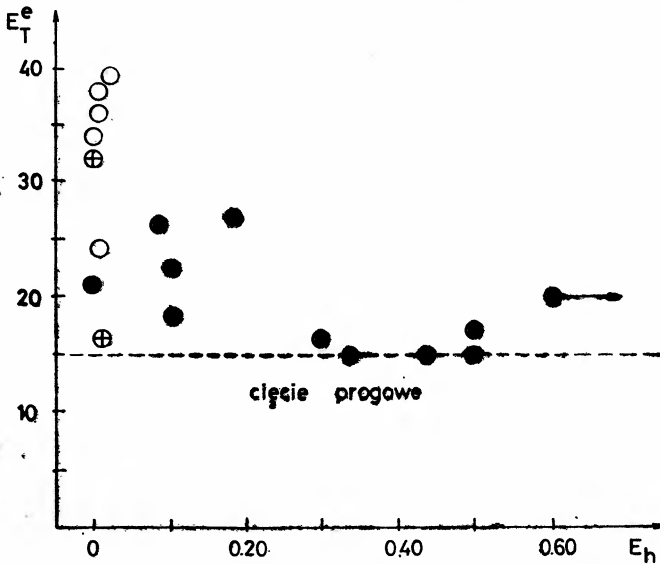
Rys. 11. Zależność brakującej energii poprzecznej antyrównoległej do elektronu od energii poprzecznej elektronu dla elektronów z pękiem naprzeciw (●) i bez takiego pęku (+)

5.2.2. Droga neutrinowa

Ta droga zaczyna się znowu od próbki 2125 przypadków z $E_T > 15$ GeV i dobrym torem o $p_T > 7$ GeV/c. Nie wymagano tu na razie, aby tor należał do elektronu. Stosowano natomiast następujące kryteria wyboru:

- tor celuje w gondole z dużą energią poprzeczną i nie ma sąsiada o $p_T > 2$ GeV/c wewnątrz 20° (zostaje 911 przypadków);
- brakująca energia poprzeczna E_T przekracza 15 GeV (70). W dalszej analizie zastrzeżono wymagania dotyczące tak wyznaczenia E_T jak i izolacji toru o dużym p_T ;
- po przeglądzie 70 przypadków odrzucono 39, w których bądź pęki cząstek celowały na słabe punkty aparatury (rogi elementów, światłowody itp.) bądź też widać było oddziaływanie wtórne w rurze wiązki;
- wymagano braku sąsiada naładowanego o $p_T > 1.5$ GeV/c wewnątrz 30° i neutralnego o $E_T > 4$ GeV w sąsiednich gondolach przy podobnym kącie azymutalnym.

Pozostałe 18 przypadków znowu można podzielić na 11 przypadków z pękiem na przeciw toru o dużym p_T i 7 bez takiego pędu. I teraz dopiero badano część energii E_h zarejestrowaną w kalorymetrze hadronowym, w który celuje tor o dużym p_T . Rys. 12



Rys. 12. Zależność energii poprzecznej elektronu od części energii pozostawionej w kalorymetrze hadronowym E_h dla przypadków z pękiem (●) i bez pędu (○) znalezionych na drodze neutrinowej. Przypadki bez pędu nie znalezione na drodze elektronowej zaznaczono ⊕

pokazuje, że przypadki bez pędów mają znikomą wartość E_h , a więc te tory należą do elektronów, podczas gdy prawie wszystkie przypadki z pędami mają znaczną wartość E_h , świadczącą o hadronowej naturze cząstki o dużym p_T .

Wśród siedmiu elektronów w gondolach odnajdujemy pięć przypadków znalezionych poprzednio. Dwa pozostałe przypadki zostały poprzednio odrzucone przez warunek e) w poprzednim rozdziale. Mogą one natomiast pochodzić z rozpadu $W^\pm \rightarrow \tau^\pm \nu_\tau$, w który

ν_e objawia się w brakującej energii poprzecznej. Natomiast rozpad $\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \nu_e$ daje fotony w gondolach i tor π^\pm o dużym p_T w centralnym detektorze. Jednakże przyjęte kryteria izolacji toru o dużym p_T będą silnie dyskryminować przypadki rozpadu W^\pm .

Jak widzimy dwie niezależne metody wyboru dają te same przypadki. Szczegółowa ocena tła, które może się pojawić w każdej z tych metod prowadzi do wniosku, że jest ono zupełnie zaniedbywalne.

5.3. Ocena masy W^\pm

Najważniejsze parametry znalezionych sześciu przypadków podano w tabl. 5 (przypadek B pochodzi z denka). Kąt ϑ jest kątem biegunowym pomiędzy kierunkiem elektronu a kierunkiem pierwotnego protonu, Q_e oznacza znak ładunku elektronu, ΣE_T jest ska-

Tablica 5. Najważniejsze parametry sześciu przypadków znalezionych w eksperymencie UA1

Przypadek	$E_T^e(\text{GeV})$	$E_T^b(\text{GeV})$	$\vartheta(^{\circ})$	Q_e	$\Sigma E_T(\text{GeV})$	$m_T(\text{GeV})$	$p_T(\text{GeV})$
A	24.0 ± 0.6	24.4 ± 4.6	142	-1	81	48.4 ± 4.6	0.6 ± 4.6
B	17.0 ± 0.4	11.6 ± 4.0	158	-1	60	26.5 ± 4.6	10.8 ± 4.0
C	34.0 ± 0.8	41.3 ± 3.6	49	-1	68	$74.8 - 3.4$	8.6 ± 3.7
D	38.0 ± 1.0	40.0 ± 2.0	108	-1	47	78.0 ± 2.2	2.1 ± 2.2
E	37.0 ± 1.0	35.5 ± 4.3	89	+1	87	72.4 ± 4.5	4.7 ± 4.4
F	36.0 ± 0.7	32.3 ± 2.4	149	-1	49	68.2 ± 2.6	3.8 ± 2.5

łarną sumą wszystkich zmierzonych energii poprzecznych, a m_T jest masą cząstki rozpadającej się na elektron i neutrino przy założeniu, że rozpad następuje w płaszczyźnie azymutalnej, a mianowicie

$$m_T^2 = 2p_T^e p_T^{\nu} (1 - \cos \varphi_{\nu e}).$$

Oczywiście m_T stanowi dolną granicę masy W^\pm . Z wartości podanych w tabl. 5 otrzymujemy na poziomie ufności 90% $m_W > 73 \text{ GeV}$.

Można pokusić się o lepszą ocenę m_W zakładając *a priori* kinematykę i rozkład kątowny przewidziany dla rozpadu $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu_e$. Uwzględniając wartości pędu poprzecznego p_T^W dla każdego przypadku otrzymujemy $m_W = (81 \pm 5) \text{ GeV}$, w doskonałej zgodności z teorią Weinberga-Salama (patrz rozdz. 2).

6. Obserwacja W^\pm w eksperymencie współpracy UA2 [20].

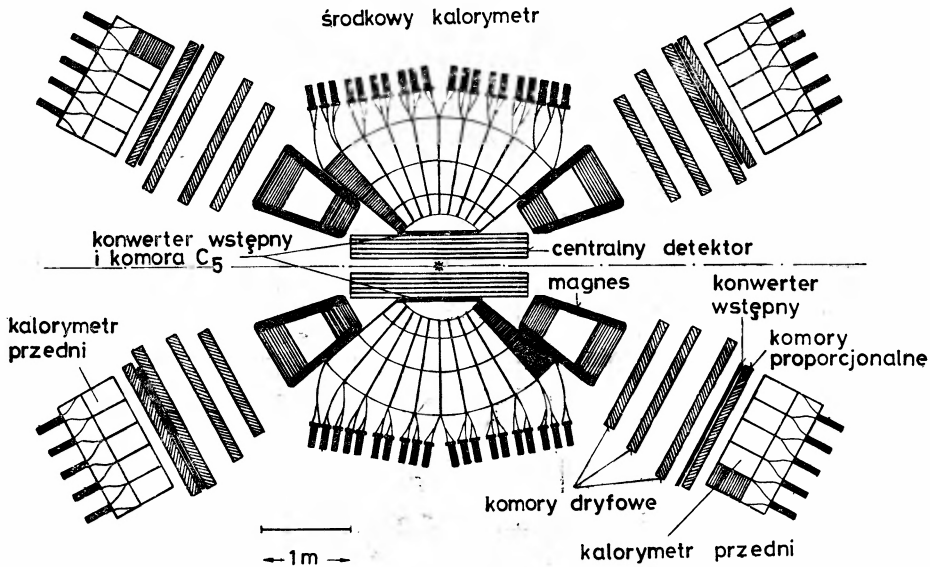
6.1. Współpraca, aparatura i tryger

Współpraca UA2 składa się z 59 fizyków reprezentujących Uniwersytet w Bernie, CERN, Instytut Nielsa Bohra w Kopenhadze, Laboratorium Liniowego Akceleratora w Orsay, Instytut Fizyki Jądrowej Uniwersytetu w Pawii i tamtejszy oddział Państwowego Instytutu Fizyki Jądrowej (Włochy) oraz Ośrodek Badań Jądrowych w Saclay. Aparatura UA2 jest znacznie tańsza i mniej uniwersalna: najmocniejszą jej stroną jest znakomita identyfikacja i izolacja elektronów o dużej energii poprzecznej.

Zaczynając od środka (rys. 13) widzimy tu układ dwu komór dryfowych i czterech proporcjonalnych, które stanowią centralny detektor bez pola magnetycznego. Piąta komora proporcjonalna C_5 znajduje się za wstępnym konwerterem wolframowym o grubości $1,5 \lambda_{\text{rad}}$. Ta grubość wystarcza już na wytworzenie małej kaskady przez elektron lub foton. Komora C_5 mierzy bardzo dokładnie (do kilku milimetrów) jej położenie.

Środkowy kalorymetr jest podzielony poprzecznie na komórki pokrywające $\Delta\vartheta = 10^\circ$, $\Delta\varphi = 15^\circ$ i celujące w miejsce zderzenia. Część elektromagnetyczna ma $17\lambda_{\text{rad}}$ a część hadronowa — $4\lambda_{\text{abs}}$. Kalorymetr ten pokrywa zakres kątów ϑ od 40° do 140° .

Obszar pośrednich kątów $\vartheta = (20 \div 37,5)^\circ$ oraz $\vartheta = (142,5 \div 160)^\circ$ jest pokryty przez toroidalne magnesy ($\int Bdl = 0,38 \cdot T \cdot m$), komory dryfowe, konwerter wstępny z ołowiu



Rys. 13. Aparatura współpracy UA2

i żelaza o grubości $1,4 \lambda_{\text{rad}}$, komory proporcjonalne tuż za nim i wreszcie przednie kalometry elektromagnetyczne. I tu ziarnistość jest znacznie lepsza niż w UA1, ponieważ jedna komórka pokrywa $\Delta\vartheta = 3,5^\circ$, $\Delta\varphi = 15^\circ$. Natomiast nie ma tu kalometrów hadronowych: kalorymetr elektromagnetyczny ma grubość $24\lambda_{\text{rad}}$, reszta o grubości $6\lambda_{\text{rad}}$ służy jako weto hadronowe. We wszystkich kalorymetrach możemy wyznaczyć środek ciężkości kaskady z dużą dokładnością przez porównanie wielkości impulsu fotopowielaczy na końcach scyntylatora. I tu kalometry były starannie kalibrowane na wiązce elektronowej i hadronowej.

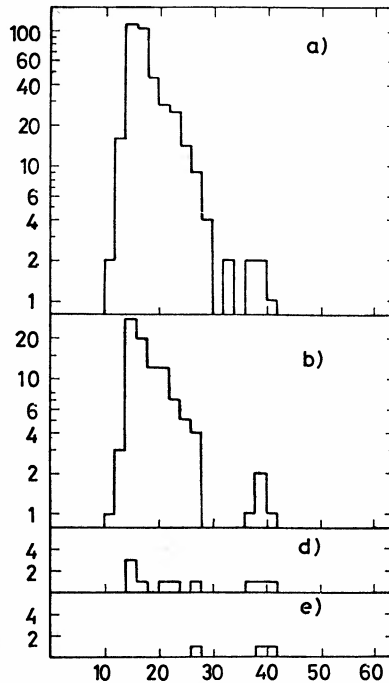
Obszar małych kątów ($\vartheta < 20^\circ$, $\vartheta > 160^\circ$) jest dla eksperymentu UA2 prawie martwy, ponieważ znajduje się tu aparatura eksperymentu UA4 [21] mierzącego równocześnie elastyczny i całkowity przekrój czynny. Eksperyment UA2 otrzymuje jako pomoc sąsiedzką tylko informację, że zaszło jakieś oddziaływanie. Ta informacja oraz sygnał z kalorymetru elektromagnetycznego o energii E_T przekraczającej 8 GeV były wymagane dla rejestracji przypadku.

6.2. Wybór pojedynczego elektronu w środkowym kalorymtrze

Analiza zarejestrowanych przypadków wykorzystuje następujące kryteria związane z kaskadą w kalorymtrze elektromagnetycznym:

- przynajmniej 90% energii kaskady zawiera się w co najwyżej 2×2 komórkach,
- odpowiedni kalorymetr hadronowy rejestruje co najwyżej 10% energii,
- środek ciężkości kaskady nie może się znajdować w skrajnej celi.

