

---

PTF

# POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK  
POŚWIĘCONY  
UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY  
FIZYCZNEJ

TOM 39  
ZESZYT 4  
1988

---

ZARZĄD

Prezes

Prof. dr JANUSZ ZAKRZEWSKI

Wiceprezesi

Prof. dr ANDRZEJ OLEŚ  
Prof. dr TADEUSZ SKALIŃSKI

Sekretarz Generalny

Doc. dr STANISŁAW G. ROHOZIŃSKI

Skarbnik

Doc. dr TADEUSZ PNIEWSKI

Członkowie Zarządu

Dr TERESA BIAŁECKA

Doc. dr JERZY DEMBCZYŃSKI

Doc. dr STANISŁAW HAŁAS

Prof. dr STANISŁAW ŁĘGOWSKI

Doc. dr STANISŁAW MICHALAK

Prof. dr JÓZEF TERLECKI

Prof. dr CECYLIA WESOŁOWSKA

oraz redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI — *Postępy Fizyki*

Prof. dr WIESŁAW CZYŻ — *Acta Physica Polonica*

Dr hab. JAN KALINOWSKI — *Delta*

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

Przewodniczący Oddziałów Towarzystwa

Doc. dr MICHAŁ ŚWIĘCKI (Białystok)

Dr BRONISŁAW GRZEGORZEWSKI (Bydgoszcz)

Dr MARTA DUŚ-SITEK (Częstochowa)

Doc. dr JERZY GRZYWACZ (Gdańsk)

Dr hab. MIECZYŚLAW F. PAZDUR (Gliwice)

Doc. dr WIESŁAWA ZAREK (Katowice)

Doc. dr SŁAWOMIR CHOJNACKI (Kielce)

Prof. dr LUCJAN JARCZYK (Kraków)

Doc. dr STANISŁAW HAŁAS (Lublin)

Doc. dr STANISŁAW MICHALAK (Łódź)

Doc. dr MIECZYŚLAW PIERÓG (Opole)

Doc. dr JADWIGA STANKOWSKA (Poznań)

Prof. dr ALEKSANDER SZYMANSKI (Rzeszów)

Dr HENRYK WREMBEL (Słupsk)

Doc. dr TADEUSZ REWAJ (Szczecin)

Prof. dr STANISŁAW DEMBIŃSKI (Toruń)

Prof. dr MARIAN GRYNBERG (Warszawa)

Doc. dr EWA DOBIERZEWSKA-MOZRZYMAS (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 39, Zeszyt 4

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE  
1988

## RADA REDAKCYJNA

Iwo Białynicki-Birula, Jerzy Czerwonko, Marek Demiański, Adam Kujawski, Marian Mięśowicz,  
Ludwik Natanson, Tadeusz Skaliński, Maciej Suffczyński, Józef Szudy, Przemysław Zieliński

## KOMITET REDAKCYJNY

*Redaktor Naczelny* — Adam Sobiczewski

*Członkowie Redakcji* — Tomasz Dietl, Magdalena Staszal, Barbara Wojtowicz

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

### Korespondenci Oddziałów PTF

mgr *Piotr Malinowski* (Białystok)  
dr *Romualda Pfranger* (Częstochowa)  
dr *Stanisław Zachara* (Gdańsk)  
doc. dr *Eugeniusz Soczkiewicz* (Gliwice)  
dr *Janusz Frąckowiak* (Katowice)  
dr *Małgorzata Suchańska* (Kielce)  
dr *Anna Kapuścik* (Kraków)  
prof. dr *Tomasz Goworek* (Lublin)  
prof. dr *Leszek Wojtczak* (Łódź)  
dr *Wojciech Wojtanowski* (Opole)  
prof. dr *Andrzej Graja* (Poznań)  
mgr *Daruta Ficek* (Słupsk)  
dr *Ewa Weinert-Rączka* (Szczecin)  
doc. dr *Hanna Męczyńska* (Toruń)  
dr *Wanda Ejchart* (Warszawa)  
dr *Bernard Jancewicz* (Wrocław)

---

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

Nakład 2026+94 egz. Ark. wyd. 8. Ark. druk. 6+6 wkł. Papier druk. kl. IV,  
70×100, 80 g. Oddano do składania w marcu 1988. Podpisano do druku  
w sierpniu 1988. Druk ukończono w sierpniu 1988. Zam. 150/87. Cena zł 150.—

Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, ul. Manifestu Lipcowego 13

*Stanisław Szpikowski*

Institut Fizyki  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej  
Lublin

## Symetrie i supersymetria w fizyce jądrowej\*

### Symmetries and Supersymmetry in Nuclear Physics

*Abstract:* Symmetries in nuclei, which lead to the supersymmetry introduced recently to nuclear physics, are considered. Examples of theoretical results based on the supersymmetry assumption are given and discussed.

Chciałbym na wstępie ten krótki lecz obszerny tytuł zawęzić do problemu, który przedstawię w moim wykładzie. Otóż w 90-letniej, lub — jeśli ktoś woli — 75-letniej historii fizyki jądrowej, rozważanych było bardzo wiele symetrii od ogólnie obowiązujących w całej fizyce symetrii czaso-przestrzennych do bardziej abstrakcyjnych i ograniczonych do wybranych zagadnień symetrii specjalnych. Wśród tych ostatnich pojawił się przed kilkoma laty [1] problem tzw. supersymetrii. Wybór symetrii, o których będę mówił ma teraz następującą motywację: będą to te symetrie, które prowadzą do wieńczącego ten wykład przykładu supersymetrii w fizyce jądrowej.

W dalszej części wstępu chciałbym uczynić istotne rozróżnienie między symetrią (dokładną) danego mikroukładu, lub oddziaływań rządzących tym układem, a tzw. symetrią dynamiczną. O symetrii (dokładnej) mówimy wówczas, gdy układ (hamiltonian układu) jest niezmienniczy ze względu na daną grupę transformacji. Jeśli tą grupą jest np. grupa obrotów w zwykłej przestrzeni, to symetrię obrotową układu reprezentowanego przez operator Hamiltona  $\hat{H}$  można zapisać przez warunek

$$\hat{R}(n\varphi)\hat{H}\hat{R}^{-1}(n\varphi) = \hat{H}, \quad (1)$$

gdzie

$$\hat{R}(n\varphi) = \exp(-i\varphi\mathbf{n}\cdot\hat{\mathbf{L}}) \quad (2)$$

jest operatorem obrotu o dowolny kąt  $\varphi$  wokół dowolnej osi  $\mathbf{n}$ , zaś operator  $\hat{\mathbf{L}}$  jest wektorowym operatorem orbitalnego momentu pędu o składowych  $\hat{L}_x, \hat{L}_y, \hat{L}_z$ . Nietrywialny hamiltonian o symetrii obrotowej może być zapisany w postaci

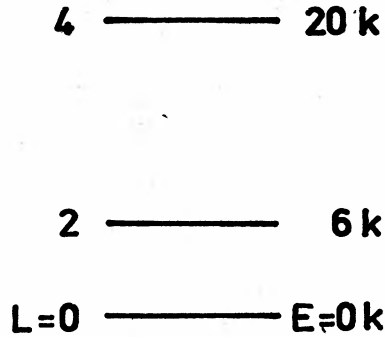
$$\hat{H} = k\hat{\mathbf{L}}^2, \quad (3)$$

gdzie  $\hat{\mathbf{L}}^2 = \hat{L}_x^2 + \hat{L}_y^2 + \hat{L}_z^2$ , a  $k$  — współczynnik rzeczywisty.

\* Referat plenarny wygłoszony na Zjeździe Fizyków Polskich w Łodzi, we wrześniu 1987 r.

Przykłady widma takiego hamiltonianu znane są dobrze w fizyce jądrowej w postaci pasm rotacyjnych charakteryzujących się liczbami kwantowymi  $L = 0, 2, 4, \dots$  o energii i widmie przedstawionym na rys. 1.

$$E = kL(L+1) \quad (4)$$



Rys. 1. Widmo rotacyjne

Jeżeli rozważany układ umieścić w polu magnetycznym o natężeniu, którego kierunek umownie nazwiemy kierunkiem osi  $z$ , to symetria obrotowa układu zostanie naruszona, jednak układ pozostanie niezmienniczy ze względu na obroty wokół osi  $z$ . Do hamiltonianu układu należy teraz dodać człon pochodzący od pola magnetycznego i od składowej  $z$ -owej momentu pędu, i nowy hamiltonian

$$\hat{H} = k\hat{L}^2 + b\hat{L}_z \quad (5)$$

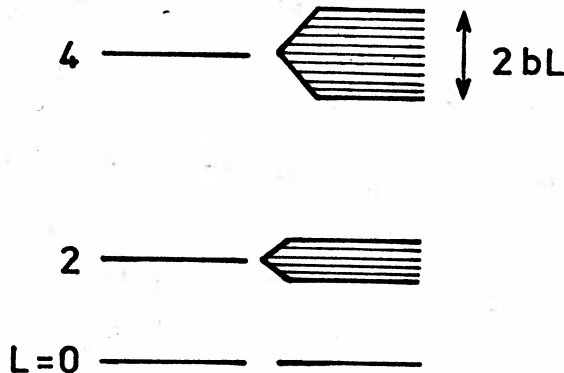
ma energię własną

$$E = kL(L+1) + bM, \quad (6)$$

gdzie

$$M = L, L-1, \dots, -L. \quad (7)$$

Poziomy energetyczne  $L$  zostaną rozszczepione, jak podano na rys. 2.



Rys. 2. Rozszczepienie poziomów rotacyjnych przez pole magnetyczne

Z tego prostego przykładu widać, że naruszenie symetrii obrotowej prowadzi do bardziej bogatego widma i tak będzie w przypadku złożonych symetrii. Operatory momentu pędu  $\hat{L}_x, \hat{L}_y, \hat{L}_z$  zwane są generatorami obrotów (w sensie wzoru (2)), zaś operator  $\hat{L}_z$  w podobny sposób generuje obroty wokół osi z. Operator kwadratu momentu pędu,  $\hat{L}^2$ , jest niezmiennikiem dowolnych obrotów, zaś operator  $\hat{L}_z$  jest niezmiennikiem obrotów wokół osi z. Takie operatorowe niezmienniki zwane są operatorami Casimira  $\hat{C}$  danej grupy transformacji. Możemy hamiltonian (5) równoważnie zapisać w postaci

$$\hat{H} = k\hat{C}[\text{SO}(3)] + b\hat{C}[\text{SO}(2)], \quad (8)$$

gdzie wprowadzono oznaczenia  $\text{SO}(3)$  dla grupy obrotów w przestrzeni trójwymiarowej oraz  $\text{SO}(2)$  dla grupy obrotów wokół osi. Transformacje obrotów wokół osi stanowią podgrupę pełnej grupy obrotów

$$\text{SO}(3) \supset \text{SO}(2) \quad (9)$$

Bardziej ogólny związek z generatorami obrotów  $\hat{L}_x, \hat{L}_y, \hat{L}_z$  ma hamiltonian zapisany w postaci

$$\hat{H} = \sum_{ij} k_{ij} \hat{L}_i \hat{L}_j + \sum_i b_i \hat{L}_i, \quad (10)$$

w której uwzględniono wyrażenia liniowe i kwadratowe w operatorach  $\hat{L}_i$ . Hamiltonian (10) nie ma ani symetrii sferycznej, ani osiowej, jednak w dalszym ciągu, jak powiadamy, ma strukturę grupy  $\text{SO}(3)$ , lub dynamiczną symetrię tej grupy. Hamiltonian (8) jest zatem specjalnym przypadkiem dynamicznej symetrii, gdyż powstaje z (10) przy odpowiednim wyborze współczynników

$$k_{ij} = k\delta_{ij}; \quad b_i = b\delta_{iz}. \quad (11)$$

Ograniczenie (11) ma obok fizycznych także istotne techniczne walory: hamiltonian (8) można było zdiagnozować niemal natychmiast wypisując analityczną postać (6) jego energii własnych, zaś hamiltonian (10) można diagonalizować tylko numerycznie, np. w bazie funkcji własnych  $\Psi_{LM}$  operatorów  $\hat{L}^2$  i  $\hat{L}_z$ .

Formalnie wygodny sposób zapisu operatorów momentu pędu oparty jest na operatorach kreacji  $a^+$  i anihilacji  $a$  cząstek. Można mianowicie pokazać, że np. dla stanów na powłoce momentu pędu o liczbie kwantowej  $l$ , sprzężenie obu operatorów do całkowitego momentu pędu  $L = 1$  zapisane w postaci

$$(a_i^+ a_i)_M^{L=1}; \quad M = 1, 0, -1 \quad (12)$$

daje w wyniku operatory proporcjonalne do operatorów

$$\hat{L}_{\pm} = \hat{L}_x \pm i\hat{L}_y; \quad \hat{L}_0 = \hat{L}_z, \quad (13)$$

tzn.

$$(a_i^+ a_i)_{M=\pm 1}^{L=1} \sim \hat{L}_{\pm}; \quad (a_i^+ a_i)_{M=0}^{L=0} \sim \hat{L}_0. \quad (14)$$

Można zatem równoważnie powiedzieć, że operatory (12) są generatorami grupy obrotów w trójwymiarowej przestrzeni. Uogólnienie takiego postępowania w postaci operatorów

$$(a_i^+ a_i)_M^L; \quad L = 0, 1, \dots, 2l \quad (15)$$

prowadzi do wniosku, że  $(2l+1)^2$  operatorów (15) generuje transformacje unitarnej grupy w  $(2l+1)$ -wymiarowej przestrzeni,  $U(2l+1)$ . Operatory te możemy równoważnie zapisać w formie rozprzężonej (także w ilości  $(2l+1)^2$ ) jako

$$a_{lm}^+ a_{lm}. \quad (15a)$$

Rozważmy np. nukleony o spinie  $1/2$  (fermiony) oraz izospinie  $1/2$  na trzeciej magicznej powłoce jądrowej  $sd(l = 0, 2)$ . Łącznie są na tej powłoce  $6 \times 2 \times 2 = 24$  stany jedno-cząstkowe, zaś operatorów typu (15a), tzn.

$$a_{lm_1 1/2 m_s 1/2 m_s}^+ a_{l'm_1' 1/2 m_s' 1/2 m_s'} \quad (16)$$

jest  $24^2$ ; te operatory można uważać za generatory transformacji unitarnej  $U(24)$ . Podgrupami grupy  $U(24)$  są unitarne, rozdzielne transformacje w przestrzeni momentu pędu,  $SU(6)$ , oraz w przestrzeni spinowo-izospinowej  $SU(4)$ , co zapiszemy w postaci

$$U^F(24) \supset SU_L^F(6) \times SU_{ST}^F(4). \quad (17)$$

Litery  $SU$  oznaczają specjalną unitarną grupę transformacji o wyznaczniku równym jedności, a litera  $F$  — fermiony. Grupa transformacji w przestrzeni momentu pędu,  $SU_L(6)$ , posiada istotne, z fizycznego punktu widzenia, podgrupy

$$SU_L^F(6) \supset SO_L^F(6) \supset SO_L^F(5) \supset SO_L^F(3), \quad (18)$$

zaś grupa spinowo-izospinowa,  $SU_{ST}(4)$ , zwana grupą Wignera, ma także rozdzielne podgrupy transformacji w przestrzeni spinowej oraz izospinowej

$$SU_{ST}^F(4) \supset SU_S^F(2) \times SU_T^F(2). \quad (19)$$

Wymienione powyżej grupy symetrii miały (i mają) poważne znaczenie w spektroskopii jądrowej, w klasyfikacji stanów jądrowych i w badaniu symetrii oddziaływań jądrowych. Symetrie związane z tymi grupami mogą być zarówno typu dokładnych symetrii, np. symetria  $SU_T(2)$  dla oddziaływań jądrowych, jak i symetrii dynamicznych, np. symetrię  $SO_L(3)$  oraz  $SU_S(2)$ .