Dla tak wybranych kaskad obliczono energię poprzeczną E_T^e używając pozycji środka ciężkości kaskady i założenia, że zderzenie $\bar{p}-p$ nastąpiło dokładnie w środku aparatury. Tak wybrane 363 przypadki o $E_T^e > 15$ GeV zostały w pełni zrekonstruowane. Znając te



Rys. 14. Rozkład energii poprzecznej E_T^e elektronów zarejestrowanych w środkowym kalorymtrze elektromagnetycznym po zastosowaniu kolejnych kryteriów wyboru pojedynczych elektronów. Oś odciętych jest w skali logarytmicznej; a) 363 przypadki, b) 96 przypadków, d) 10 przypadków, e) 3 przypadki

raz dokładnie miejsce zderzenia można obliczyć poprawną wartość energii poprzecznej elektronu E_T^e . Najwyższy histogram na rys. 14 przedstawia rozkład E_T^e . Następujące kryteria wyboru izolowanego elektronu redukowały coraz bardziej liczbę przypadków (w nawiasie):

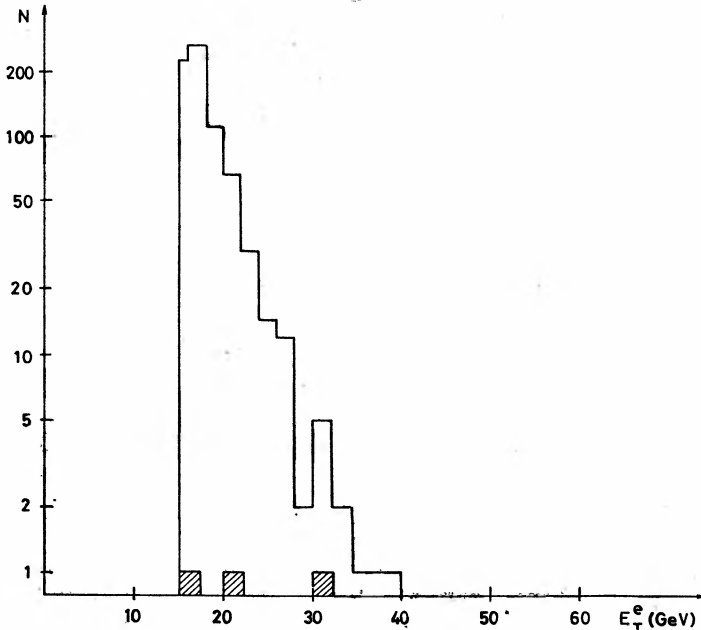
- tor z centralnego detektora trafia w środek ciężkości kaskady w kalorymtrze elektromagnetycznym; nie ma drugiego toru w stożku o kącie rozwarcia 20° (96),
- komora C_5 za wstępnym konwerterem pokazuje na przedłużeniu toru małą kaskadę (co najmniej cztery elektrony); nie ma drugiej takiej kaskady w stożku o kącie rozwarcia 20° (10),

- f) kształt kaskady w kalorymetrze elektromagnetycznym zgadza się ze wzorcowym kształtem wyznaczonym przy kalibracji wiązką elektronową (3),
 g) pozycja środka ciężkości kaskady wyznaczona przy pomocy podziału impulsu zgadza się z kierunkiem toru z centralnego detektora (3).

Te trzy przypadki mają znacznie wyższą energię E_T^e niż średnia wartość w początkowej próbce. Ocena tła z różnych konkurencyjnych procesów daje w sumie co najwyżej 0.2 przypadku. Widzimy, że lepsza identyfikacja i izolacja elektronu daje bardziej czystą próbkę niż w eksperymencie UA1 jeszcze przed analizą brakującej energii poprzecznej.

6.3. Wybór pojedynczego elektronu w obszarze pośrednich kątów

Rys. 15 pokazuje rozkład energii poprzecznej elektronu dla 761 przypadków o $E_T^e > 15$ GeV i dla końcowej próbki trzech przypadków wybranych przez następujące kryteria:
 a) tor elektronu wychodzi z miejsca zderzenia, jest widoczny tak w centralnym detektorze jak i w komorach dryfowych za magnesem (zakrzywienie daje nam pęd elektronu),



Rys. 15. Rozkład energii poprzecznej elektronów zarejestrowanych w obszarze małych kątów przed i po wyborze pojedynczych elektronów. Oś odciętych jest w skali logarytmicznej

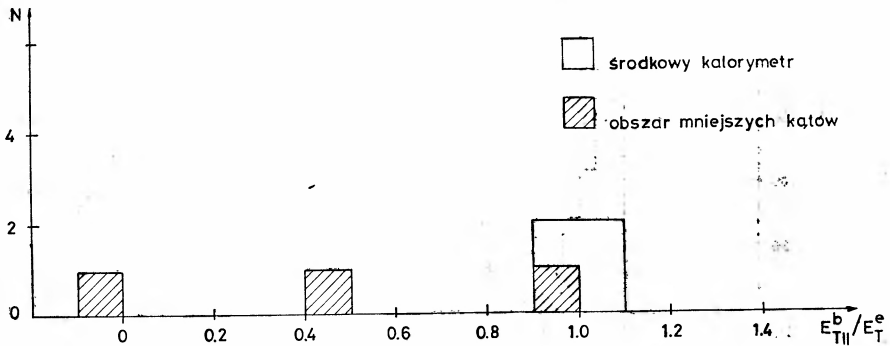
- b) tor celuje w małą kaskadę za konwerterem wstępnym i w środek ciężkości wielkiej kaskady w przednim kalorymetrze elektromagnetycznym (wyznaczony przez podział impulsu); tylko jeden tor i jedna mała kaskada spełniają te warunki,
 c) pęd elektronu wyznaczony z zakrzywienia zgadza się z energią kaskady w przednim kalorymetrze,

- d) energia zarejestrowana w celach sąsiadujących z celami kaskady nie przekracza 3 GeV,
 e) część energii zarejestrowana w hadronowym weto nie przekracza 2%.

Widzimy, że stosowano tu słabsze kryteria izolacji elektronu; powodem tego była większa gęstość cząstek w obszarze mniejszych kątów. Można więc oczekiwać, że analiza brakującej energii odrzuci część tych przypadków. Dodajmy jeszcze, że ocena tła hadronowego w tej próbie nie przekracza 0.2 przypadku.

6.4. Analiza brakującej energii i ocena masy W^\pm

Podobnie jak w eksperymencie UA1 obliczono brakującą energię poprzeczną E_T dla każdego z sześciu wybranych przypadków. Energia ta jest tu jednak znacznie gorzej wyznaczona, ponieważ w obszarze dużych kątów można polegać wyłącznie na informacji kalorymetrycznej, dla kątów pośrednich nie rejestrowano neutralnych hadronów, a dla małych kątów w ogóle nie ma żadnych danych. Rys. 16 pokazuje stosunek $E_{T||}^b/E_T^e$ (jest to



Rys. 16. Stosunek brakującej energii poprzecznej E_T^b w kierunku elektronu do energii poprzecznej elektronu E_T^e

brakująca energia poprzeczna antyrównoległa do elektronu) do E_T^e . Widzimy tu, że znakomita izolacja elektronów w środkowym kalorymetrze wystarcza do wybrania przypadków $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu_e$, podczas gdy w obszarze pośrednich kątów pozostaje tylko jeden dobry przypadek. Własności czterech wybranych przypadków podano w tabl. 6.

Tablica 6. Parametry czterech przypadków znalezionych w eksperymencie UA2

Przypadek	E_T^e (GeV)	E_T^b/E_T^e	$\theta(^{\circ})$	Q_e	ΣE_T (GeV)
A	27.7	1.03	100	?	41.2
B	38.5	0.93	131	?	47.0
C	40.3	1.01	50	?	45.2
D	30.9	1.00	150	+1	45.8

Podobnie jak w eksperymencie UA1 widzimy, że energia poprzeczna elektronu E_T^e stanowi istotną część skalarnej sumy E_T energii poprzecznych wszystkich zarejestrowanych cząstek. Nawet wtedy, gdy ta część wynosi zaledwie jedną trzecią (przypadek A w eksperymencie UA1) energia poprzeczna innych obserwowanych cząstek jest co najmniej o rząd wielkości mniejsza od E_T^e . Ponieważ te cząstki są rozłożone izotropowo w płaszczyźnie azymutalnej, więc nie są w stanie choćby częściowo zrównoważyć E_T^e w końcowej próbie przypadków.

W eksperymencie UA2 również dokonano oceny masy W^\pm dopasowując wartości E_T^e i θ do hipotezy rozpadu $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu_e$. Otrzymany wynik $m_W = (80_{-6}^{+10})\text{GeV}$ dobrze się zgadza tak z rezultatem eksperymentu UA1, jak i z przewidywaniami teorii Weinberga-Salama.

7. Podsumowanie

W obu eksperymentach zaobserwowano łącznie 10 przypadków, podczas kiedy ocena tła wynosi zaledwie 0.5 przypadku. Wielkość efektu i masa W^\pm dobrze zgadzają się z przewidywaniami teorii Weinberga-Salama, która tym samym została kapitalnie potwierdzona.

Nie zaobserwowano natomiast ani jednego przypadku produkcji bozonu pośredniczącego Z^0 , który rozpadałby się na parę e^+e^- o ogromnych pędach poprzecznych. Obserwacja Z^0 jest nieporównanie łatwiejsza, ponieważ nie wymaga ani izolacji elektronu ani analizy brakującej energii poprzecznej. Jednakże oczekujemy tu o rząd wielkości mniej przypadków niż dla W^\pm .

Należy jednak spodziewać się, że najbliższe miesiące (słowa te są pisane w marcu 1983 r.) przyniosą odkrycie Z^0 i zwiększenie statystyki przypadków W^\pm o przeszło rząd wielkości. Nadzieje te CERN wiąże z planowanym zwiększeniem świetlności akceleratora [22].

Literatura

- [1] J. Schwinger, *Ann. Phys.* **2**, 403 (1957).
- [2] S. L. Glashow, *Nucl. Phys.* **32**, 579 (1961).
- [3] S. Weinberg, *Phys. Rev. Lett.* **19**, 1264 (1967).
- [4] A. Salam, *Proc. 8th Nobel Symposium, Aspenäsorden* 1968, Almqvist & Wikselm, Stockholm 1968.
- [5] W. Królikowski, *Postępy Fizyki* **30**, 307 (1979).
- [6] Particle Data Group, „Review of Particle Properties”, *Phys. Lett.* **111B**, 1 (1982).
- [7] M. Kobayashi, K. Maskawa, *Prog. Theor. Phys.* **49**, 652 (1973).
- [8] J. Cronin, *Postępy Fizyki* **33**, 149 (1982).
- [9] S. L. Glashow, *Postępy Fizyki* **32**, 49 (1981).
- [10] S. Weinberg, *Postępy Fizyki* **32**, 133 (1981).
- [11] A. Salam, *Postępy Fizyki* **32**, 361 (1981).
- [12] W. Bartel et al., *Phys. Lett.* **108B**, 140 (1982).
- [13] W. Brandelik et al., *Phys. Lett.* **110B**, 173 (1982).

- [14] B. Adeva et al., MIT Technical Report No 124, 1982.
- [15] L. Argento et al., *Phys. Lett.* **120B**, 245 (1983).
- [16] C. Rubbia, P. Mc Intyre, D. Cline, *Proc. Int. Neutrino Conf.*, Aachen 1976, Vieweg, Braunschweig 1977.
- [17] P. I. P. Kalmus, *Int. Workshop on Very High Energy Interactions*, Philadelphia 1982.
- [18] W. Duliński, J. Turnau, *Postępy Fizyki* **34**, 297 (1983).
- [19] G. Arnison et al., *Phys. Lett.* **122B**, 103 (1983).
- [20] M. Banner et al., *Phys. Lett.* **122B**, 476 (1983).
- [21] R. Battiston et al., *Phys. Lett.* **117B**, 126 (1982).
- [22] Wiosną 1983 r. dzięki kilkakrotnie większej świetlności zespoły UA1 i UA2 zaobserwowały łącznie około stu przypadków W^\pm i około piętnastu przypadków Z^0 rozpadających się bądź na elektrony, bądź też na miony. Zmierzone masy $m_W = (81.5 \pm 2.5)$ GeV oraz $m_Z = (92.9 \pm 2.2)$ GeV, jednostkowy spin bozonu W^\pm i asymetria elektronów z jego rozpadu świadczą niezbicie, że cząstki te są nośnikami słabych oddziaływań przewidywanymi przez teorię Weinberga-Salama (Uwaga dodana w czasie korekty).

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Symposium spektroskopii radiowej i mikrofalowej w medycynie

Komitet Fizyki PAN wystąpił z inicjatywą zorganizowania spotkania fizyków i lekarzy celem przedyskutowania różnorodnych aspektów współdziałania przedstawicieli tych dwu ważnych dziedzin nauki. W odpowiedzi na tę inicjatywę w dniu 30 maja 1983 r. zostało zorganizowane przez współpracujące ze sobą od lat poznańskie instytuty: Fizyki Molekularnej PAN (IFM PAN) oraz Ginekologii i Położnictwa AM jednodniowe sympozjum poświęcone zastosowaniu radiowej i mikrofalowej spektroskopii w medycynie. Sympozjum temu patronowała Komisja Fizyki Molekularnej Komitetu Fizyki PAN, a przewodniczący Komitetu Fizyki PAN prof. J. Kołodziejczak otwierając spotkanie zaznajomił uczestników z pracami Komitetu nad ekspertyzą o stanie prac naukowych z zakresu zastosowania nowych metod fizycznych w diagnostyce medycznej, które są prowadzone na zlecenie władz państwowych. Organizatorzy Sympozjum rozesłali ponad 100 imiennych zaproszeń do wybitnych uczonych z zakresu fizyki molekularnej, radio-spektroskopii, radiologii i medycyny ogólnej. Wśród zaproszonych gości byli także organizatorzy życia naukowego w kraju i władze wszystkich uczelni medycznych. Aktualność tematyki Sympozjum oraz rezonans świata lekarskiego sprawiły, że w pięknej sali wykładowej Instytutu Ginekologii i Położnictwa AM w Poznaniu przy ul. Polnej 33 zgromadziło się około 200 fizyków, lekarzy i inżynierów, którzy wysłuchali i przedyskutowali pięć referatów naukowych.

W poglądowym referacie zatytułowanym „Tomograf NMR” doc. Narcyz Piślewski z IFM PAN przedstawił fizyczne podstawy jądrowego rezonansu magnetycznego, wielkości mierzone w tym zjawisku (intensywność linii rezonansowej, czasy relaksacji T_1 i T_2) oraz sposoby przestrzennej analizy gęstości protonów. Przestrzenne obrazowanie rozkładu gęstości protonów oraz czasów relaksacji T_1 i T_2 umożliwiając wykonanie w pełni skomputeryzowanych tomografów NMR. W urządzeniach tych do badanego obiektu oprócz typowych pól magnetycznych i elektromagnetycznych stosowanych w zjawisku jądrowego rezonansu magnetycznego ważne jest także przyłożenie do badanego obiektu pola magnetycznego o określonym co do wartości i kierunku gradiencie. Referat zakończono informacją o pracach prowadzonych w ośrodku poznańskim (IFM PAN, PDP Radiopan, Akademia Medyczna) nad konstrukcją prototypu tomografu NMR.

Rektor Akademii Medycznej w Poznaniu, prof. J. Wójtowicz, w swym bogato ilustrowanym referacie pt. „Porównanie obrazów uzyskanych metodami tomografii NMR i promieni Roentgena” pokazał aktualne możliwości konstruowanych i eksploatowanych na Zachodzie tomografów NMR. Rozwój tej metodyki doprowadził do tak dużego zapotrzebowania na tomografy NMR, że obecnie kilkanaście firm światowych oferuje swe wyroby. Za ich pomocą wykonano wiele różnorodnych badań prawie wszystkich narządów człowieka (głównie mózg, serce, wątroba, kości). We wszystkich pracach podkreśla się możliwości wykrycia zmian nowotworowych w tkankach poprzez obrazowanie oprócz rozkładu gęstości protonów także ich czasów relaksacji T_1 i T_2 . Według opinii prof. Wójtowicza w wielu przypadkach ta niezwykle ważna metoda będzie stosowana zamiast rentgenowskiej tomografii komputerowej.