W powyższych przykładach rozważane były symetrie układu nukleonów, tzn. fermionów, aczkolwiek wnioski związane z generatorami (12, 14—15) są słuszne także dla operatorów kreacji,  $b^+$ , oraz anihilacji,  $b$ , bozonów. Bozony w fizyce jądrowej znane są od dawna bądź jako kwanty elementarnych wzbudzeń, bądź jako elementy przestrzeni fermionowej wyrzutowanej na przestrzeń bozonową. Od kilkunastu jednak lat dużą karierę w fizyce jądrowej robią bozony fenomenologiczne, które nie mają ścisłej interpretacji mikroskopowej, a w przybliżeniu jakościowym mogą być uważane za odwzorowania odpowiednio skorelowanych par nukleonów

$$\sum_{l_1 l_2} c_{l_1 l_2} (a_{l_1}^+ a_{l_2}^+)_m \rightarrow b_{lm}^+. \quad (20)$$

Bozony (20) ograniczone do bozonów skalarnych ( $l = 0$ ) oraz bozonów kwadrupolowych ( $l = 2$ ) są podstawą modelu oddziałujących bozonów, który został wprowadzony w 1974 r. przez Iachello i Arimę [2]. Jeśli dodatkowo przyjąć, że bozony mogą mieć spin ( $\sigma = 0$  lub 1) oraz izospin ( $\tau = 0$  lub 1), przy czym, ze względu na antysymetrię odwzorowanych



par nukleonowych (20), liczby ( $\sigma$ ,  $\tau$ ) przyjmować mogą tylko wartości (1; 0) lub (0; 1), to operatory bozonowe

$$b_{lm\sigma\tau m_\sigma}^+ b_{l'm'_\sigma\tau m'_\sigma}, \quad (21)$$

można uważać za generatory transformacji unitarnych  $U(36)$  w przestrzeni bozonowej. Grupa ta ma formalnie identyczne, jak w przypadku fermionów na powłoce  $s-d$ , podgrupy, a mianowicie

$$U^B(36) \supset SU_L^B(6) \times SU_{ST}^B(4) \supset SO_L^B(3) \times SU_S^B(2) \times SU_T^B(2). \quad (22)$$

Ta zbieżność grup pozwala tworzyć z operatorów fermionowych (16) i bozonowych (21) odpowiednie sumy generujące jednoczesne transformacje w obu przestrzeniach. W ten sposób można utworzyć grupy unitarnych transformacji bozonowo-fermionowych

$$SU_L^{BF}(6) \quad \text{oraz} \quad SU_{ST}^{BF}(4) \quad (23)$$

oraz odpowiednio do (18—19) podgrupy

$$\begin{aligned} SU_L^{BF}(6) &\supset SO_L^{BF}(6) \supset SO_L^{BF}(5) \supset SO_L^{BF}(3) \\ SU_{ST}^{BF}(4) &\supset SU_S^{BF}(2) \times SU_T^{BF}(2). \end{aligned} \quad (24)$$

Przechodzimy obecnie do bardzo istotnego uogólnienia symetrii bozonowych i fermionowych na supersymetrię układu mieszanego. Jeżeli bozony w modelu oddziałujących bozonów traktować jako wzbudzenia kolektywne niezależne od pozostałych mikroskopowych stopni swobody nukleonów, to wówczas można postawić formalne pytanie, czy bozony i fermiony można traktować jako różne stany tej samej „cząstki”? Jeżeli tak, to generatory transformacji takiego mieszanego supermultipletu powinny mieć własność przenoszenia nie tylko nukleonów z jednego stanu ( $lm$ ) do stanu innego ( $l'm'$ ), jak operatory (16) lub też bozonów z jednego stanu do drugiego, jak operatory (21), ale także winny mieć własność przenoszenia cząstki ze stanu fermionowego do stanu bozonowego i odwrotnie. Generatory takich transformacji zawierając będą generatory fermionowe (16) i bozonowe (21), co w schematycznym zapisie przepiszemy jako

$$a^+ a \quad \text{oraz} \quad b^+ b, \quad (25a)$$

a także generatory zamieniające fermiony w bozony i odwrotnie, tzn.

$$b^+ a \quad \text{oraz} \quad a^+ b. \quad (25b)$$

Taki układ generatorów (25) jest układem generującym transformacje supergrupy unitarnej

$$U(m/n),$$

gdzie  $m$  oznacza wymiar przestrzeni bozonowej, a  $n$  — wymiar przestrzeni fermionowej. Symetrie układu mieszanego noszą nazwę supersymetrii, które mogą mieć charakter supersymetrii dokładnych lub dynamicznych. Pytanie co do istnienia supersymetrii zostało postawione w latach 70. [4—5] w fizyce cząstek elementarnych, jednak nie uzyskało jednoznacznej odpowiedzi. Natomiast w latach 50. [6] zagadnienie supersymetrii rozpatrywane było w innym kontekście w matematyce, co świadczy o stosunkowo nowym problemie

nie tylko w zastosowaniach ale i w podstawach matematycznych. Gdy w 1978 r. F. Iachello [1] przeniósł problem supersymetrii do fizyki jądrowej, miał przygotowane w pewnym stopniu zarówno podstawy matematyczne jak i fizyczne tego problemu.

W ostatniej części wykładu prześledzimy konsekwencje jednej z własności supersymetrii, a następnie skonfrontujemy te konsekwencje z doświadczeniem fizyki jądrowej.

Rozważmy dany supermultiplet mieszanego układu bozonów i fermionów. Zauważmy, że generatory supertransformacji (25) mogą zmieniać z osobna liczbę bozonów i z osobna liczbę fermionów, co oznacza, że stany tego samego multipletu mogą różnić się liczbą nukleonów czy liczbą bozonów. Jednakże operatory (25) nie mogą zmienić łącznej liczby cząstek  $N$ , to jest sumy bozonów i nukleonów, co oznacza, że liczba

$$N = N_b + N_f \quad (26)$$

charakteryzuje dany supermultiplet podobnie, jak np. liczba orbitalnego momentu pędu  $L$  charakteryzuje multiplet grupy obrotów  $SO(3)$ . Rozważmy konkretny przypadek jądra fosforu  ${}^{31}_{15}\text{P}$ , w którym zgodnie z ideą modelu oddziałujących bozonów wyodrębnimy z założenia sferyczną i nie podlegającą wzbudzeniom część w postaci jądra  ${}^{16}\text{O}$ . Nukleony walencyjne w liczbie 14 znajdujące się na powłoce  $s-d$  są nukleonami czynnymi. Ponieważ stanów nieobsadzonych na powłoce  $s-d$  jest tylko 10, więc wygodniej jest pracować w schemacie „dziurowym” i przyjąć, że na tej powłoce dla rozważanego jądra fosforu jest  $N = 5$  bozonów. Ta sama liczba  $N = 5$  odnosi się także do sąsiednich jąder  ${}^{31}_{15}\text{P}$ ;  ${}^{30}_{14}\text{Si}$ ;  ${}^{31}_{16}\text{S}$ . Jeżeli supersymetria istnieje w tym obszarze jąder, wówczas jądra te powinny być opisane nie tylko przez identyczny hamiltonian, ale także przez te same parametry odpowiadające dwuciałowym elementom macierzowym oddziaływania, gdyż elementy te nie mogą zależeć od tego, między jakimi składowymi supermultipletu będą one liczone.

Pozostaje więc problem skonstruowania hamiltonianu i jego diagonalizacji. Przyjmuje się z założenia supersymetrię dynamiczną i po szczegółowych rozważaniach przybliża się hamiltonian dynamiczny przez liniową kombinację drugiego rzędu operatorów Casimira odpowiednich grup transformacji; w analogii do (8) przyjmuje się

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + F\hat{C}[\text{SU}^{BF}(6)] + W\hat{C}[\text{SO}^{BF}(6)] + K\hat{C}[\text{SO}^{BF}(5)] + D\hat{C}[\text{SO}_L^{BF}(3)] \\ + B\hat{C}[\text{SU}_S^{BF}(2)] + F\hat{C}[\text{SU}_J^{BF}(2)] + A\hat{C}[\text{SU}_T^{BF}(2)]. \quad (27)$$

Hamiltonian ten można analitycznie zdiagonalizować za pomocą wartości własnych operatorów Casimira, które zależą od liczb kwantowych charakteryzujących odpowiednie multiplety grup zawartych w (27)

$$E = E_0 + P[f_1(f_1 + 5) + f_2(f_2 + 3)] + W[\sigma_1(\sigma_1 + 4) + \sigma_2(\sigma_2 + 2)] \\ + K[\tau_1(\tau_1 + 3) + \tau_2(\tau_2 + 1)] + DL(L + 1) \\ + BS(S + 1) + FJ(J + 1) + AT(T + 1). \quad (28)$$

Nie ma swobody w dobieraniu liczb kwantowych formuły (28), gdyż wynikają one ze ścisłych rozważań teorii grup. Natomiast parametry  $P, W, K, D, B, F, A$  są parametrami swobodnymi, które dobiera się tak, by odtworzyć możliwie dokładnie poziomy energetyczne jądra  ${}^{30}_{15}\text{P}$ . Podkreślić należy, że ani postać hamiltonianu (27), ani jego energie własne,

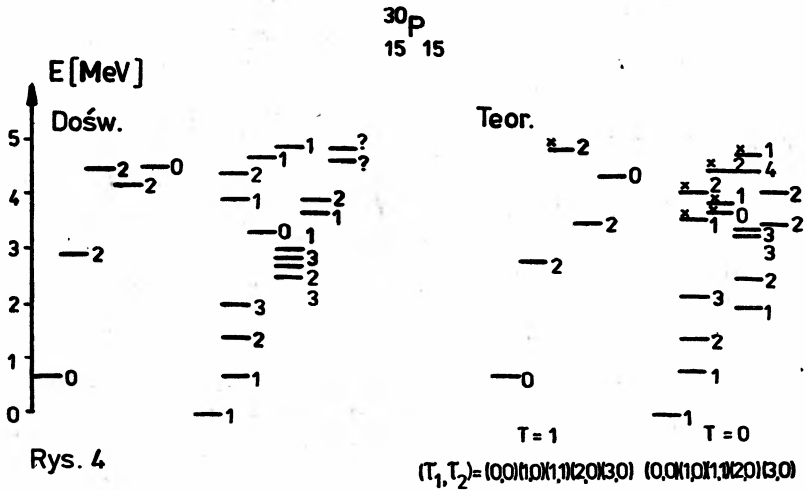
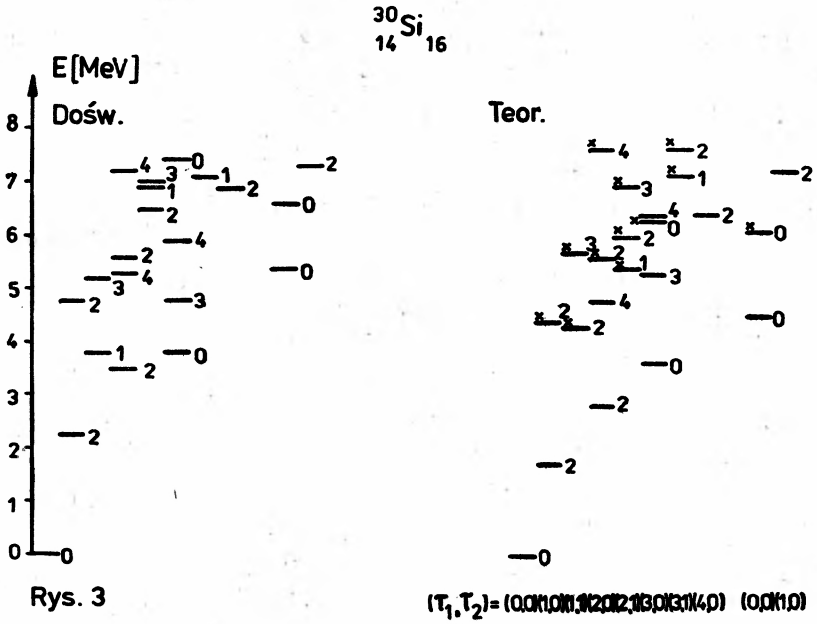
nawet idealnie pasujące do jądra  $^{30}\text{P}$ , nie świadczą o supersymetrii. Natomiast o supersymetrii może świadczyć opis pozostałych jąder supermultipletu, opis dokonany już bez żadnych swobodnych parametrów, gdyż te zostały ustalone przez człon supermultipletu, jądro fosforu  $^{30}\text{P}$ . W tabeli podane są wartości tych parametrów, przy czym, ze względu na li-

Tabela 1. Parametry hamiltonianu 27 supermultipletu  $N = 5$  ustalone dla członu supermultipletu, jądra  $^{30}\text{P}$

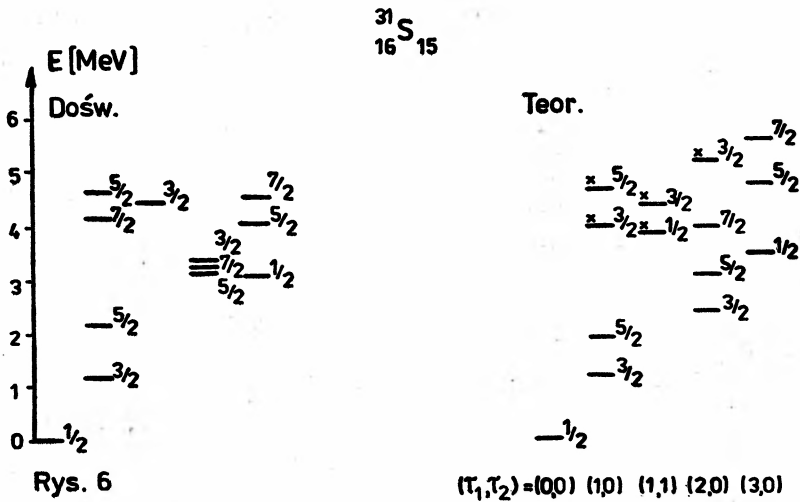
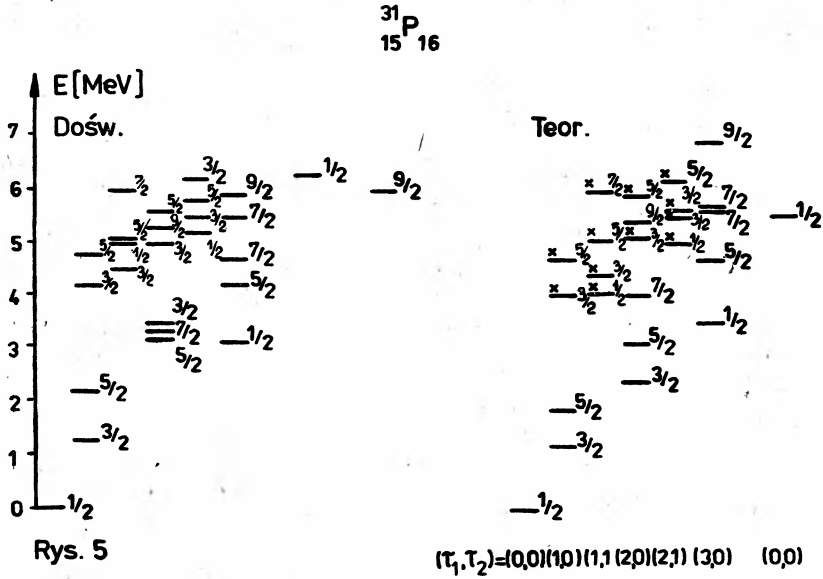
$N = 5$	$^{30}\text{Si}, ^{30}\text{P}, ^{31}\text{P}, ^{31}\text{S}$
P	-0.05
W	-0.23
K	0.20
D+F	0.14
A-B	0.49

czenie względnych energii wzbudzeń jądrowych, niektóre człony hamiltonianu (27) dają wkład jednakowy dla danego jądra, co ma swój wyraz w występującej w tabeli sumie czy różnicy parametrów. Natomiast na rysunkach 3—6 podano obliczone teoretycznie na podstawie wzoru (28) energie wzbudzeń czterech jąder supermultipletu  $N = 5$  oraz zamieszczono znalezione doświadczalnie energie poziomów tych jąder o parzystości dodatniej. Jeszcze raz podkreślmy, że obliczenia dla jąder  $^{31}\text{P}$ ,  $^{30}\text{Si}$  i  $^{31}\text{S}$  zostały dokonane bez żadnych swobodnych parametrów. Poziomy energetyczne przedstawione na rysunkach należą w większości do symetrycznych reprezentacji  $[N']$  grupy  $\text{SU}(6)$ , jednak stwierdzono także występowanie poziomów o symetrii mieszanej  $[N' - 1, 1]$ ; zostały one oznaczone na rysunkach krzyżykami. Poziomy obliczone teoretycznie zgrupowano w multiplety  $(\tau_1 \tau_2)$  grupy  $\text{SO}(5)$ , natomiast poziomy wyznaczone doświadczalnie w sposób dowolny pogrupowano podobnie, by odpowiadały momentom pędu i energiom poziomów teoretycznych. Przyporządkowanie to powinno zostać zweryfikowane przez obliczenie prawdopodobieństw przejść, co obecnie jest przedmiotem dalszych badań.