Po przerwie wykorzystanej na zwiedzanie Pracowni Radiospektroskopii Klinicznej, cykl referatów rozpoczął prof. W. Michałkiewicz z Instytutu Ginekologii i Położnictwa AM w Poznaniu, który w wystąpieniu zatytułowanym „Radiospektroskopia kliniczna” przedstawił bogaty materiał eksperymentalny, stanowiący dorobek Pracowni Radiospektroskopii Klinicznej. Z badań czasów relaksacji T_1 i T_2 w tkankach normalnych i zmienionych nowotworowo uzyskiwanych drogą operacji w Instytucie Ginekologii i Położnictwa można już w czasie trwania operacji wyciągnąć wnioski o charakterze usuwanej tkanki. Jest to możliwe tylko wtedy, gdy urządzenie pomiarowe — relaksometr NMR jest pod ręką. Opublikowane w kilku pracach naukowych i zreferowane na szeregu konferencjach rezultaty badań są dalszym po-

twierdzeniem wcześniejszych doniesień literaturowych o zmianie czasów T_1 , T_2 oraz indeksu złożliwości A tkanek nowotworowych w porównaniu z normalnymi. Celem lepszego ujęcia statystycznego rezultatów, zespół prof. W. Michałkiewicza rozpoczął używanie wektora

$$W = \frac{T_1}{T_{1sr}} i + \frac{T_2}{T_{2sr}} j$$

do charakteryzowania zmian patologicznych. Na przykładzie analiz kilkunastu szyjek macicy pokazano, że próbki pobrane z obszarów, które zostały rozpoznane jako nowotworowe, miały wektor W znacznie dłuższy od najdłuższego znalezionej dla próbek zdrowych (pobranych nawet z obszaru najbliższego do tkanek nowotworu).

Referat prof. R. Klimka z Instytutu Ginekologii i Położnictwa AM w Krakowie „Etiopatogeneza raka a teoria onkogenezy” był próbą nowego podejścia do zagadnienia powstawania komórek nowotworowych. Autor zapoznał zebranych ze swą hipotezą powstawania centrów zmian nowotworowych, w której wykorzystuje teorię dysypacji energii w układach otwartych. Tymi układami otwartymi, wg prof. Klimka, są np. komórki zdrowe, które poddane działaniu czynników zewnętrznych mogą stać się złącznikiem centrów nowotworowych. Pokazanie szeregu obrazów tomograficznych było bardzo ciekawym uzupełnieniem referatu.

Ostatni referat sympozjum „Mikrofalowa terapia raka” wygłoszony przez prof. J. Stankowskiego z IFM PAN zwrócił uwagę słuchaczy na zastosowanie techniki mikrofalowej w walce z rakiem. Odpowiednio zogniskowana wiązka mikrofalowa jest intensywnie pochłaniana szczególnie przez nowe, szybko rozwijające się komórki nowotworowe. Pochłonięta energia jest wystarczająca do zniszczenia ogniska nowotworu.

Sympozjum zakończyła dyskusja ogólna. Zabierający głos lekarze oraz specjaliści z dziedziny fizyki i cybernetyki byli zgodni co do celowości podjęcia prac nad konstrukcją polskiego tomografu NMR. Inicjatywa przedstawiona przez fizyków i elektroników poznańskich z Instytutu Fizyki Molekularnej PAN ma, zdaniem uczestników Sympozjum, szansę na pomyślne zakończenie. W dyskusji wypłynęła także sprawa szybkiej produkcji prostego relaksometru do pomiarów czasów relaksacji T_1 i T_2 próbek uzyskiwanych w trakcie operacji. Zdaniem specjalistów zapotrzebowanie na tego rodzaju urządzenie będzie bardzo duże. Podsumowując dyskusję prof. J. Kołodziejczak zapowiedział dalszy rozwój współpracy fizyków z lekarzami w celu doskonalenia metod diagnostycznych i lepszego zrozumienia wielu procesów patologicznych.

Narcyz Piślewski

Instytut Fizyki Molekularnej PAN
Poznań

Międzynarodowa konferencja materiałów miękkich magnetycznie w Eger

Konferencja materiałów miękkich magnetycznie, która odbyła się w Eger (Węgry) w dniach od 6 do 9 września 1983 r. należała do największych konferencji magnetycznych, zorganizowanych w Europie w 1983 r. Zgromadziła ona ponad 200 naukowców z 19 krajów, którzy przedstawili ogółem 173 referaty (z czego 28 autorzy polscy), w tym 11 referatów zamówionych przez organizatorów i prezentowanych na sesjach plenarnych, a pozostałe — na sesjach plakatowych.

Konferencja w Eger odbyła się pod auspicjami Europejskiego Towarzystwa Fizycznego i była szóstą z rzędu po analogicznych konferencjach zorganizowanych w Turynie (1973), Cardiff (1975), Bratysławie (1977), Münster (1979) i Grenoble (1981).

Cechą charakterystyczną tej Konferencji, odróżniającą ją w istotny sposób od innych konferencji magnetycznych, jest liczny udział naukowców z przemysłu. Nie ulega bowiem wątpliwości, że spośród wielu grup materiałów magnetycznych, głównie magnetyki miękkie należą do najszerzej wykorzystywanych w technice.

Do materiałów magnetycznie miękkich zalicza się ferromagnetyki i ferrimagnetyki wymagające stosunkowo słabych pól w procesie ich magnesowania lub rozmagnesowania. Obejmują one materiały tak ważne z technicznego punktu widzenia jak transformatorowe stale krzemowe, ferryty i wchodzące dopiero do techniki materiały amorficzne i drobnokrystaliczne. W przeciwieństwie do konferencji poprzednich, na konferencji w Eger tematyka związana z materiałami amorficznymi wyraźnie dominowała. Materiałom tym poświęcono aż 75 referatów. Gorące dyskusje toczące się zarówno w czasie sesji plenarnych, plakatowych czy przede wszystkim w czasie dwu spotkań okrągłego stołu (jedna z nich obejmowała materiały konwencjonalne, a druga — własne materiały amorficzne) dotyczyły z jednej strony takich problemów, jak opis struktury energetycznej stopów amorficznych, wzbudzenia w układach amorficznych, nieporządek chemiczny i strukturalny a własności magnetyczne, a z drugiej strony — ewentualnych zastosowań stopów amorficznych. Temu ostatniemu zagadnieniu był poświęcony referat plenarny R. Hasegawy, przedstawiciela firmy „Allied Chemical”, która pierwsza w r. 1976 wprowadziła na rynek taśny szkielec metalicznych pod handlową nazwą METGLAS. W referacie tym, ilustrowanym pięknymi przezroczami prototypów, a niekiedy już produktów seryjnych, przyrządów i urządzeń elektrycznych i elektronicznych, w których wykorzystano taśny szkielec metalicznych, pokazano ogromne możliwości praktycznego wykorzystania magnetyków amorficznych. W dyskusji na temat zastosowań, wiele miejsca poświęcono zagadnieniom, nad którymi rzadko się dyskutuje w środowisku fizyków, a mianowicie zagadnieniom czy i o ile nowe materiały (chodziło tu głównie o taśny amorficzne) są tańsze od materiałów konwencjonalnych, to czy ich ewentualne zastosowanie w technice przyczyni się do oszczędności energii itp. Udział w tych dyskusjach był dla polskich fizyków (a było ich w Eger 13) bardzo pouczającą lekcją myślenia ekonomicznego.

Uczestnicy z Polski zostali zaproszeni do wygłoszenia dwóch referatów plenarnych (pozostałe 9 wygłosili przedstawiciele Europy Zachodniej, Japonii i USA). Jeden z nich dotyczył materiałów konwencjonalnych: „Soft Magnetic Ferrites — Development or Stagnation” (J. Kulikowski z Biura Badawczego ZMM „Polfer”), a drugi materiałów amorficznych „Magnetostriction of Amorphous Magnetic Materials” (H. K. Lachowicz, H. Szymczak z IF PAN).

Problem magnetostrykcji stopów amorficznych jest szczególnie istotny z punktu widzenia możliwości wykorzystania tych materiałów w elektronice. Wysiłki zarówno fizyków, jak i techników zmierzają do otrzymania stopów amorficznych o zerowej magnetostrykcji liniowej. Niezerowa magnetostrykcja prowadzi do powiększenia pola koercji, zmniejszenia przenikalności początkowej i w rezultacie ogranicza możliwości wykorzystania tych materiałów w technice. Zrozumienie więc źródeł magnetostrykcji jest w przypadku materiałów amorficznych znacznie ważniejszym problemem niż w przypadku materiałów krystalicznych, dla których magnetostrykcja nie ma tak istotnego wpływu na parametry użytkowe materiału jak w przypadku materiałów amorficznych.

Drugim problemem skupiającym uwagę fizyków i techników, zajmujących się materiałami amorficznymi, jest problem efektów czasowych występujących w tych materiałach i poważnie ograniczających możliwości praktycznego ich wykorzystania. Problemowi temu poświęcony był referat przeglądowy prof. H. Kronmüllera (RFN) „Magnetic After-effects, Induced Anisotropies and the Role of Two-level-systems in Amorphous Alloys”. W referacie tym wykazano, że zarówno opóźnienie magnetyczne, jak i anizotropia indukowana oraz zmiany w procesie wygrzewania niskotemperaturowego mogą być w znacznym stopniu wyjaśnione przy założeniu istnienia w stopach lokalnych dwupoziomowych centrów. Hipotezę o istnieniu takich centrów w zwykłych szklach wprowadził w 1972 r. Anderson. W przypadku szkielec metalicznych, centrami takimi są pary atomów metalu w pobliżu „luk” istniejących w materiale amorficznym (przez „lukę” w materiale amorficznym rozumie się miejsce, do którego można wprowadzić dodatkowy atom lub jon). Zrozumienie mechanizmów odpowiedzialnych za efekty czasowe w szklach metalicznych może prowadzić do likwidacji tych efektów, a więc do stabilizacji czasowej podstawowych parametrów użytkowych szkielec metalicznych.

Konferencja w Eger była doskonale zorganizowana. Wieczorne dyskusje w saunie i na krytym basenie, oddanych do dyspozycji uczestników, nadały spotkaniu charakter szczególnie koleżeński i nieformalny.

Następna konferencja, siódma z kolei, odbędzie się prawdopodobnie w Belgii.

Henryk K. Lachowicz, Henryk Szymczak

Institut Fizyki PAN
Warszawa

R E C E N Z J E

Harrie Massey, **Zderzenia atomowe i cząsteczkowe**, tłumaczył z języka angielskiego Marek Cieplak, PWN, Warszawa 1982, str. 406, cena zł 140,—

W polskiej literaturze naukowej od dawna odczuwano brak podręcznika poświęconego zagadnieniom zderzeń zachodzących w układach atomowych i molekularnych. W podręcznikach akademickich z zakresu fizyki ogólnej, ta problematyka w zasadzie jest ograniczona jedynie do podania klasyfikacji zderzeń i omówienia doświadczenia Francka-Hertza. W żadnym z nich jednak czytelnik polski nie znajdzie omówienia — np. tak ważnego zjawiska zderzeniowego, jakim jest odkryty już w roku 1921 efekt Ramsauera-Townsenda, odgrywający istotną rolę w wyładowaniach elektrycznych w gazach. W ostatnich dziesięcioleciach badania procesów wywołanych przez zderzenia atomów i cząsteczek rozwinęły się lawinowo, co jest związane z gwałtownym rozwojem fizyki laserów gazowych i fizyki plazmy, a także ma związek — i to bardzo ścisły — z badaniami górnych warstw atmosfery ziemskiej i atmosfer innych planet oraz atmosfery słonecznej. W tej sytuacji ukazanie się polskiego przekładu znakomitego podręcznika H. S. W. Massey'a noszącego w oryginale tytuł *Atomic and Molecular Collisions* jest ważnym wydarzeniem na naszym rynku wydawniczym.

Autor — Sir Harrie S. W. Massey, wybitny fizyk brytyjski — wniósł ogromny wkład do fizyki zderzeń atomowych i cząsteczkowych. Oprócz wielu prac oryginalnych o fundamentalnym znaczeniu dla omawianej dziedziny napisał kilka monografii. Wśród nich są tak podstawowe dla fizyków „zderzeniowych” książki jak wydana po raz pierwszy w roku 1949 — wspólnie z N. F. Mottem *The Theory of Atomic Collisions* oraz opublikowana na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych — wspólnie z E. H. S. Burhopem i H. G. Gilbodym — trzytomowa monografia *Electronic and Ionic Impact Phenomena*, stanowiąca istną kopalnię wiedzy o procesach zderzeniowych w układach atomowych.

Recenzowana książka została napisana jako podręcznik przeznaczony dla studentów pierwszych lat studiów, a więc takich, którzy nie są jeszcze zaznajomieni z podstawami mechaniki kwantowej. Przy takim przeznaczeniu podręcznika Autor miał do pokonania najrozmaitsze trudności. Przede wszystkim, interpretacja eksperymentów zderzeniowych w większości przypadków bezwzględnie wymaga stosowania pojęć kwantowych. Oprócz tego, współczesne badania doświadczalne zderzeń atomowych i cząsteczkowych są oparte na wykorzystaniu licznych zaawansowanych metod pomiarowych, z których prawie każda może stanowić przedmiot oddzielnej monografii. Te względy zmusiły Autora do dokonania odpowiedniego kompromisu w wyborze materiału i sposobie jego przedstawiania. Książka składa się z 14 rozdziałów, 7 uzupełnień oraz skorowidza.

Pierwsze cztery rozdziały są poświęcone omówieniu podstaw klasycznej i kwantowej teorii zderzeń oraz najważniejszych własności atomów i cząsteczek. W piątym rozdziale Autor omawia zjawiska związane z rozpraszaniem powolnych elektronów na atomach, a w szczególności efekt Ramsauera-Townsenda. W dwu kolejnych rozdziałach (6 i 7) przedstawione są szczegółowo zagadnienia związane ze wzbudzeniem i jonizacją atomów pod wpływem ich zderzeń z elektronami oraz problemy dotyczące zderzeń z wychwytem elektronu, które są odpowiedzialne za procesy rekombinacji i przyłączenia. Procesy te odgrywają istotną rolę w zjawiskach zachodzących w atmosferach planetarnych i gwiazdnych a także w gorącej i gęstej plazmie.