Porównanie wyników teoretycznych z doświadczeniem [7] wskazuje na zupełnie dobrą zgodność. W szczególności istnieje prawie jednoznaczna odpowiedniość momentów pędu poziomów wyznaczonych doświadczalnie i teoretycznie. Dodać należy, że do energii 5 MeV wszystkie poziomy doświadczalne (o parzystości dodatniej) i wszystkie poziomy wyznaczone teoretycznie zostały zamieszczone na rysunkach. Oczywiście, występują różnice w energiach nawet w obrębie energii do 5 MeV, a także w paru przypadkach występuje zmiana kolejności poziomów. Można jednak powiedzieć, że z taką dokładnością, jaka wynika z rysunków, założenia supersymetrii zostały spełnione. Dodać należy, że rozważane były także inne supermultiplety jąder z powłoki  $s-d$ , dla których otrzymano podobną zgodność teorii z doświadczeniem, a ponadto parametry hamiltonianu (27) zmieniały się bardzo regularnie i minimalnie od supermultipletu do supermultipletu. Przedstawione wyniki zostały uzyskane przez grupę lubelską zajmującą się zagadnieniem supersymetrii w jądrach lekkich [8]. Natomiast, jak wyżej wspomniano, od r. 1980 w różnych ośrodkach fizyki jądrowej



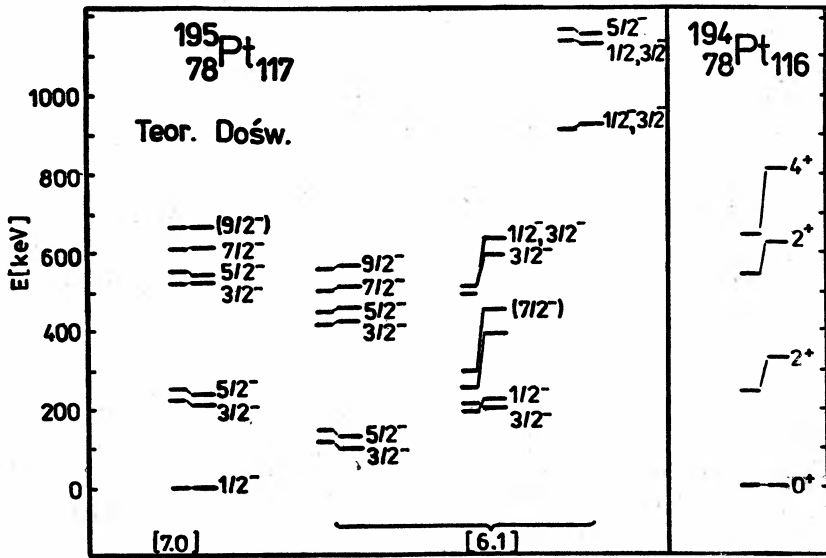
wej na świecie bada się występowanie supersymetrii w jądrach ciężkich. Stwierdzono w podobny sposób, jak przedstawiono powyżej, występowanie supersymetrii w obszarach rutenu-rodu i osmu-platyny. Przytoczę jeden z ostatnich rezultatów, jaki międzynarodowa grupa doświadczalno-teoretyczna uzyskała dla supermultipletu platyny  $^{195}\text{Pt}$  i  $^{194}\text{Pt}$  (rys. 7) [9]. Pomijając dyskusję na temat podziału widma na multiplety odpowiednich podgrup symetrii, zwrócę jedynie uwagę na bardzo dobrą zgodność momentów pędu doświadczalnych i teoretycznych oraz na niezłą zgodność liczonych i doświadczalnych energii, co odpowiada porównaniu dokonanej wyżej dla obszaru jąder powłoki  $s-d$ . Dodam, że hamil-



Rys. 3—6. Porównanie wyznaczonych teoretycznie i doświadczalnie energii poziomów czterech jąder atomowych należących do tego samego supermultipletu  $N = 5$ . Dokładny opis rysunków znajduje się w tekście

tonian układu był 5-parametrowy oraz że zgrupowanie poziomów w multiplety odpowiadało mierzonym i doświadczalnym prawdopodobieństwom przejść elektromagnetycznych.

W konkluzji, chciałbym przedstawić swój punkt widzenia na zagadnienie supersymetrii w jądrach atomowych. Sądzę, że niezależnie od tego, czy ktoś uważa supersymetrię za realnie istniejącą w naturze, czy też za przybliżenie lub za formalny sposób opisu pewnych własności pewnych jąder atomowych, warto prowadzić badania porównawcze nie tyle w nadziei uzyskania lepszych zgodności z doświadczeniem niż jest to możliwe przy



Rys. 7. Dublet supermultipletu  $N = 7$  platyny w porównaniu z doświadczeniem [9]

stosowaniu innych metod czy modeli fizyki jądrowej, ale w celu bardziej ambitnym — zauważenia i wyjaśnienia pewnych podobieństw jąder atomowych, podobieństw wynikających dopiero z założonej supersymetrii.

#### Literatura

- [1] F. Iachello, *Phys. Rev. Lett.* **44**, 772 (1980).
- [2] F. Iachello, A. Arima, *Phys. Lett.* **53B**, 305 (1974).
- [3] J. P. Elliott, J. A. Evans, *Phys. Lett.* **101B**, 216 (1981).
- [4] D. V. Volkov, V. P. Akulov, *Phys. Lett.* **46B**, 109 (1973).
- [5] J. Wess, B. Zumino, *Nucl. Phys.* **B70**, 39 (1974).
- [6] A. Nijenhuis, *Proc. K. Ned. A ad. Wet.* **A58**, 3 (1955).
- [7] P. M. Endt, C. van der Leun, *Nucl. Phys.* **A310** (1978).
- [8] S. Szpikowski, P. Kłosowski, L. Próchniak, *Proceedings of the Dubrovnik Conference*, Dubrovnik, Yugoslavia 1986, s. 265.
- [9] A. Mauthofer, K. Stelzer, J. Gere, Th. W. Elze, Th. Happ, G. Eckert, T. Faesterman, A. Franck, P. Van Isacker, *Phys. Rev.* **C34**, 958 (1966).

*Zbigniew Szklarski*

Institut Metalurgii  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Kraków

*Stanisław Komornicki*

Institut Inżynierii Materiałowej  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Kraków

## Półprzewodnikowe czujniki gazowe Semiconducting Gas Sensors

*Abstract:* Various gas sensor designs and sensor preparations are described shortly. Characteristic responses to various gas concentrations, sensor temperatures, catalytic additions, humidity and measuring principles for various homogeneous as well as solid state MOS sensors are reviewed.

### 1. Wstęp

Rosnące gwałtownie w ostatnich latach zapotrzebowanie na urządzenia do analizy składu atmosfer gazowych spowodowało szybki rozwój badań nad półprzewodnikowymi czujnikami gazowymi. Działanie półprzewodnikowych czujników do wykrywania i ilościowego oznaczania składu gazów polega na wykorzystaniu zjawisk zachodzących na granicy faz ciało stałe — gaz.

Półprzewodnikowe przyrządy wykorzystywane do analizy chemicznej noszą wspólną nazwę chemicznie czułych urządzeń półprzewodnikowych (CSSD — Chemically Sensitive Semiconductor Devices). Urządzenia te można podzielić na grupy w zależności od budowy i zasady działania (tj. sposobu obserwacji zjawisk zachodzących na powierzchni półprzewodnika). Klasyfikacja w zależności od budowy jest w gruncie rzeczy podziałem układów typu MIS, gdzie *M* — przewodnik (metal, gaz lub elektrolit), *I* — warstwa izolatora pomiędzy przewodnikiem a *S* — półprzewodnikiem (semiconductor) [1-4].

Szczególna rola przypada warstwie izolacyjnej. W zależności od jej grubości i własności możemy podzielić układy MIS na kilka grup:

- a) warstwa izolacyjna pomiędzy przewodnikiem (metalem, gazem, elektrolitem) a półprzewodnikiem w ogóle nie występuje. Do grupy tej zaliczyć można czujniki homogeniczne oraz czujniki działające na zasadzie diody Schottky'ego;
- b) warstwa izolacyjna jest bardzo cienka (poniżej 5 nm) i zachodzą w niej procesy przewodzenia związane głównie z efektem tunelowym). Przedstawicielami tej grupy urządzeń są półprzewodnikowe diody tunelowe i tranzystory typu AD FET (ADsorption Field Effect Transistor — adsorpcyjny tranzystor polowy);

c) warstwa izolacyjna jest tak gruba, że można ją uważać za izolator w znaczeniu klasycznym. Do grupy tej należą gazoczułe tranzystory polowe.

W niniejszym artykule zostaną krótko przedstawione najważniejsze opracowane dotychczas rozwiązania poszczególnych typów czujników wraz z krótką charakterystyką ich działania oraz perspektywami rozwoju poszczególnych grup.

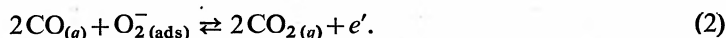
## 2. Zasada działania czujników gazowych

Znanym od wielu lat faktem doświadczalnym jest zmiana własności elektrycznych (takich jak pojemność czy też przewodnictwo elektryczne) materiałów półprzewodnikowych pod wpływem działania na nie gazów redukujących lub utleniających. W wyniku oddziaływania fazy gazowej z powierzchnią półprzewodnika mogą utworzyć się wiązania chemiczne pomiędzy cząsteczkami gazów a materiałem adsorbenta. Wynikiem tego procesu może być zmiana koncentracji nośników elektronowych powodująca zmianę przewodnictwa powierzchniowego półprzewodnika.

W poniższych przykładach przedstawiono dwa możliwe rodzaje oddziaływania półprzewodnika typu  $n$  z fazą gazową. Największą liczbę prac poświęcono dotychczas chemisorpcji tlenu na powierzchni tlenków półprzewodnikowych. Jeden z najczęściej występujących mechanizmów chemisorpcji tlenu opisuje poniższe równanie



W równaniu tym  $e'$  oznacza elektron pochodzący z pasma przewodnictwa półprzewodnika. Jak widać z równania (1), skutkiem chemisorpcji tlenu na powierzchni półprzewodnika typu  $n$  jest spadek liczby quasi-swobodnych elektronów, a więc również spadek przewodnictwa elektrycznego. W przypadku chemisorpcji gazów redukujących, np. CO w obecności tlenu obserwuje się efekt odwrotny, tj. wzrost przewodnictwa elektrycznego. Mechanizm zjawisk powierzchniowych towarzyszących adsorpcji CO nie został dotychczas jednoznacznie wyjaśniony, gdyż można zaproponować kilka możliwych reakcji, z których jedną jest



Zgodnie z równ. (2) obecność CO w fazie gazowej powoduje wzrost przewodnictwa elektrycznego półprzewodnika typu  $n$  w stosunku do jego wartości w atmosferze nie zawierającej CO.

W podobny sposób można opisać procesy chemisorpcji innych gazów, takich jak  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  itd., prowadzące do zmian własności elektrycznych półprzewodników różnych typów.

Opisane powyżej zjawiska znalazły obecnie szerokie zastosowanie, stanowiąc podstawę detekcji gazów z użyciem urządzeń półprzewodnikowych.

## 3. Czujniki homogeniczne

Czujniki te stanowią najliczniej reprezentowaną grupę rozwiązań. Pod określeniem homogenicznych czujników półprzewodnikowych rozumiemy elementy składające się z homogenicznie zbudowanego ciała stałego, grzałki utrzymującej je w odpowiedniej tem-



peraturze oraz z elektrod odbierających sygnał elektryczny powstający w wyniku oddziaływania ciała stałego z otaczającą je atmosferą gazową. Podstawowymi zaletami homogenicznych czujników gazowych są prostota ich budowy i niski koszt wytwarzania.

Już ponad trzydzieści lat temu zaobserwowano wpływ adsorpcji tlenu na przewodnictwo monokryształów tlenku cynku [5]. W następnych latach zjawisko to było szeroko badane na różnych materiałach, a szczególnie dokładnie na półprzewodnikowych tlenkach metali [6, 7]. W praktyce do wykrywania gazów wykorzystuje się głównie binarne tlenki metali ze względu na ich stabilność termiczną, dużą czułość i stosunkowo niską temperaturę pracy. Stosuje się także homogeniczne i niehomogeniczne mieszaniny tych tlenków, jak również układy trójskładnikowe, a nawet półprzewodniki organiczne [8, 9].

Grupę czujników homogenicznych można podzielić ze względu na sposób otrzymywania i własności na następujące podgrupy:

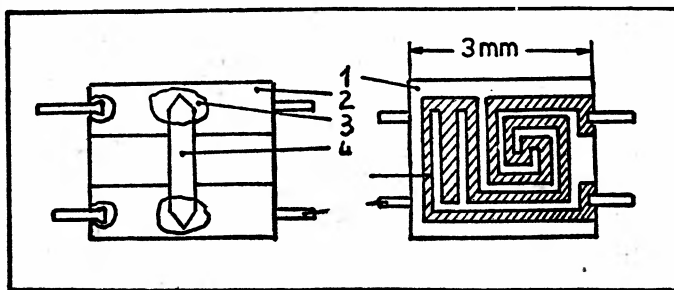
- 1) czujniki monokrystaliczne,
- 2) spieki polikrystaliczne,
- 3) grube warstwy polikrystaliczne,
- 4) cienkie warstwy polikrystaliczne.

### 3.1. Czujniki monokrystaliczne

Układ monokryształ-faza gazowa może stanowić modelowy przykład oddziaływań ciało stałe-gaz. Jest to szczególnie istotne dla poznania mechanizmu zjawiska chemisorpcji, stanowiącego podstawę działania czujników gazowych. Możliwość uzyskania bardzo czystego materiału o dobrze zdefiniowanej powierzchni pozwala na badanie układu o możliwie małej liczbie przypadkowych czynników mogących mieć wpływ na przebieg procesu chemisorpcji.

W wyniku badań monokryształów wykazano, że mogą one z powodzeniem pełnić rolę czujników niektórych gazów. Dotychczas dla detekcji gazów wykorzystywano jedynie monokryształy ZnO i SnO<sub>2</sub> [10, 11]. Badania chemisorpcji przeprowadzone na tych monokryształach [12] wykazały, że muszą być one możliwie cienkie, aby obserwowane zmiany przewodnictwa mogły służyć do określenia koncentracji badanych gazów z wystarczającą dokładnością. W przypadku monokryształów SnO<sub>2</sub> [11] użyto tzw. *wiskerów*, czyli pojedynczych włoskowatych monokryształów o długości kilku milimetrów, szerokości 5—170 μm i grubości 1—16 μm.

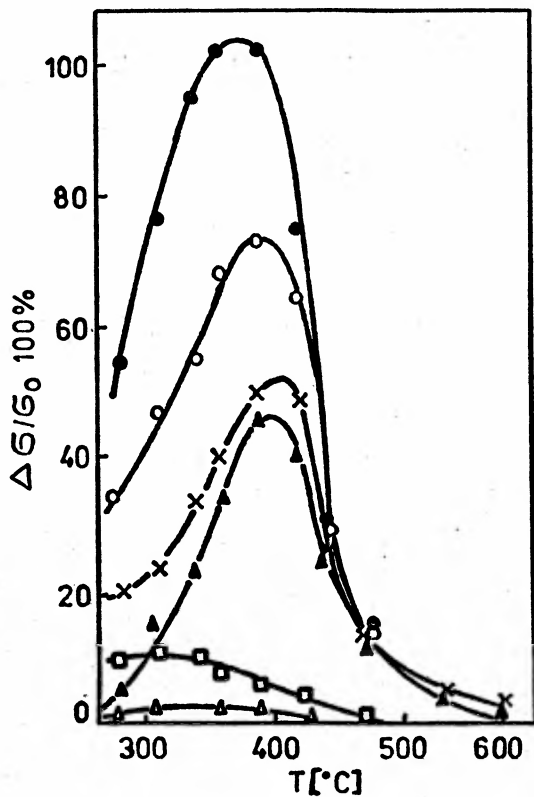
Na rys. 1 przedstawiono schematycznie budowę czujnika monokrystalicznego. Czujnik ten badano następnie w atmosferach zawierających tlenek węgla, metan, parę wodną oraz alkohol etylowy. Na rys. 2 porównano odpowiedzi czujnika na obecność tych gazów (i pary wodnej) w powietrzu, w funkcji temperatury. Z wyników tych badań można wysnuć ważny wniosek: w temperaturze powyżej 400°C można zaniedbać wpływ pary wodnej na przewodnictwo czujnika. Ma to często duże znaczenie w zastosowaniach praktycznych. Pojawia się tu również bardzo poważny problem — tzw. **czułości poprzecznej** — czyli równoczesnego wpływu kilku gazów na własności elektryczne badanego materiału. Istnieją dwa podstawowe sposoby zmniejszenia czułości poprzecznej. Jeden z nich polega na wykorzystaniu faktu, że chemisorpcja jest procesem aktywowanym o różnej energii aktywacji dla różnych gazów. Wobec tego maksimum czułości czujnika dla różnych gazów przypada w róż-



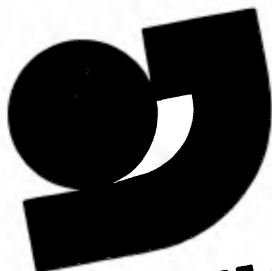
A.

B.