Trzy dalsze rozdziały (8, 9 i 10) są poświęcone zderzeniom pomiędzy obojętnymi atomami i cząstecz-

kami. Czytelnika polskiego powinien — moim zdaniem — szczególnie zainteresować rozdział dziewiąty, w którym Autor, opierając się na słynnej pracy K. W. Forda i J. A. Wheelera z roku 1959, szczegółowo omawia mało u nas znane efekty rozpraszania tęczowego, aureoli, orbitowania oraz pewne efekty interferencyjne towarzyszące zderzeniom atomowym. Jest to pięknie napisany rozdział, z którego początkujący czytelnik dowie się o bogactwie informacji na temat oddziaływań międzyatomowych, jakich mogą dostarczyć badania doświadczalne wymienionych tu zjawisk zderzeniowych. Współczesne metody pomiarowe, stosujące technikę wiązek atomowych, są opisane w rozdziale dziesiątym, gdzie również omówiono niektóre wyniki doświadczalne.

W rozdziałach 11 i 12 omówione są zderzenia jonów w gazach, zachodzące przy energiach termicznych oraz zderzenia jonów przy energiach wyższych (rzędu keV) w wiązkach jonowych. Rozdział 13 zawiera szczegółową dyskusję dotyczącą procesów fotojonizacji i fotoodłączenia. Niezwykle interesująco omówiono tu efekt fotoodłączenia elektronu od ujemnego jonu wodoru H^- , który — jak wykazały doświadczenia opisane w tym rozdziale, potwierdzające wcześniejsze obliczenia Batesa, Massey'a i Chandrasekhara — decyduje o charakterze emisji promieniowania Słońca w zakresie długości fal powyżej 500 nm. Ostatni, czternasty rozdział książki jest poświęcony omówieniu roli zderzeń atomowych w zjawiskach zachodzących w jonosferze ziemskiej, koronie słonecznej i przestrzeni międzyplanetarnej.

Książka Massey'a jest napisana jasno i zwięźle. Może ona z dużym pożytkiem służyć studentom fizyki, astronomii, chemii i geofizyki a również wykładowcom jako wprowadzenie do fizyki zderzeń atomowych i cząsteczkowych. Wadą książki jest to, że nie zawiera ona w ogóle bibliografii. Autor nie podaje żadnych odnośników ani do prac oryginalnych ani do monografii, mimo iż w tekście bardzo często powołuje się na wielu badaczy z podaniem ich nazwisk i daty omawianego odkrycia. Szczególnie razi zupełny brak powoływania się na prace, z których brano dane do licznych w tej książce wykresów i rysunków. Z pewnością takie postępowanie zostało podjęte z rozmysłem przez Massey'a, który — sam będąc współautorem kilku znakomych monografii traktujących o zderzeniach atomowych i zawierających ogromną ilość cytowanych pozycji literaturowych — przy pisaniu recenzowanej tu książki przyjął konwencję podręcznika dla początkujących studentów. Mam jednak pretensję do tłumacza i redaktora, że nie wprowadzili przypisów zawierających odnośniki do literatury, co czytelnikowi polskiemu znacznie ułatwiłoby dotarcie do prac oryginalnych.

Tłumaczenie książki jest na ogół poprawne i nie budzi zasadniczych zastrzeżeń. Nie udało się jednak tłumaczowi uniknąć pewnych pomyłek i niezręcznych sformułowań. Oto niektóre przykłady:

15¹⁷ jest „cząsteczki”, powinno być: „cząstki”;

15₈: sformułowanie: „cząstkowa” długość fali jest niewłaściwe;

16₈: niezbyt szczęśliwie: „waga wiedzy”;

20²: niezbyt jasne: „problemy cząstkowe”;

45⁹ i 45₈: proponowany termin „fałastka” brzmi wciąż jednak dziwnie;

46¹¹, 46¹⁶ i 46¹⁷: jest „wzór dyfrakcyjny”, powinno być „obraz dyfrakcyjny”. Podobna uwaga dotyczy wiersza 39¹⁷, gdzie użyto niefortunnego sformułowania: „Pojawi się bardziej lub mniej regularny wzór minimów i maksimów. Jest to tzw. wzór dyfrakcyjny”;

57₁₄, 57₁₁, 57₁₂ i wzory (2.34), (2.35) oraz str. 58²: parametr zderzenia jest oznaczony dużą literą P , zaś w następnym paragrafie ten sam parametr oznaczono małą literą p , ale na str. 61₈, 61₇ i 63₁₃ znowu P (duże).

131₄: wydaje mi się, że zamiast terminu „struktura zderzeniowa” bardziej szczęśliwy jest „kompleks zderzeniowy”. Pozwala to uniknąć niezręczności w zdaniu na 132₈, że „struktura może się rozpaść”;

141₂ i 142¹: jest „szerokość przyrządowa”, wielkość tę przyjęło się nazywać „szerokością instrumentalną”;

155 wzór (7.4a): nie wyjaśniono znaczenia symbolu A' .

158₁ jest „czas życia struktury”, powinno być raczej „czas życia kompleksu”;

207¹²: jest „zderzenia wygaszania”, powinno być „zderzenia wygaszające”;

212, wzór (8.32): po lewej stronie tej reakcji powinno być $A' + B'$ a nie $A' + A'$;

288₁₈: oczywista pomyłka, zamiast „elektron” powinno być „deuteron”;

290₁₉: jest F_u powinno być f_u ;

374₂: pomyłka w numeracji wzoru, jest (14.20) powinno być (14.40);

379₆: jest ϵ powinno być θ ;

385¹: jest „cząsteczki”, powinno być „cząstki”.

Mimo tych uchybień i pomyłek, łatwych do usunięcia w następnym wydaniu podręcznika Massey'a,

uwazam, że polskie tłumaczenie tej książki można w sumie ocenić jako dobre. Warto dodać, że — sądząc z daty umieszczonej w podpisie przedmowy — manuskrypt oryginału został ukończony w listopadzie 1978 r., książkę wydano w Londynie w r. 1979, natomiast przekład polski ukazał się trzy lata później:

Józef Szudy

Instytut Fizyki
Uniwersytet M. Kopernika
Toruń

Sz. Szцениowski, *Fizyka doświadczalna. Cz. IV. Optyka*, wyd. V poprawione i uzupełnione, pod redakcją Tadeusza Hilczera, PWN, Warszawa 1983, str. 524, cena zł 170.—

Recenzowana przeze mnie książka jest jednym z siedmiu tomów stanowiących pełny kurs fizyki dla szkół wyższych. Z podręczników Szцениowskiego korzysta od lat (pierwsze wydanie *Optyki* — 1953 r.) oprócz studentów również wielu młodych pracowników nauki i techniki. *Fizyka doświadczalna Szцениowskiego* jest obecnie jedynym polskim podręcznikiem zawierającym całość podstawowych wiadomości z fizyki na wyższym poziomie. Cieszy się ona uznaniem ze względu na ogrom i rzetelność wiadomości oraz jasność ich opracowania. Cechy te posiada również piąte wydanie *Optyki*, z wyjątkiem jednak par. 45 i początku 46. Omówione to zostanie dalej.

Obecne wydanie składa się z 12 rozdziałów, 113 paragrafów, podczas gdy poprzednie zawierało 10 rozdziałów, 99 paragrafów. W związku z rozwojem fizyki kolejne wydania są unowocześniane, dochodzą paragrafy omawiające nowsze zjawiska. I tak, do wydania z 1971 r. dodano holografie, a wydanie obecne zaktualizowano dodając nieco wiadomości o ciekłych kryształach oraz podstawy optyki nieliniowej.

Rozdziały obecnego wydania to: 1. Optyka geometryczna, 2. Rozszczepienie światła (dyspersja); 3. Przyrządy optyczne, 4. Szybkość światła, 5. Promieniowanie termiczne, 6. Fotometria i luminescencja, 7. Barwy. Widzenie obuoczne, 8. Interferencja światła, 9. Uginanie się (dyfrakcja) światła, 10. Holografia, 11. Polaryzacja światła, 12. Optyka nieliniowa. Układ wymienianych rozdziałów jest prawidłowy a zakres podanych wiadomości bardzo obszerny, uwzględniający nowsze zdobycze, szczególnie gdy chodzi o praktyczne zastosowanie podstawowych praw optyki, np. opis licznych przyrządów. Treść ilustrowana jest wieloma rysunkami — schematami i tabelami.

Opracowanie luminescencji (par. 45), a również część początkowa — par. 46 fotoprzewodnictwo — dziwnie nie pasuje do całości książki. Inne rozdziały i paragrafy zawierają wiadomości wyczerpujące, ścisłe i na ogół aktualne, podczas gdy par. 45 (strony 205—211) zawiera nieco nieaktualnych, a często wręcz błędnych, podanych chaotycznie wiadomości z luminescencji.

Przechodząc do szczegółów: na s. 205₄ nie wymieniono wszystkich, nawet tych najbardziej znanych rodzajów luminescencji, jak np. katodoluminescencja. Ma ona od lat wielkie zastosowanie (wszelkiego rodzaju lampy oscyloskopowe, monitory, telewizory); s. 205—206: określenie fluorescencji jako świecenia bez bezwładności jest nie tylko nienaukowe ale i błędne. Występuje przecież w niskich temperaturach (przejścia wzbronione) fluorescencja długożyciowa; s. 206: oprócz poprawnego określenia luminescencji przez Wawilowa, które zwraca uwagę na różnice między luminescencją a świeceniem termicznym oraz rozproszaniem i promieniowaniem Czerenkowa, trzeba przy omawianiu różnicy między fluorescencją a fosforescencją wziąć pod uwagę określenie J. i F. Perrinów, oraz schemat energetyczny A. Jabłońskiego wyjaśniający te różnice. Określenia te i schemat cytowane są nie tylko w pracach specjalistycznych — ściśle naukowych, ale również w licznych monografiach np. *Luminescencja fosforów krystalicznych* (tłumaczenie i uzupełnienie A. Wrzesińskiej), PWN, Warszawa 1965, w monografii A. Wrzesińskiej *Foto i elektroluminofoery krystaliczne*, PWN, Wrocław 1974 r. i w encyklopediach. Fosforescencja występuje wówczas gdy w stanach energetycznych centrów luminescencji są stany metatrwałe. W przypadku luminoforów fotoprzewodzących rolę tych stanów grają (leżące poniżej pasma przewodnictwa) stany lokalne zwane pułapkami. W doświadczeniu odróżnia się oba zjawiska po tym, że szybkość gaśnięcia fosforescencji wybitnie zależy od temperatury. W zjawisku fosforescencji, a również w termoluminescencji energia cieplna odgrywa jednak pewną pomocniczną rolę; s. 206⁸: nie jest prawdą, że widmo fluorescencji zawsze różni się od widma promieniowania wzbudzającego, istnieje wszak luminescencja rezonansowa; s. 206²⁰: grupy

atomów — defektów struktury odpowiedzialnych za luminescencję nie nazywają się luminoforami, ale centrami luminescencji; s. 207¹¹⁻¹⁵; wiadomości nieściśle. Poza tym od czasu Lenarda (początek XX wieku) były wytwarzane i badane luminofory krystaliczne w wielu laboratoriach świata w tym i w Polsce. W *Postępach Fizyki* ukazało się szereg artykułów dotyczących tego tematu. Między innymi: 7, 183 (1956); 9, 281 (1958); 16, 219 (1965); 19, 63 (1968). Na s. 208¹¹⁻¹⁶ i 212⁴ zupełnie błędnie przedstawiona jest sprawa centrów F (Farbenzentren). Centra te, to nie wbudowany nadmiarowy atom, a twór, którego centrum znajduje się w luce po anionie. Elektron krąży po orbicie, a promień tej orbity zależy od stałej dielektrycznej kryształu i stanu wzbudzenia centrum. Pasma absorpcji centrów F w halogenkach potasowców leżą w obszarze widzialnym widma, stąd zabarwienie tych kryształów, gdy zawierają centra (N. F. Mott i R. W. Gurney *Zjawiska elektronowe w kryształach jonowych*, PWN, Warszawa 1956, lub C. Kittel *Wstęp do fizyki ciała stałego*, PWN, Warszawa 1974, i inne).

Na s. 208: — rys. VI. 19 podpis — Widmo pochłaniania. Brak określenia jakiegoś to fosforu; s. 210₂: Chemiluminescencja znalazła już zastosowanie w lampach czasowego świecenia. Po doprowadzeniu (zapaleniu) dwu odpowiednich substancji lumineszują one przez czas rzędu kilku godzin; s. 212⁵: co może oznaczać zdanie: „pasma F zlokalizowane w centrum F?” Dalsza część zdania też błędna, bo powstaje nowe pasmo i nie chodzi o „pewne” przesunięcie dawnego pasma absorpcji kryształu.

Uwaga — w par. 45 i 46 używa się wymiennie określeń luka i dziura. Należałoby słowo dziura pozostawić, tak jak to zostało zaadaptowane przy omawianiu zjawisk przewodnictwa elektrycznego, na oznaczenie braku elektronu w strukturze pasm o poziomach obsadzonych elektronami, a słowa luka używać na określenie miejsca, gdzie w węźle sieci krystalicznej brak jonu, atomu lub grupy atomów.

W pozostałych rozdziałach i paragrafach *Optyki Szczeniowskiego*, wydanie V, nie stwierdzono błędów merytorycznych. Układ wymienionych paragrafów jest prawidłowy a zakres podanych wiadomości bardzo obszerny. Treść ilustrowana jest licznymi rysunkami i tabelami.

Korekta nie została dokonana bardzo dokładnie. Trudno mi było, bez tekstu oryginalnego, zauważyć wszystkie omyłki, które powinny znaleźć się w erracie, ale kilka najbardziej rzucających się w oczy to:

s. 57: tab. 1.5 kolumna III jest $\frac{a}{b}$ powinno być $\frac{b}{a}$

s. 58: tab. 1.6 „ III jest +1 „ „ -1

s. 222: rys. VII 10 brak pryzmatu P' (błędów tych nie było w wydaniu poprzednim).

s. 254: rys. VIII 2 nie wszystkie oznaczenia na rysunku i w tekście są ze sobą zgodne (na rysunku powinien być punkt D₁).