Rys. 1. Schemat budowy czujnika monokrystalicznego. A — 1 płytka podłożowa z  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2 — elektrody platynowe, 3 — pasta przewodząca, 4 — monokryształ  $\text{ZnO}$ , B — grzejnik platynowy na drugiej stronie płytki



Rys. 2. Względna zmiana przewodnictwa czujnika w funkcji temperatury wywołana przez: ● — 100 ppm  $\text{H}_2$  (suchy), ○ — 100 ppm  $\text{H}_2$  (wilgotny), ▲ — 100 ppm  $\text{CO}$  (suchy), × — 100 ppm  $\text{CO}$  (wilgotny), △ — 1%  $\text{CH}_4$ , (suchy i wilgotny), □ — powietrze (wilgotność względna 50%)



# ELEKTRON

ZSRR, 244030, Sumy  
ul. Komsomolskaja 68a  
telefon: 2-14-14  
teleks: 131473 KRONA

*Sumskie Zjednoczenie Przemysłowe  
"Elektron" od ponad 30 lat produkuje:*

**P/O "ELEKTRON" - JEDEN  
Z NAJWIĘKSZYCH NA  
ŚWIECIE PRODUCENTÓW  
PRZYRZĄDÓW I APARA-  
TURY DO BADAŃ  
NAUKOWYCH**

- w fizyce
- chemii    ■ elektronicznie
- biologii    ■ medycynie
- farmakologii
- geologii    ■ krystalografii
- materiałoznawstwie
- hutnictwie metali nie-  
żelaznych oraz żelaza  
i stali

**SERWIS GWARANCYJNY  
DOSTARCZONEGO SPRZĘTU ZA-  
PEWNIONY**

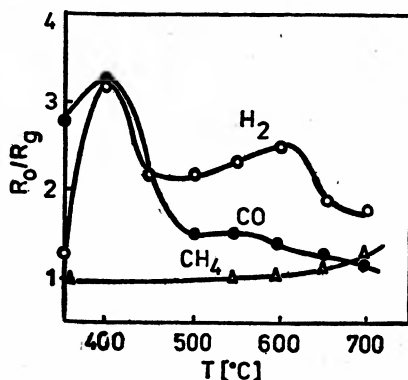
- **mikroskopy elektronowe**
  - prześwietleniowe
  - rastrowe
  - mikroanalizatory
  - elektronografy
- **urządzenia preparacyjne**
  - uniwersalne stanowiska próżniowe
  - dyspergatory ultradźwiękowe
  - ultramikrotomy
- **przyrządy do analizy izotopowej i chemicznej**
  - spektrometry masowe
  - analizatory masowe
  - spektrofotometry
- **aparaturę do spawania za pomocą strumienia elektronów**

*Wyroby Zjednoczenia eksportowane  
są do 20 krajów, w tym do Finlan-  
dii, Francji, Japonii.*

**P/O "ELEKTRON" pomoże w rozwiązaniu waszych problemów**

nych zakresach temperatur. Na rysunku 2 można zaobserwować maksimum czułości na wodór w temperaturze około  $370^{\circ}\text{C}$ , a na tlenek węgla — około  $410^{\circ}\text{C}$ . Drugim sposobem zmniejszenia czułości poprzecznej jest modyfikacja składu materiału czujnika przez wprowadzenie odpowiednich domieszek.

Modyfikację własności materiału przez domieszkowanie próbowano również wykorzystać dla czujników wykonanych z  $\text{SnO}_2$ . Celem było zwiększenie przewodnictwa elektrycznego wiskerów. Domieszka jonów  $\text{Sb}^{5+}$  spowodowała co prawda wzrost przewodnictwa o kilka rzędów (do  $10^{-5} - 10^{-4} \Omega^{-1}$ ), jednak równocześnie spadła gwałtownie czułość czujników. Przyczyną tego było prawdopodobnie zbyt duże przewodnictwo wnętrza wiskerów zawierających jony domieszki w stosunku do zmian przewodnictwa powierzchniowego wywołanych chemisorpcją gazów. Na rys. 3 przedstawiono przykładowe zależności



Rys. 3. Względna zmiana rezystancji wiskerów  $\text{SnO}_2$  w funkcji temperatury

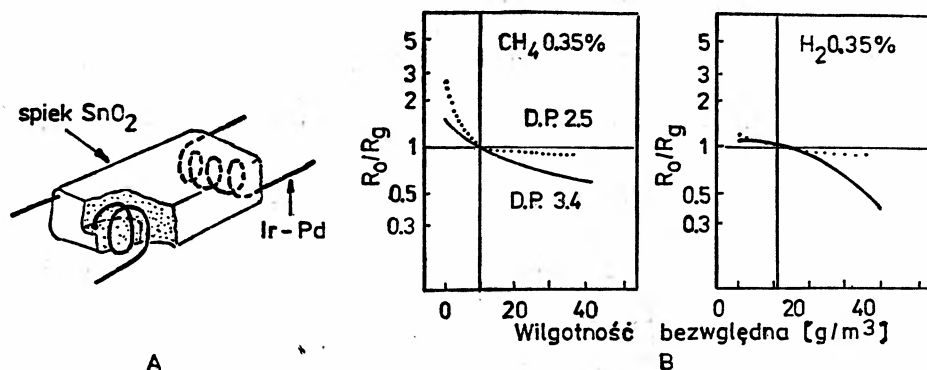
czułości niedomieszkowych czujników z  $\text{SnO}_2$  od temperatury dla 2% zawartości badanych gazów w powietrzu. Czas ustalania się sygnałów jest dla wiskerów stosunkowo krótki, poważny problem stanowi natomiast słaba powtarzalność wyników związana z dużym rozrzutem grubości otrzymywanych monokryształów.

Jak widać z powyższego przeglądu, czujniki monokrystaliczne charakteryzują się dobrą czułością i w zasadzie liniowymi charakterystykami w funkcji koncentracji badanych gazów. Omówione badania laboratoryjne wskazują na niewielką czułość poprzeczną urządzeń w odpowiednich przedziałach temperatur. Pierwsze próby wykorzystania  $\text{ZnO}$  w praktyce — jako detektorów produktów spalania pyłu węglowego w kopalniach — były jednak niezadowolające [13, 14]. Można jednakże przypuszczać, że dalsze badania pozwolą na wyeliminowanie wad czujników monokrystalicznych i rychłe zastosowanie ich w praktyce.

### 3.2. Czujniki ze spieków polikrystalicznych

W literaturze brak jednoznacznej definicji czujników tego rodzaju. Niektórzy autorzy zaliczają do czujników spiekanych (sintered sensors) także czujniki naniesione na podłoża ceramiczne technologią grubowarstwową (np. metodą sitodruku), a następnie wypalane w wysokiej temperaturze. W niniejszym artykule grupa ta została wyodrębniona (par. 3.3).

Porowatość i mikrostruktura czujnika polikrystalicznego mają ogromny wpływ na jego własności elektryczne. Mechanizmy adsorpcji wiążą się ściśle z wielkością powierzchni adsorbenta, jej właściwościami mechanicznymi oraz elektronowymi. W trakcie otrzymywania czujników tego typu wiele czynników może mieć wpływ na ich własności detekcyjne; stąd w produkcji seryjnej mogą wystąpić trudności z zachowaniem powtarzalności warunków otrzymywania, a więc i własności poszczególnych egzemplarzy czujników.

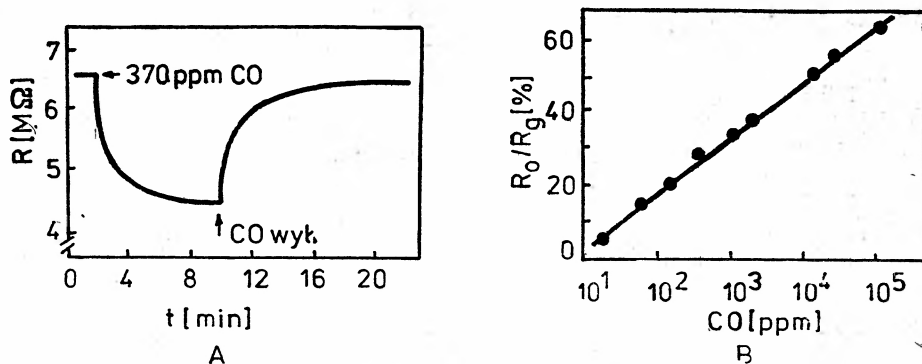


Rys. 4. Czujnik ze spieku  $\text{SnO}_2$ : A — budowa czujnika (jeden z drutów Ir-Pd służy równocześnie jako grzejnik), B — wpływ wilgoci na odpowiedź czujnika na 0,35%  $\text{CH}_4$  oraz 0,35%  $\text{H}_2$  w powietrzu. DP oznacza stopień polimeryzacji lepiszcza. Temperatura pracy  $300^\circ\text{C}$