Wznawianie wydań *Fizyki Szczeniowskiego*, jeśli poprzednie są wyczerpane, jest sprawą ze wszech miar pożyteczną, a nawet konieczną. Należałoby jednak jak najszybciej zastąpić par. 45 „Luminescencja” nowym jego opracowaniem zawierającym podstawowe osiągnięcia i problemy z zakresu luminescencji w aktualnym ich stanie i rozumieniu. Jako podstawa do tego mogłyby służyć opracowane w 1962 r. dla *Wielkiej Encyklopedii Powszechnej* i występujące tam hasła Luminescencja i Luminofory. Oczywiście pewne rozszerzenie i wzbogacenie wynikami aktualnych badań byłoby potrzebne. Poprawić również należy kilka błędów merytorycznych na str. 211—213.

Apolonia Wrześcińska

Wyższa Szkoła Pedagogiczna
Opole

Odpowiedź na recenzję książki **Holografia optyczna** pod redakcją M. Pluty

Z przeszło rocznym opóźnieniem otrzymałem (jako prenumerator!) zeszyt *Postępów Fizyki*, w którym znajduje się recenzja [1] książki *Holografia optyczna*, wydanej przez PWN pod moją redakcją naukową. W tymże zeszycie jest zamieszczony list do czytelników „Od Redakcji”, omawiający m. in. życzenie zespołu redakcyjnego *Postępów* kierowane pod adresem recenzentów. List ów zachęcił mnie do wypowiedzi, co myślę o wspomnianej wyżej recenzji.

Przede wszystkim jest to recenzja w szczegółach wielce wnikliwa. Jednakże znajduje się w niej dużo niesłusznych uwag krytycznych.

Czytelnicy *Postępów Fizyki* nie znają pierwszej wersji recenzji przesłanej mi do wglądu przez Redakcję. Zabrałem się wówczas do pisania recenzji o recenzji, ale po napisaniu kilku stron ograniczyłem się ostatecznie do listownego powiadomienia Redakcji *Postępów*, iż recenzja E. Jagoszewskiego zawiera istotne błędy merytoryczne. To samo powiedziałem Recenzentowi, kiedy okazjnie spotkałem się z Nim w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej. Część z tych błędów została samokrytycznie dostrzeżona i usunięta, ale niektóre zachowały się na trwałe w opublikowanej skróconej wersji recenzji [1]. I tym razem nie mam zamiaru szczegółowo ustosunkowywać się do zarzutów Recenzenta, pragnę jedynie wskazać na charakterystyczne fragmenty Jego recenzji, które mogą w oczach czytelnika dyskwalifikować *Holografie optyczną*. Mam przy tym na uwadze tych czytelników, którzy nie mają tej książki pod ręką (jej nakład jest już dawno wyczerpany), by zajrzeć do niej i skonfrontować punkt po punkcie z recenzją stawiane zarzuty.

I tak, E. Jagoszewski dziwi się, że w odległości $z=160\ \mu\text{m}$ za cząstką o średnicy $d=10\ \mu\text{m}$ występuje dyfrakcja fraunhoferowska. Podważa więc słuszność warunku $z \geq d^2/\lambda$ powszechnie znanego tym, którzy praktycznie zajmują się dyfraktometrią. Zresztą niektórzy przyjmują nawet mniejszą odległość, a mianowicie $z \geq d^2/2\lambda$ (λ — długość fali świetlnej). W innym zaś miejscu Recenzent stwierdza, że dwukrotnie wprowadzono definicję zespolonego współczynnika załamania, ujawniając przy tym swą niewiedzę, iż istnieje nie jedna, lecz kilka definicji wspomnianego współczynnika, a zależy to od tego, co zostanie wstawione do części urojonej (współczynnik pochłaniania, współczynnik ekstynkcji, iloczyn współczynnika załamania i współczynnika ekstynkcji, ...), przy czym między częścią rzeczywistą i częścią urojoną może być zastosowany znak plus [2,3] albo minus [4,5]. Przyjęcie takiej czy innej definicji zależy od rozpatrywanego zagadnienia. Należy ponadto wiedzieć, iż w nazewnictwie dotyczącym zjawisk pochłaniania (osłabiania) światła panuje duża niejednorodność. To, co u jednych autorów jest współczynnikiem ekstynkcji, według innych zwie się współczynnikiem pochłaniania (lub absorpcji) [6]. W słownictwie angielskim występują następujące nazwy: *absorption coefficient* (K), *extinction coefficient* ($\kappa=K\lambda_s/4\pi$, λ_s — długość fali świetlnej w ośrodku) i *absorption index* ($n\kappa$, n — współczynnik załamania ośrodka [4,6]). Niektórzy autorzy utożsamiają *extinction coefficient* z *attenuation index* [2], według innych zaś *extinction coefficient* = *absorption coefficient* + *scattering coefficient* [5]. W naszym ojczystym języku występują dodatkowe nieporozumienia wynikające stąd, że angielskie terminy: *coefficient* i *index* są tłumaczone jako „współczynnik”, a *absorption coefficient* (K) oznacza co innego niż *absorption index* ($n\kappa$).

Wiele krytycznych uwag Recenzent wnosi do terminologii stosowanej w *Holografii optycznej* i arbitralnie narzuca swoją jako poprawną. Nie miejsce tutaj na szerszą polemikę, ale osobiście uważam, że bardziej logiczna jest nazwa „częstość kąтова”, niż „częstość kołowa” (*notabene* w podstawowym dziele optycznym w skali światowej [2] jest *angular frequency*) oraz nazwa „obrazowanie”, niż „odwzorowanie”; wszak jest „obraz”, a nie „wzór” (w domyśle optyczny). Recenzent nakazuje skreślić stałą dielektryczną, który to termin podałem w nawiasie, obok przenikalności elektrycznej, jako nadal jeszcze używany [2], następnie poucza, kiedy wiązka świetlna padająca na przedmiot jest wiązką przedmiotową, a kiedy nią jeszcze nie jest (kwestia nadająca się raczej do dysputy scholastycznej!); kwestionuje oznaczenia różnych wielkości tymi samymi symbolami, jakby nie zdawał sobie sprawy z tego, iż alfabet łaćniński i grecki zawierają dalece niewystarczającą liczbę liter, by nimi obdzielić setki pojęć i wielkości fizycznych. Natomiast należy się zgodzić z Recenzentem, iż rażąca usterką jest oznaczenie tej samej wielkości w tym samym paragrafie dwoma różnymi znakami. Nie podaje jednak, w którym to paragrafie zauważył.

Ze swej strony pragnę w tym miejscu zaznaczyć, że w pracy zbiorowej ujednolicenie oznaczeń i terminologii jest niemożliwe, gdyż w rezultacie musiałby ją w całości napisać jeden autor. Zresztą niektóre różne oznaczenia tych samych wielkości, ale występujących w różnych rozdziałach, świadomie dopuszczono, by ułatwić czytelnikowi ewentualne studiowanie literatury źródłowej cytowanej w danym rozdziale.

Recenzent często powtarza, że czegoś nie rozumie, że coś jest niejasne lub wątpliwe, jednakże nie uzasadnia dlaczego. Tego rodzaju uwagi krytyczne pozostawiam więc bez komentarza. Nie zgadzam się natomiast, a nawet z całą mocą protestuję, by na podstawie jednego zdania, stylistycznie rzeczywiście niezgrabnie sformułowanego, wyrokować, o „splendorze książki”. Właśnie styl językowy jest w ogólności jej dobrą wizytówką. To samo należy powiedzieć o szacie graficznej, która wypadła nadspodziewanie dobrze wbrew moim i Wydawnictwa obawom. Recenzent jednak jest odmiennego zdania i stwierdza, że „niektóre rysunki są trudno czytelne z racji zróżnicowania kontrastu (np. częściowo rys. 11.30 lub rys. 4.3)”

oraz „spotkać można słabe jakościowo zdjęcia (por. np. rys. 2.4 z rys. poz. [2.2])”. Na potwierdzenie powyższego stwierdzenia należało wskazać najbardziej kiepskie rysunki, a nie „częściowo” nieczytelne. Wnikliwie wpatrywałem się we wskazane rysunki, ale owej nieczytelności nie zdołałem dostrzec. Fotografia 2.4 jako kopia oryginału jest oczywiście mniej kontrastowa od pierwowzoru, ale wszystkie istotne szczegóły są zachowane. Następnie Recenzent nie dostrzega na rys. 17.6 i 17.7 badanego obiektu. A cóż akurat może oznaczyć obszar zakropkowany, kiedy jest mowa o badaniu małych cząstek, np. kropelek mgły? Z kolei uskarża się na brak strzałek określających bieg promieni świetlnych, „przez co rysunek staje się mniej czytelny”. W ogólności jest to prawda, ale Recenzent wskazuje na rys. 14.5, gdzie jest wszystko jasne, bo oko obserwatora (zaznaczone na rysunku) wskazuje kierunek biegu promieni świetlnych. Wobec takich banalnych i przy tym niesłusznych uwag nasuwa się pytanie, czy recenzja E. Jagoszewskiego spełnia życzenia Redakcji *Postępów Fizyki* wypowiedziane we wspomnianym już liście „Od Redakcji”?

Poza tym Recenzent ma szereg zarzutów co do sposobu zapisu i liczby cytowanych pozycji literaturowych. Nie podoba Mu się, że w rozdz. 1 występuje 15 cytowań, a w rozdz. 3 — 160. Odpowiem, że jest ich tyle, ile wymagały treść i układ tych rozdziałów. Ale zupełnie nie rozumiem postawy Recenzenta uważającego za niewłaściwe zacytowanie pracy (*notabene* napisanej przez autora pracującego od dawien dawna w tym samym instytucie co Recenzent), która w chwili oddania *Holografii optycznej* do druku nie ukazała się jeszcze na półkach księgarskich. Jednakże maszynopis tej pracy znałem, wiedziałem, kiedy się ukaże i uznałem za stosowne ją zacytować, gdyż tego wymagał odpowiedni akapit rozdz. 1 *Holografii. Wstępu do holografii* Jagoszewskiego nie zacytowano, gdyż nikt z zespołu autorskiego *Holografii optycznej* nie znał tego skryptu w chwili, kiedy recenzowana książka została ostatecznie zredagowana. Monografię H. M. Smitha (red.) *Holographic Recording Materials* usiłowano uwzględnić przy okazji korekty „szczotkowej”, ale akurat po rozdz. 3 *Holografii optycznej* nie było pustego miejsca nawet na jeden jedyny wiersz dodatkowego tekstu (proszę sprawdzić!), by nie psuć składu.

Recenzent wspomina, że sporządził „wykaz zauważonych usterek i uwag (około 100 pozycji), z których najistotniejsze” podaje w opublikowanej recenzji [1]. Jaki to był ów wykaz 100 pozycji, wspomniałem o nim na wstępie. Tych „najistotniejszych”, opublikowanych usterek i uwag jest około 30. Z tej trzydziestki tylko kilka należy uznać za słuszne. Dotyczą one przede wszystkim oczywistych błędów, które zakradły się do następujących równań: 1.2c (gdzie zamiast E powinno być D), 2.47 (gdzie powinno być $x \cos \alpha_1$), 6.2 i 6.3 (gdzie zamiast $\mu = \lambda_1 / \lambda_2$ i $z_1 - z_2$ powinno być $\mu = \lambda_2 / \lambda_1$ i $z_2 - z_1$) oraz 9.10 (gdzie licznik zamieniono z mianownikiem, powinno więc być $v = l / \lambda p$). Trzy uwagi dotyczące rozdz. 7 są raczej dyskusyjne, a pozostałe z owych trzydziestu są niesłuszne, bezpodstawne, a nawet błędne.

Na zakończenie parę wyjaśnień i sprostowań. Odpowiedni rozdział poświęcony interferometrii holograficznej przedmiotów przezroczystych był przewidziany, ale autor najbardziej wówczas predysponowany do jego napisania nie wywiązał się z przyjętego zobowiązania, sprawił redaktorowi naukowemu i Wydawnictwu sporo kłopotu, gdyż w ostatniej chwili należało powstałą lukę wypełnić innym materiałem, by zachować już ostatecznie opracowany układ książki. W tej sprawie Recenzent nie wnosi nic nowego w stosunku do tego, co powiedziałem w posłowie do *Holografii Optycznej* (str. 600).

Do napisania tej książki zostały zaproszone wszystkie krajowe ośrodki, które z chwilą powstania jej projektu zajmowały się hologafią (1973 r.). Wówczas ośrodek wrocławski (Instytut Fizyki Pol. Wrocł.) dopiero zaczynał zajmować się tematyką holograficzną i na ogólnokrajowej konferencji „Holografia — jej zastosowania w nauce i technice” występował jako obserwator. Wypowiedź Recenzenta: „Szkoda tylko, że w opracowaniu tym nie uczestniczył ośrodek wrocławski...” jest skierowana pod niewłaściwym adresem. Ze swej strony mogę zapewnić, że gdyby projekt *Holografii optycznej* powstał parę lat później, Instytut Fizyki Pol. Wrocł. na pewno w jej opracowaniu nie zostałby pominięty.

Recenzent niezbyt dokładnie przeszedł spis autorów *Holografii optycznej*. Wśród nich nie ma pracownika z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN i Instytutu Fizyki UJ, jak błędnie w recenzji [1] podano. Nie wymieniono natomiast autorek z Instytutu Chemii UW (rozdz. 5) i autora z Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej PW (rozdz. 6).

Literatura

- [1] E. Jagoszewski, *Postępy Fizyki* 33, 293 (1982).
- [2] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics* (6th edition), Pergamon Press, Oxford 1980.
- [3] Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna. Cz. V. Optyka* (wyd. 5), PWN, Warszawa 1983.

- [4] R. S. Longhurst, *Geometrical and Physical Optics* (2nd edition), Longmans, Green and Co., London 1967.
- [5] Ch. S. Williams, O. A. Becklund, *Optics. A Short Course for Engineers and Scientists*, Wiley-Interscience, New York 1972.
- [6] H. Piller, *Microscope Photometry*, Springer-Verlag. Berlin—Heidelberg—New York 1977.

Maksymilian Pluta

Centralne Laboratorium Optyki
Warszawa

K R O N I K A

P T F

Oddział Rzeszowski

Dnia 16 grudnia 1982 dokonano wyboru Zarządu Oddziału w następującym składzie: przewodniczący — Adam Drzymała, z-ca przewodniczącego — Ryszard Kępa, sekretarz — Władysław Proszak, skarbnik — Janina Haładaj.

Władysław Proszak

Nowi profesorowie

Rada Państwa mianowała nowych profesorów. Tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego nauk fizycznych otrzymali: Jerzy Blicharski (Uniwersytet Jagielloński), Jarosław Piasecki (Uniwersytet Warszawski), Jerzy Rafałowicz (Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu).

Wręczenie nominacji odbyło się 26 listopada 1983.

Nagroda Nobla 1983

Nagrodę Nobla z fizyki w r. 1983 otrzymali dwaj astrofizycy amerykańscy: prof. Subrahmanyan Chandrasekhar z Uniwersytetu w Chicago (Enrico Fermi Institute) i prof. William Alfred Fowler z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego (Caltech) w Pasadenie (W. K. Kellogg Radiation Laboratory) za swój wkład w rozwój astrofizyki gwiazdowej. Wysokość Nagrody każdego z nich wyniosła półtora miliona koron szwedzkich, tj. ok. 193 tys. dolarów.

Wydaje się, że Nagroda została przyznana raczej za całokształt wybitnego, bardzo bogatego i wieloletniego ich dorobku niż za jakieś jedno

spektakularne osiągnięcie, choć w dorobku Chandrasekhara jedno osiągnięcie z pewnością się wyróżnia.

Fakt, że w ciągu ostatnich ośmiu lat aż pięć osób otrzymało Nagrodę Nobla za prace w dziedzinie astrofizyki (w r. 1975 A. Hewish za odkrycie pulsara, w r. 1978 A. A. Penzias i R. W. Wilson za odkrycie promieniowania relikтового oraz w r. 1983 omawiani tutaj dwaj astrofizycy), można uważać za wyraz uznania dla szybkiego obecnie rozwoju tej dziedziny nauki i wzrostu jej znaczenia.

S. Chandrasekhar urodził się w 1910 r. w Lahore w Indiach (obecnie miejscowość ta znajduje się na terenie Pakistanu). Uniwersytet ukończył w Madras w 1930 r., skąd w tym samym roku przeniósł się na Uniwersytet w Cambridge w Anglii, gdzie w r. 1933 uzyskał doktorat w zakresie fizyki teoretycznej. W r. 1937 przeniósł się na Uniwersytet w Chicago, gdzie w r. 1943 został profesorem zwyczajnym i pracuje do chwili obecnej.

Chandrasekhar od początku swej pracy zajmował się astrofizyką teoretyczną, głównie budową i ewolucją gwiazd. Niewątpliwie najgłośniejszym jednak jego osiągnięciem jest odkrycie istnienia masy granicznej (tzw. granica lub masa Chandrasekhara), która rozdziela dwie bardzo różne, ze względu na ewolucję, klasy gwiazd. Gwiazdy o masie mniejszej od tej granicy (wynoszącej niewiele ponad masę Słońca, 1,2—1,4 jego masy), po stosunkowo „łagodnej“ ewolucji, kończą jako białe, a potem czarne karły. Do tej klasy należą też nasze Słońce, które białym karłem stanie się za ok. 5 miliardów lat. Będzie miało wtedy promień ok. 100 razy mniejszy niż obecnie (tzn. rzędu promienia Ziemi), a gęstość w swoim środku — rzędu 10^8 g/cm³. Gwiazdy o masie większej od granicy Chandrasekhara przechodzą przez fazę gwałtownego wybuchu i kończą jako gwiazda neutronowa lub czarna dziura. Odkrycia swego dokonał Chandrasekhar bardzo wcześnie, w wieku 20 lat (1930 r.). Przyjmowane ono było przez astronomów z dużymi oporami. Znany jest fakt odrzucenia tego wyniku przez wielki autorytet astro-



Subrahmanyan Chandrasekhar

nomiczny i fizyczny owych lat, Sir Arthura S. Eddingtona, i wieloletniej kontrowersji między nim a Chandrasekharem na ten temat (por. artykuł K. C. Waliego w *Physics Today*, paźdz. 1982. Wali pisze obecnie biografię Chandrasekhara).

Chandrasekhar napisał sześć podstawowych monografi z zakresu astrofizyki i fizyki teoretycznej. Między innymi w r. 1983 wydał fundamentalną książkę o czarnych dziurach: *The Mathematical Theory of Black Holes*. Może być ciekawostką, że z jego monografii o figurach równowagi obiektów astronomicznych (*Ellipsoidal Figures of Equilibrium*, Yale Univ. Press 1969) istotnie korzystali fizycy jądrowi (głównie W. J. Świątecki z Berkeley, który monografię tę szeroko polecał fizykom jądrowym), przy opisie kształtu szybko obracających się jąder atomowych. Naturalnie, na opis klasyczny takich jąder należy nałożyć czysto kwantową poprawkę powłokową, opis klasyczny stanowi jednak istotne tło.

Nie sposób nie wspomnieć o działalności dydaktycznej i wydawniczej Chandrasekhara. Studentami jego byli m. in. T. D. Lee i C. N. Yang — laureaci Nagrody Nobla w 1957 r. Przez dwadzieścia lat (1952—72) Chandrasekhar redagował podstawowe czasopismo astrofizyczne *Astrophysical Journal*.

Godny uwagi jest związek Chandrasekhara z fizykami polskimi. Interesując się w latach czterdziestych teorią fluktuacji (w związku z jego pracami nad dynamiką gwiazd), przestudiował i bardzo rozpropagował prace Mariana Smoluchowskiego. Bezpośrednim efektem tych studiów był artykuł „Problemy stochastyczne w fizyce i astronomii“, opublikowany w *Rev. Mod. Phys.*



W. A. Fowler

15, 1 (1943). Prace Smoluchowskiego są często cytowane obecnie właśnie dzięki temu artykułowi. Starannie też cytuje prace Cz. Białobrzeskiego, P. Rudzkiego i I. Zlotowskiego (w monografii *An Introduction to the Study of Stellar Structure*, Univ. of Chicago Press 1939). Rozwinięcie i stosowanie prac Smoluchowskiego w zagadnieniach astrofizycznych było m. in. powodem przyznania mu przez Polskie Towarzystwo Fizyczne Medalu Smoluchowskiego za r. 1973 (por. artykuł M. Suffczyńskiego, *Postępy Fizyki* 25, 453 (1974), związany z tym wydarzeniem). Okazją wręczenia Medalu był udział Chandrasekhara w Sympozjum „Promieniowanie i zapadanie grawitacyjne“ jakie odbyło się przy sposobności Nadzwyczajnego Ogólnego Zgromadzenia Międzynarodowej Unii Astronomicznej, urządzonego w Warszawie we wrześniu 1973 r. dla uczczenia pięćsetlecia urodzin Mikołaja Kopernika. Chandrasekhar przebywał w Polsce jeszcze trzy razy. Po raz pierwszy przyjechał w 1962 r. jako uczestnik zorganizowanej przez Leopolda Infelda Międzynarodowej Konferencji Ogólnej Teorii Względności i Grawitacji. Od tego czasu datuje się zainteresowanie Chandrasekhara tą problematyką. Ostatnia wizyta jego w Warszawie — we wrześniu 1981 r. — była połączona z wygłoszeniem odczytu im. Mariana Smoluchowskiego. Na odczyty te, organizowane przez Prezydium i Komitet Fizyki PAN, zapraszani są wybitni uczeni zagraniczni. Swoją odczyt Chandrasekhar poświęcił zagadnieniu czarnych dziur. Obecnie znajduje się w druku jego artykuł

(obok artykułów Marka Kaca i Romana Smoluchowskiego) do książki o Marianie Smoluchowskim, jaka ma się ukazać w serii *Polish Men of Science*.

Drugi z laureatów, W. A. Fowler urodził się w Pittsburghu w 1911 r. Doktoryzował się w Caltech-u w 1936 r. Tam też został profesorem w r. 1946 i tam pracuje do chwili obecnej. Pracę swoją rozpoczął jako doświadczalny fizyk jądrowy. Zajmował się strukturą jąder lekkich i zagadnieniem sił jądrowych. Swą wiedzę jądrową, a także bezpośrednie wyniki swoich pomiarów wykorzystał następnie do zagadnień astrofizycznych, a dokładniej do problemów wytwarzania energii jądrowej oraz powstawania pierwiastków (nukleosynteza) w gwiazdach. To zainteresowanie się Fowlera — fizyka jądrowego zastosowaniami astrofizycznymi wiąże się często z jego zetknięciem się, podczas pobytu w Cambridge (wciąż znowu Cambridge! Jakoś dużo tych laureatów przechodziło przez ten ośrodek i to nie tylko w dziedzinie fizyki, przynajmniej w pewnym okresie) w latach 1954—55, a następnie wieloletnią współpracą i przyjaźnią z brytyjskim astrofizykiem Fredem Hoylem.

Najbardziej znaną i jednocześnie podstawową pracą Fowlera w zakresie nukleosyntezy jest praca wykonana podczas tego pobytu wspólnie z Hoylem i dwojgiem innych astrofizyków brytyjskich: Geoffreyem R. Burbidge i Margaret Burbidge. Opublikowana w *Rev. Mod. Phys.* **29**, 547—650 (1957), oznaczana jest zwykle krótko jako B²FH. (Dostępna jest także w języku polskim, w tłumaczeniu B. Kuchowicza, wydrukowana jako dodatek do *Postępów Techniki Jądrowej* w 1965 r.). Prace nad nukleosyntezą prowadzone były już wcześniej, poczynając od pionierskich prac Bethego z lat 1938—39 (za które, w głównej mierze, otrzymał on Nagrodę Nobla w r. 1967). Praca B²FH dostarczyła jednak pełnego i spójnego opisu procesu nukleosyntezy. Opis ten stał się podstawą prac nad budową wewnętrzną gwiazd oraz ich ewolucją. W B²FH pokazano ponadto, że opisane w niej procesy nukleosyntezy wystarczają do odtworzenia obserwowanego rozpowszechnienia pierwiastków (a dokładniej nuklidów) we Wszechświecie.

Ważnym osiągnięciem B²FH było zaproponowanie dwóch podstawowych procesów nukleosyntezy: procesu powolnego wychwyty neutronów (tzw. procesu *s*, od ang. *slow*) oraz procesu wychwyty szybkiego (tzw. proces *r*, od ang. *rapid*). Proces *s* zachodzi przy małych strumieniach neu-

tronów, gdy pomiędzy dwoma wychwytemi neutronu, jądro zdąży dokonać przemiany β (jeden neutron przejdzie w proton). W procesie *r* (silne strumienie neutronów) jądro wychwytuje wiele neutronów, zanim dokona przemiany β . Jedyne proces *r* jest w stanie doprowadzić do nuklidów cięższych od bizmutu ²⁰⁹Bi. (Zagadnienia nukleosyntezy i rozpowszechnienia pierwiastków omówione zostały bardzo obszernie w cyklu czterech prac przeglądowych B. Kuchowicza, opublikowanych w *Postęпах Fizyki* **22**, 495, 601 (1971); **24**, 669 (1973); **25**, 475 (1974)).

Fowler jest człowiekiem bardzo dynamicznym. Współpracując z wieloma ludźmi z różnych ośrodków, interesuje się właściwie wszystkim co dzieje się w astrofizyce jądrowej. Kilkakrotnie ulepszał obliczenia prowadzące do odtworzenia rozpowszechnienia nuklidów, korzystając z nowych wyników pomiarów jądrowych (przede wszystkim przekrojów czynnych na różne reakcje jądrowe) a także z nowych wyników pomiarów samego rozpowszechnienia. Kiedy została wysunięta hipoteza wyspy nuklidów superciężkich, on także był tym, który badał możliwość syntezy tych nuklidów w wybuchach gwiazdowych, na drodze procesu *r*. Można powiedzieć, że jest jednym z tych, którzy bardzo rozwinięli i wciąż rozwijają astrofizykę jądrową, dziedzinę, która powstała z mariażu fizyki jądrowej z astronomią.

Polskę odwiedził Fowler w r. 1973, z okazji wspomnianego wyżej Sympozjum „Promieniowanie i zapadanie grawitacyjne“.

Obaj laureaci, którzy przekroczyli już siedemdziesiąty rok życia, są nadal bardzo aktywni naukowo.

Zgodnie z wieloletnią już tradycją planujemy zamieścić w *Postęпах Fizyki* ich wykłady noblowskie.

Adam Sobiczewski, Andrzej Trautman

Nagroda Problemów dla Białkowskiego

Redakcja miesięcznika popularnonaukowego *Problemy* przyznaje corocznie nagrody za popularyzację nauki. Wśród laureatów Nagrody *Problemów* 1983 jest Grzegorz Białkowski, profesor Uniwersytetu Warszawskiego, znany specjalista w zakresie teorii cząstek elementarnych. Otrzymał on tę nagrodę za „znakomity cykl książkowy popularyzujący idee współczesnej fizyki i liczne publikacje na ten temat“.

B.W.

Medal Gustava Hertza

Towarzystwo Fizyczne NRD nadało Medal Gustava Hertza za rok 1983 Paulowi Görlichowi w uznaniu jego osiągnięć w badaniach podstawowych i zastosowaniach technicznych zjawiska fotoelektrycznego, za wyjaśnienie zależnych od struktury właściwości kryształów wapniowców i za rozwijanie nowych idei w konstrukcji przyrządów naukowych.

Görlich był długie lata (do 1971 r.) dyrektorem centrum badawczego Zakładów Zeissa w Jenie.

B.W.

Jenaer Rundschau 28, No 3 (1983)

Medal Boltzmannna

Medal Boltzmannna, przyznawany co 3 lata przez Międzynarodową Unię Fizyki Czystej i Stosowanej za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki statystycznej otrzymał w 1983 r. Michael E. Fisher z Cornell University za ogromny wkład w badania przejść fazowych i zjawisk krytycznych a także za rozwijanie metody renormalizacji z wykorzystaniem teorii grup.

B.W.

Phys. Bl. 39, No 10 (1983)

Stulecie urodzin Pieńkowskiego

Polskie Towarzystwo Fizyczne, Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego i Instytut Fizyki PAN urządziły w dniu 21 listopada 1983 wspólne uroczyste konwersatorium dla uczczenia pamięci Stefana Pieńkowskiego, w związku z przypadającą w 1983 r. setną rocznicą jego urodzin i trzydziestą rocznicą śmierci. Konwersatorium odbyło się na Hożej, w Instytucie, którego Pieńkowski był twórcą i dyrektorem przez niemal 35 lat.

Prof. Jerzy Pniewski przedstawił zwięzłą charakterystykę osoby Pieńkowskiego oraz omówił jego działalność jako twórcy i kierownika pierwszej w Polsce wielkiej szkoły fizyków. Prof. Andrzej Wróblewski i prof. Marian Grynberg przedstawili główne kierunki badań prowadzonych na Hożej w okresie od ich ponownego podjęcia po zakoń-

czeniu II wojny światowej aż do czasów obecnych. Prof. Wróblewski omawiał badania w dziedzinie fizyki jądrowej i fizyki cząstek elementarnych, a prof. Grynberg — w dziedzinie fizyki ciała stałego.

B.W.

Stulecie urodzin Wolfkego

Dla uczczenia setnej rocznicy urodzin Mieczysława Wolfkego (1883—1947) Instytut Fizyki Politechniki Warszawskiej i Zarząd Oddziału Warszawskiego PTF zorganizowały w dniu 16 grudnia 1983 wspólne uroczyste seminarium w Instytucie Fizyki PW. Wygłoszono następujące referaty: Maciej Suffczyński — „Wspomnienie o Profesorze Mieczysławie Wolfke“, Łukasz Turski — „He, ^3He , H^+ i co dalej (fizyka niskich temperatur)?“, Andrzej J. Kalestyński — „Profesor Mieczysław Wolfke o optyce pól periodycznych“.

Przypomnijmy, że w *Kronice* 4/83 zamieściliśmy z okazji tej rocznicy notatkę M. Suffczyńskiego poświęconą osobie i działalności Wolfkego.

B.W.

30 lat Instytutu Fizyki PAN

Dnia 20 października 1983 r. Instytut Fizyki PAN w Warszawie obchodził swoje trzydzieste urodziny, bez wielkiego splendoru, ale w wielkiej sali (wykładowej), gdzie z tej okazji odbywała się specjalna, otwarta sesja Rady Naukowej.

Program rozrywkowy nie był przewidziany. Poza elementami humoru sytuacyjnego — które wносиło, np. misterium zawieszania przenośnego mikrofonu na szyi mówców — panowała powaga wspomnień minionych dziesięcioleci i ostatnich lat.

Na sesję, oprócz członków Rady Naukowej i zaproszonych gości spoza Instytutu, przybyło kilkunastu dawnych, emerytowanych pracowników. W gronie obecnie zatrudnionych i doktorantów znaleźli się też — jak to zauważył prof. Sosnowski — ludzie młodszy od Instytutu. Uczestników sesji powitał prowadzący ją prof. Wiesław Wardzyński, przewodniczący Rady Naukowej Instytutu Fizyki PAN i Zakładu Fizyki Teoretycznej PAN.

Pierwszy przemówił prof. Leonard Sosnowski

świadek najstarszej historii Instytutu i jego twórcą. Początki Instytutu, czy właściwie — jak się wyraził prof. Sosnowski — „prapoczątki“ były tematem jego wspomnień.

Ideę Instytutu Fizyki, który po wojnie miał się stać integrującym centrum dla polskich fizyków, propagował Stefan Pieńkowski, „niekwestionowany wówczas przywódca fizyków polskich”. Doczekała się ona realizacji jesienią 1953 r., gdy decyzją Prezydium Rządu został powołany Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk. W pierwszych latach istnienia Instytutu, jego placówki (w Warszawie, Krakowie, Poznaniu, Toruniu i Wrocławiu) nie posiadały własnej bazy. Działalność opierała się na uczelniach. Był to czas zespolenia z dydaktyką i szkolenia nowej kadry. W 1955 r. wskutek powołania Instytutu Badań Jądrowych, połowa potencjału Instytutu Fizyki PAN przeszła do IBJ. Kierunkiem rozwoju Instytutu Fizyki stała się głównie fizyka ciała stałego.

Początki pracy nie były łatwe. Jako symbol trudności zaopatrzeniowych prof. Sosnowski wspomina, że np. oporniki trzeba było samemu nawijać w warsztatach Instytutu.

Chociaż — jak mówił dalej — pełniona przez Instytut „rola katalizatora“ miała ogromne znaczenie dla polskiej fizyki, z czasem rola ta słabła, m. in. ze względu na wzrost naukowych badań prowadzonych przez same wyższe uczelnie. Upadła też koncepcja ogólnopolskiego instytutu. Poszczególne placówki na terenie kraju zaczęły się wyodrębniać. Państwowe decyzje o jednoetatowości, w latach sześćdziesiątych, pogłębiły rozdział od uczelni. Późne lata sześćdziesiąte przyniosły koniec roli katalizatora i roli integrującej. Instytut Fizyki w Warszawie stał się placówką samodzielną.

Obecna lokalizacja na Służewcu, przy Alei Lotników była przydzielona Instytutowi formalnie już w r. 1959, ale budowa trwała długo. Instytut sprowadził się na Służewiec ostatecznie dopiero około piętnaście lat później, przenosząc się z trzech kierunków: ze swojej pierwszej własnej bazy w gmachu „Pasty“ przy ulicy Zielnej, z baraków przy ulicy Pokornej i z gościnnych pracowni uniwersyteckich Instytutu Fizyki Doświadczalnej przy ulicy Hożej.

Na tym etapie — terytorialnego zintegrowania Instytutu — prof. Sosnowski zakończył wspomnienia i do mównicy został zaproszony naczelny dyrektor Instytutu prof. Jerzy Prochorow, który 1 stycznia 1982 r. przejął dyrektorską pałeczkę od prof. Kołodziejczaka. Przedstawił on rozwijające się kierunki badań w Instytucie i osiągnięcia

w okresie minionych pięciu lat, tj. od ostatniego „podsumowania“, do którego okazją był jubileusz dwudziestopięciolecia Instytutu (por. M. Jastrzębska, „25 lat Instytutu Fizyki PAN”, *Postępy Fizyki* 30, 351 (1979)).

Prof. Prochorow rozpoczął od czterech mini-wykładów, prezentujących cztery wybrane prace wykonane w Instytucie. Zwłaszcza trzy ostatnie lata były trudne dla Instytutu. Czy pogłębiające się trudności i stresy społeczne mogą wywrzeć wpływ na poziom prac naukowych? Odpowiedzi na to pytanie szukał prof. Prochorow analizując pewne wybrane wyniki.

Pierwsza praca, to rezultat badań nad zachowaniem w niskiej temperaturze półprzewodnika półmagnetycznego HgMnTe. Poza stwierdzeniem ogromnych zmian wartości magnetooporu uzyskano ciągłe przejścia o charakterze niemetal-metal i metal-niemetal wywoływane przez zmianę tylko pola magnetycznego.

Druga praca: w diodzie elektroluminescencyjnej CdF₂ (domieszkowanej np. gadolinem) zaobserwowano efekt Augera na swobodnych nośnikach; warto podkreślić, że po raz pierwszy udowodniono tu rolę tego efektu w diodzie elektroluminescencyjnej. Świecenie tej diody odbywa się przy złączu w obszarze warstwy zubożonej. Uzyskano możliwość regulacji tego obszaru przez zmianę przyłożonego napięcia.

Kolejna referowana praca — w dziedzinie fizyki molekularnej — ma zastosowanie w genetyce. Metodą spektroskopii matryc izolacyjnych określana jest częstość występowania tautomerów zasad nukleinowych. Celem jest weryfikacja hipotezy, która mówi, że za mutacje spontaniczne odpowiada tautomeria zasad nukleinowych w DNA.

Wreszcie ostatni z wybranych tematów: w dziedzinie fizyki magnetyków opracowano i zastosowano metodę obserwacji domen magnetycznych w bardzo niskich temperaturach, tj. tam, gdzie inne metody zawodzą. Do ustawiania się wzdłuż granicy domen „zmuszono“ zestalony „śnieg“ tlenu cząsteczkowego.

W podsumowaniu prof. Prochorow stwierdził, że omówione prace — przykładowo wybrane wśród innych — zawierają istotne walory prac twórczych, takich jak wielkiej klasy wynik fizyczny, demonstracja nowego efektu, próba przetrzczenia pomostu do innych dziedzin, wreszcie sam pomysł.

Co do potencjału kadry naukowej dyrektor nie widzi zagrożenia dla Instytutu. Instytut nie utracił wysokiej rangi naukowej, odpowiada prof. Prochorow na pytanie, które sam postawił

na początku referatu. A trudności zewnętrzne... Od prozaicznych, „że i dzisiaj nie każdy opornik można dostać“, do zadumy natury ogólnej: jakie będzie miejsce badań podstawowych w naszym kraju.

Druga część przemówienia była już suchym wyszczególnieniem innych osiągnięć i wyliczeniem tematyki rozwijanej w czasie ostatnich pięciu lat w Instytucie. Oto niektóre problemy badawcze:

W dziedzinie fizyki półprzewodników intensywnie kontynuowano badania własności podstawowych półprzewodników wąsko- i szeroko-pasmowych, zwykłych, a w szczególności półmagnetycznych z grupy II—VI, IV—VI, II—V. Warta podkreślenia jest „gwałtowna ekspansja“ tematyki półprzewodników półmagnetycznych poza Instytut i poza granice kraju (m. in. do USA, Japonii, Francji, ZSRR).

W 1980 roku został utworzony prężny Oddział Naukowy Spektroskopii Ciała Stałego. Tematyka wiodąca tego Oddziału, to fizyka stanów domieszkowych w kryształach oraz związanych z nimi procesów rekombinacyjnych.

Magnetyki. W tej dziedzinie nastąpiła w ciągu ostatnich lat istotna reorientacja tematyczna. Dominujące w poprzednim okresie kompleksowe badania domen cylindrycznych i materiałów, w których domeny cylindryczne mogą być generowane, ustępują stopniowo miejsca problematyce materiałów nieuporzadkowanych.

Fizyka molekularna. Wprowadzono tu w 1978 r. zupełnie nową tematykę badania struktury cząsteczek i oddziaływań międzymolekularnych złożonych cząsteczek charakteryzujących się aktywnością biologiczną (m. in. substancje mające znaczenie w leczeniu chorób nowotworowych). Także nowa jest tematyka dynamiki molekularnej w fazie ciekłej i spektroskopii rotacyjnej gazów przy zastosowaniu techniki spektroskopii submilimetrowej. Prowadzone są też m. in. nowe prace teoretyczne z zakresu teorii przejść bezpromienistych.

Fizyka atomowa i optyka kwantowa. W fizyce atomowej uprawianej w Instytucie ostatnie pięciolecie charakteryzowało się wzrostem wykorzystania metod laserowych. Do nowej tematyki należą: efekty nieliniowe w pompowaniu optycznym laserami i polaryzacyjne badania optyczne małych cząsteczek.

Wyodrębniony na początku 1983 r. teoretyczny Zespół Optyki Kwantowej poza kontynuacją dawnych prac rozwija nowe tematy, jak oddziaływanie swobodnych elektronów z polami elektro-

magnetycznymi i prace z elektrodynamiki kwantowej związane z problemami fizyki gwiazd neutronowych.

Środowiskowe Laboratorium Badań Rentgenowskich i Elektronomikroskopowych oprócz działalności badawczo-usługowej prowadzi własne prace naukowe nad defektową strukturą półprzewodników i nad doskonaleniem technik badawczych i diagnostycznych, np. teoretyczne prace w dziedzinie spektroskopii rentgenowskiej, których celem jest oszacowanie udziału różnych procesów elektronowych w powstawaniu izochromat widma ciągłego.

Laboratorium Kriogeniczne jest jedynym na terenie Warszawy dystrybutorem ciekłego helu, a także jest ono wykonawcą urządzeń kriogenicznych (działających również w zakresie ultraniskich temperatur!) dla Instytutu Fizyki i innych instytucji.

Najdalej wysunięta „placówka” badawcza Instytutu dosięgnęła przestrzeni kosmicznej, gdy w 1978 r. zostały przeprowadzone na stacji kosmicznej Salut 6 trzy eksperymenty przygotowane przez Instytut. Stał się on tym samym autorem **pierwszego w kraju eksperymentu technologicznego w kosmosie**. W końcowej fazie są przygotowania (wspólnie z NRD) nowego eksperymentu kosmicznego.

Koordynacja. Instytut jest koordynatorem badań krajowych: koordynatorem I stopnia Problemu Międzyresortowego MR—I. 4 „Struktura i własności elektronowe ciał stałych”, koordynatorem dwóch przedsięwzięć kompleksowych w Programie Rządowym PR—3 „Rozwój materiałów i podzespołów dla potrzeb elektroniczacji kraju” oraz koordynatorem II stopnia problemu „Technologia materiałowa w kosmosie” w Problemie Węzłowym 06. 7. „Rozwój i wykorzystanie badań kosmicznych”. Koordynacja ta, jak określił prof. Prochorow, jest zasłużonym przywilejem dla Instytutu, ale wiąże się z nią także ogromna odpowiedzialność.

Wyrazem uznania dla osiągnięć Instytutu są przyznane nagrody:

W latach 1978—1982 siedmiu pracowników Instytutu otrzymało nagrody Wydziału III PAN, a nagrodami Sekretarza Naukowego w tym samym czasie zostało wyróżnionych 18 instytutowych zespołów badawczych, a w nich 93 osoby z IF PAN.

Wreszcie informacja najczęściej przytaczana w „rozliczeniach”: liczba publikacji. W latach 1978—1981 pracownicy Instytutu opublikowali

296 prac, w tym większość w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

Na koniec prof. Prochorow wspomniał o listach i telegramach, które z okazji jubileuszu napłynęły do Instytutu.

Następny etap sesji — uroczyste rozdanie dyplomów doktorów i doktorów habilitowanych. Do prowadzenia tej części został poproszony prof. Tadeusz Skaliński. Rozdanie dyplomów prof. Skaliński poprzedził krótkim przemówieniem, w którym m. in. przypomniał, że otrzymanie dyplomu i złożenie przyrzeczenia jest, zgodnie z regulaminem, właściwym zakończeniem przedsięwzięcia doktorskiego.

Gdy uroczystość ta dobiegła końca, zabrał głos prof. Robert R. Gałązka — zastępca dyrektora do spraw naukowych. Przypomniał on, że chociaż często mówi się bezosobowo o działalności Instytutu, to składa się na nią wysiłek wszystkich pracowników. Dziękował zwłaszcza długoletnim pracownikom. Podkreślił, że choć praca każdego jest niezbędna, jednak wśród pracowników wyróżniają się szczególnie dwie sylwetki: prof. Sosnowskiego, który tworzył Instytut („tworzył — dobre słowo, bo nie było nic”) i przez trzydzieści lat „ciągle dbał o wysoki poziom i prof. Kołodziejczaka, który na 25 lat swojej pracy w tym Instytucie przez 12 lat był jego dyrektorem. Obaj profesorowie otrzymali kwiaty i pamiątkowe laurki — podziękowania.

Po przerwie uświetnionej pączkami i herbatą w instytutowym klubie „Ekscyton” — odbyła się ostatnia część programu: wykład prof. Macieja Sufczyńskiego „Budowanie kryształów” o wytwarzaniu kryształów przez epitaksjalne nakładanie warstwy po warstwie.

Malgorzata Głódź

XXXII Olimpiada Fizyczna

W XXXII Olimpiadzie Fizycznej (rok szkolny 1982/83) wzięło udział:

w stopniu I	951 uczniów z 291 szkół
w stopniu II teoretycznym	668 uczniów z 230 szkół
w stopniu II doświadczalnym	318 uczniów z 161 szkół
w stopniu III (finale)	75 uczniów z 54 szkół.

Ogólna liczba przystępujących do zawodów olimpijskich w porównaniu z rokiem ubiegłym zmalała

o ok. 40%. Przy porównaniu danych XXX OF i obecnej, XXXII OF, zwraca uwagę ponad dwukrotne zmniejszenie liczby uczestników: z 2054 do 951 oraz znaczne zmniejszenie liczby szkół: z 457 do 291.

Śród finalistów Komitet Główny Olimpiady Fizycznej na posiedzeniu w dniu 27 kwietnia 1983 wyłonił 25 laureatów, którzy uzyskali powyżej 50 punktów na 100 możliwych. Najlepszy uczestnik uzyskał 75 punktów. Rozkład finalistów i laureatów (liczby w nawiasach) na poszczególne klasy był następujący:

	kl. II	kl. III	kl. IV	kl. V	suma
Licea ogólnoksz.	4 (1)	19 (8)	54 (13)	—	77 (22)
Technika zawodowe	—	1 (1)	1 (1)	3 (1)	5 (3).

Największa liczba laureatów pochodzi z okręgu Łódzkiego (5 laureatów) oraz z okręgów warszawskiego i wrocławskiego (po 4). W szczególności należy podkreślić sukces nauczycielki z I LO im. Mikołaja Kopernika w Łodzi, mgr Hanny Szyburskiej, której siedmiu uczniów zakwalifikowało się do finałów Olimpiady, a trzech zostało laureatami.

Podajemy siedmiu pierwszych laureatów:

- 1) Cezary Juszcak, IV kl. XIV LO im. Polonii Belgijskiej (Wrocław), uczeń mgra Mariana Bąka.
- 2) Zbigniew Płuciennik, III kl. IV LO im. im. Szaniackiej (Łódź), uczeń mgr Barbary Pleśiewicz.
- 3) Paweł Susicki, III kl. VIII LO im. Władysława IV (Warszawa), uczeń mgra Mariana Chmielewskiego.
- 4) Olaf Mańczak, IV kl. XLVII LO im. S. Wyspiańskiego (Warszawa), uczeń mgra Jana Grużewskiego.
- 5) Paweł Jałocha, IV kl. I LO im. B. Nowodworskiego (Kraków), uczeń dr Zofii Gołąb-Meyer.
- 6) Krzysztof Mnich, III kl. I LO im. M. Kopernika (Łódź), uczeń mgr Hanny Szyburskiej.
- 7) Janusz Wróbel, III kl. ZSE — Technikum Elektroniczne im. T. Korownikowa, uczeń mgr Stefani Szczępanik.

Pięciu laureatów, zdobywców od II do VI miejsca, reprezentowało Polskę na XIV Międzynarodowej Olimpiadzie Fizycznej w Bukareszcie. Cezary Juszcak (również zdobywca I miejsca w Olimpiadzie Matematycznej) wziął udział w Międzynarodowej Olimpiadzie Matematycznej w Paryżu.

Krystyna Pniewska

XIV Międzynarodowa Olimpiada Fizyczna

XIV Międzynarodowa Olimpiada Fizyczna dla uczniów szkół średnich odbyła się w Bukareszcie w dniach 5—14 lipca 1983 r. Uczestniczyły w niej ekipy z szesnastu państw: Austrii, Bułgarii, Czechosłowacji, Finlandii, Francji, Holandii, Jugosławii, Kuby, NRD, Polski, RFN, Rumunii, Szwecji, Węgier, Wietnamu, i ZSRR. Ponadto był obecny obserwator z W. Brytanii.

Polskę reprezentowali laureaci XXXII Olimpiady Fizycznej — zdobywcy miejsc II-VI (zdobywca I miejsca, C. Juszcak będąc zarazem triumfátorem XXXIII Olimpiady Matematycznej wybrał uczestnictwo w odbywającej się w tym samym czasie w Paryżu Międzynarodowej Olimpiadzie Matematycznej). Aż trzech członków pięcioosobowej drużyny było uczniami klas przedmaturalnych. Opiekę naukową nad polską drużyną sprawowali dr. W. Gorzkowski i dr. A. Nadolny z Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej.

Opiekunowie naukowcy wszystkich ekip tworzyli Międzynarodowe Jury XIV MOF, którego głównym zadaniem było czuwanie nad merytoryczną stroną zawodów. Spośród zaproponowanych przez organizatorów sześciu zadań teoretycznych, Jury wybrało do zawodów cztery jako obowiązkowe oraz jedno pozaregulaminowe (na prośbę organizatorów) i dokonało ich ostatecznego sformułowania — podobnie jak i zadania doświadczalnego.

Po trudach zawodów, które odbywały się na terenie Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Bukareszcie-Magurele, zorganizowano uczestnikom trzydniowy wypoczynek nad Morzem Czarnym. W tym czasie pracowały komisje sprawdzające prace zawodników. Po powrocie do Bukaresztu nastąpiło uzgodnienie ocen z opiekunami naukowymi każdej drużyny i przyznanie nagród oraz wyróżnień przez Jury: siedmiu nagród I stopnia, dziewięciu nagród II stopnia, szesnastu nagród III stopnia i siedemnastu wyróżnień. Polakom przypadły w udziale trzy nagrody II stopnia — zdobyli je P. Jałocha, K. Mnich i Z. Płuciennik — a ponadto nagroda specjalna za zadanie pozaregulaminowe, którą otrzymał K. Mnich.

Wobec rozszerzającego się grona państw biorących udział w międzynarodowych olimpiadach fizycznych, Międzynarodowe Jury postanowiło dla koordynowania organizacji następnych imprez tego rodzaju powołać stałego sekretarza MOF. Został nim dr Waldemar Gorzkowski, sekretarz naukowy Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej. Orga-

nizatorem następnej, XV MOF w 1984 r. będzie Szwecja.

Andrzej Nadolny

Felix Bloch (1905—1983)

10 września 1983 r. zmarł w Zurychu Felix Bloch — jeden z najwybitniejszych fizyków naszych czasów.

Felix Bloch urodził się 23 października 1905 r. w Zurychu. W 1924 r. rozpoczął studia na ETH w Zurychu, początkowo na wydziale inżynierii, a po roku — na wydziale matematyczno-fizycznym. W tym czasie wykładowcami na ETH byli P. Debye i H. Weyl, a na Uniwersytecie — E. Schrödinger. Pod ich wpływem Bloch zaczyna studiować fizykę teoretyczną. Po uzyskaniu dyplomu ETH, przynosi się do Lipska i zostaje pierwszym doktorantem Heisenberga, który sugeruje mu zajęcie się przewodnictwem metali. Rezultatem badań Blocha było sformułowanie jednego z najważniejszych twierdzeń fizyki ciała stałego o wpływie potencjału periodycznego, określonego przez symetrię sieci na funkcje falowe elektronów (jest to tzw. twierdzenie Blocha). Według twierdzenia tego, funkcje własne równania falowego dla potencjału periodycznego mają postać fali płaskiej modulowanej z okresem równym stałej sieci krystalicznej. Wyniki uzyskane przez Blocha stały się podstawą teorii pasmowej ciała stałego. Jest on twórcą jednej z silniejszych metod obliczania stanów elektronowych w kryształach — metody ciasnego wiązania. Uwzględnienie rozpraszania elektron-fonon doprowadziło Blocha do sformułowania zależności oporności elektrycznej metali od temperatury (prawo Blocha T^6 , słuszne w zakresie niskich temperatur).

W 1930 r. Bloch, pod wpływem Heisenberga, rozpoczął prace nad zagadnieniami ferromagnetyzmu. Badając wzbudzenia w układzie spinów elektronowych wprowadził do ich opisu pojęcie fal spinowych. Metoda fal spinowych jest do chwili obecnej jedną z podstawowych metod opisu własności magnetycznych ciał uporządkowanych magnetycznie w obszarze niskich temperatur, a obliczona przez Blocha zależność namagnesowania od temperatury znana jest jako prawo Blocha $T^{3/2}$. W 1932 r. opublikował pracę na temat obszarów oddzielających poszczególne domeny magnetyczne w ferromagnetykach. Udowodnił, że obszary te (tzw. ściany Blocha), w których zachodzi

obrót wektora namagnesowania, mają grubość znacznie przekraczającą stałą sieci materiału.

Po napisaniu pracy doktorskiej (temat: Mechanika kwantowa elektronów w sieci krystalicznej), Bloch odbywa staże naukowe w Utrechcie, Kopenhadze i Zurychu, po czym wraca do Lipska. Rozwój narodowego socjalizmu w Niemczech skłania go do wyjazdu do USA, do Uniwersytetu Stanforda. W USA zajmuje się elektrodynamiką kwantową i rozwijającą się w tym czasie bardzo szybko fizyką jądrową. Rezultatem prac Blocha i skupionych wokół niego fizyków-eksperymentatorów było m. in. wyznaczenie momentu magnetycznego neutronu.

Po wojnie główne zainteresowania badawcze Blocha koncentrują się na magnetyzmie jądrowym. W 1946 r. formułuje on słynne „równania Blocha”, opisujące ruch wektora namagnesowania z uwzględnieniem relaksacji. W tym też roku grupa kierowana przez niego odkryła (niezależnie od grupy kierowanej przez E. M. Purcella), zjawisko rezonansu jądrowego. Za odkrycie to Bloch i Purcell otrzymali w 1962 r. nagrodę Nobla. Równania Blocha stosuje się szeroko zarówno do opisu zjawiska rezonansu jądrowego, jak i rezonansu elektronowego, a w szczególności do opisu tzw. echa spinowego.

Stosunkowo niedawno równania Blocha zastosowano do opisu optycznych zjawisk rezonansowych. Odkryto cały szereg optycznych analogów zjawisk występujących w rezonansie jądrowym i elektronowym. Chodzi tu przede wszystkim o takie optyczne zjawiska rezonansowe jak echo fotonowe, nutacje optyczne czy zjawiska nasyceniowe. Szczególnie płodne okazały się idee echa spinowego, wynikające z równań Blocha. Oprócz wspomnianego echa fotonowego odkryto już echa fononowe i różnego rodzaju echa związane z rezonansem ferromagnetycznym, antyferromagnetycznym, cyklotronowym itp.

W 1949 r. grupa kierowana przez Blocha odkryła efekt przesunięcia chemicznego linii rezonansu jądrowego. Odkrycie to dało do ręki chemikom nową i niezwykle efektywną metodę analizy wiązań chemicznych i struktury cząsteczek.

W latach 1954—55, Bloch był pierwszym dyrektorem generalnym CERN-u.

Idee Feliksa Blocha pozostawiły trwałe ślady w fizyce, a szczególnie w fizyce ciała stałego, której był jednym ze współtwórców.

Henryk Szymczak

Uwaga członkowie PTF

Przypominamy, że opłatę w wysokości 270.— zł za prenumeratę *Postępów Fizyki* na 1985 r. należy wpłacać do kas Oddziałów PTF do końca września 1984 r.

ERRATA

Pragniemy sprostować trzy następujące błędy w artykule J. Hurwica w zeszycie 6/81: w wierszu 6 str. 595 zamiast „Każde z tych pierwiastków” powinno być „Każdy z tych trzech nuklidów”; w wierszu 17 od dołu str. 596 zamiast „na podstawie stosunków” powinno być „na podstawie stosunków He/U i H/Th”; w wierszu 12 str. 598 zamiast „+1” powinno być „-1”. Przepraszamy Autora i Czytelników za błędy oraz za późne ich sprostowanie.

OGŁOSZENIE

Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie odstąpi skraplarkę wodorowo-helową produkcji ZSRR typu: GS-2, rok produkcji 1961. Wydajność skraplarki: 5,0 l/godz. ciekłego helu.

POSTĘPY FIZYKI
(dwumiesięcznik)

Warunki prenumeraty czasopisma:

Cena prenumeraty: półrocznie zł 180.—
rocznie zł 360.—

Prenumeratę krajową przyjmuje się:

do dnia 10 listopada na I półrocze roku następnego i cały rok następny,
do dnia 1 czerwca na II półrocze roku bieżącego.

Instytucje i zakłady pracy zamawiają prenumeratę w miejscowych Oddziałach RSW „Prasa—Książka—Ruch”, w miejscowościach zaś, w których nie ma Oddziałów RSW — w urzędach pocztowych lub u doręczycieli. Prenumeratorzy 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) pocztą zwykłą przyjmuje RSW „Prasa—Książka—Ruch”, Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto NBP XV OM Warszawa, nr 1153-201045-139-11, w terminach podanych dla prenumeraty krajowej.

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

Tylko prenumerata zapewnia regularne otrzymywanie czasopisma

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributors or directly to the Foreign Trade Enterprise ARS POLONA—RUCH, 00-068 Warszawa, Krakowskie Przedmieście 7, Poland. Our banker: Bank Handlowy S. A., Warszawa, Poland.

TREŚĆ

J. Sosnowski — Własności wysokotemperaturowych nadprzewodników o strukturze A15	239
E. Abraham, C. T. Seaton, S. D. Smith — Komputer optyczny (tłum. P. Edelman)	253
RÓŻNE	
A. Trautman — Propozycje i uwagi na temat kształcenia i rozwoju kadr naukowych . . .	271
WSPOMNIENIA ROCZNICE	
P. Zieliński — Pamięci Władysława Natansona (1864—1937)	281
ROZMOWY	
Rozmowa z Arkadiuszem Piekarą — badaczem zjawisk nieliniowych, inicjatorem polskich prac maserowych i laserowych	287
NOWOŚCI NAUKOWE	
K. Rybicki — Odkrycie bozonu W^{\pm}	305
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	
RECENZJE	333
KRONIKA	341

CONTENTS

J. Sosnowski — The Properties of the A15 Type High Temperature Superconductors	239
E. Abraham, C. T. Seaton, S. D. Smith — The Optical Computer	253
MISCELLANEA	
A. Trautman — Proposals and Remarks on the Education and Development of Scientific Staff	271
RECOLLECTIONS-ANNIVERSARIES	
P. Zieliński — In memory of Władysław Natanson (1864—1937)	281
DEBATES	
An Interview with Arkadiusz Piekara: Investigator of Non-Linear Phenomena, Initiator of Polish Works on Masers and Lasers	287
SCIENTIFIC NEWS	
K. Rybicki — Discovery of the Intermediate Boson W^{\pm}	305
MEETINGS AND CONFERENCES	
REVIEWS	333
CHRONICLE	341