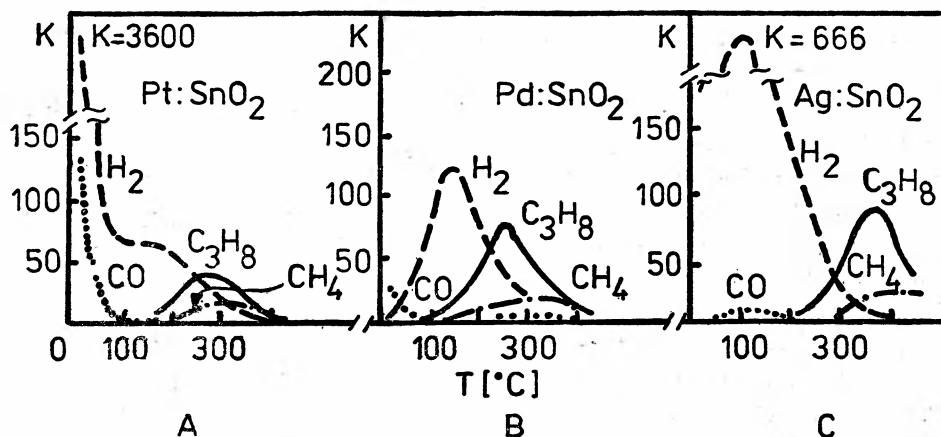
Na rys. 4a przedstawiono jako przykład czujnik wykonany ze spieku  $\text{SnO}_2$  [15]. W przygotowaniu tego czujnika korzystano z lepiszczy organicznych o różnym stopniu polimeryzacji. Na rys. 4b i 4c przedstawiono wpływ stopnia polimeryzacji lepiszcza na odpowiedzi czujników w obecności metanu i wodoru w funkcji wilgotności atmosfery.

W przeciwieństwie do powyższego czujnika, który pracował w temperaturze  $300^\circ\text{C}$ , czujnik CO wykonany z tlenku srebrowego ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) wykazywał bardzo dobre własności detekcyjne w temperaturze pokojowej [16]. Pastylka z  $\text{Ag}_2\text{O}$  o średnicy 13 mm i grubości 1,5 mm z naniesionymi elektrodami ze złota miała w powietrzu oporność omową (rezystancję) rzędu kilku  $\text{M}\Omega$ . Po wprowadzeniu do komory pomiarowej CO rezystancja pastylki wykazywała silny spadek, a reakcja ta była w pełni odwracalna (rys. 5a). Inną korzystną cechą tego czujnika jest liniowa charakterystyka w funkcji koncentracji CO w zakresie  $10^1$ — $10^5$  ppm (rys. 5b). Niewątpliwą wadą czujnika jest natomiast wrażliwość urządzenia na wpływ pary wodnej. Czynniki te mogłyby zostać prawdopodobnie wyeliminowane przez podwyższenie temperatury pracy czujnika, ale w pracy [16] brak jest danych na ten temat.

Dla materiałów spiekanych proces domieszkowania jest łatwy do przeprowadzenia i to w szerokim zakresie koncentracji domieszki. Dla czujnika, którego głównym składnikiem jest dwutlenek cyny ( $\text{SnO}_2$ ) zbadano wpływ domieszek metalicznych (Ag, Pt, Pd, Ni itp.) oraz związków ziem rzadkich na jego własności detekcyjne [17]. Badania przeprowadzono w zakresie temperatur  $20$ — $400^\circ\text{C}$  w różnych atmosferach. Czułość sensora ( $k$ ) zdefiniowano jako stosunek jego rezystancji mierzonej w atmosferze czystego powietrza do rezystancji w badanym gazie. Przykładowe wyniki dla czujników domieszkowanych Pt,



Rys. 5. Wpływ CO na rezystancję pastylki z  $Ag_2O$  (pomiar w temperaturze pokojowej): A — dynamika zmian pod wpływem 370 ppm CO w powietrzu, B — względna zmiana rezystancji pastylki w funkcji koncentracji CO



Rys. 6. Zmiany czułości czujników z  $SnO_2$  domieszkowanych: A — platyną, B — palladem, C — srebrem (w ilościach 5% wagowych) pod wpływem 0,8%  $H_2$ , 0,5%  $CH_4$ , 0,2%  $C_3H_8$ , 0,02%  $CO$ . Gaz nośny — powietrze

Pd oraz Ag przedstawiono na rys. 6. Można tu zauważyć szerokie możliwości sterowania zarówno czułością na poszczególne składniki atmosfery, jak i możliwość redukcji czułości poprzecznej.

Badając wpływ domieszkowania materiału czujnika jonami metali na jego własności elektronowe należy rozróżnić dwa rodzaje oddziaływania domieszki z materiałem podstawowym półprzewodnika. Jednym z nich jest oddziaływanie chemiczne, w którym domieszki biorą udział w procesach redokсовых zachodzących na powierzchni półprzewodnika. Można również mówić o specyficznych procesach powierzchniowych, które zachodzą z udziałem domieszki metalicznej. W odpowiednio wysokiej temperaturze cząsteczki adsorbentu wiążą się najpierw z atomami domieszki znajdującymi się na powierzchni półprzewodnika i dopiero w następnym etapie chemisorpcji migrują po jego powierzchni.

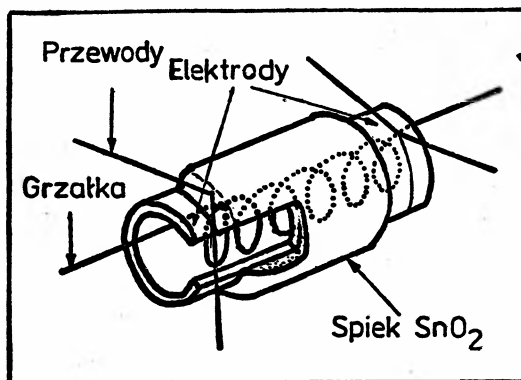
Kolejnym etapem jest reakcja z uprzednio zaadsorbowanym lub pochodzącym z sieci tlenem, powodując w efekcie wzrost przewodnictwa powierzchniowego (dla półprzewodnika typu  $n$ ). Takie oddziaływanie zaobserwowano np. dla  $\text{SnO}_2$  [18]. Drugim rodzajem oddziaływań jest oddziaływanie elektronowe, w którym domieszka stanowi donor lub akceptor elektronów. Adsorpcja gazu na powierzchni powoduje zmianę stanu elektronowego domieszki, a więc także zmianę przewodnictwa powierzchniowego materiału. Inne rodzaje oddziaływań, np. modyfikacja wysokości bariery na złączu metal-półprzewodnik zostaną omówione w rozdz. 4.

### 3.3. Czujniki grubowarstwowe

Oddziaływanie ciało stałe-gaz, które stanowi istotę chemisorpcji dotyczy stosunkowo cienkiej, przypowierzchniowej warstwy materiału. Zasadą działania czujników jest zmiana ich własności (np. elektronowych) pod wpływem zjawisk powierzchniowych. Im zatem stosunek powierzchni do objętości czujnika jest większy, tym bardziej jest on „wrażliwy” na kontakt z gazem. Najprostszym sposobem otrzymania czujnika, w którym stosunek powierzchni do objętości byłby duży jest konstrukcja czujników „warstwowych”. Pod tą nazwą należy rozumieć zarówno czujniki grubowarstwowe (o grubościach od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów) jak i cienkowarstwowe (o grubościach rzędu kilku tysięcy angstromów — do około  $1 \mu\text{m}$ ).

Cienkie lub grube warstwy półprzewodnikowe ze względu na swoją małą wytrzymałość mechaniczną muszą być nakładane na podłoża (najczęściej ceramiczne). Można tu wyróżnić dwa podstawowe rodzaje stosowanych podłoży, choć można spotkać się również z innymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Pierwszym czujnikiem grubowarstwowym była warstwa gazoczuła naniesiona na rurkę ceramiczną z umieszczoną wewnątrz spiralą grzejną [19]. Innym stosowanym rozwiązaniem jest nanoszenie warstw na płytki ceramiczne. Sensory grubowarstwowe otrzymuje się najczęściej metodą sitodruku, lub jeszcze prościej — przez „pomalowanie” podłoża pastą zawierającą materiał półprzewodnikowy. Kolejnymi etapami otrzymywania czujnika są suszenie i spiekanie w wysokiej temperaturze.

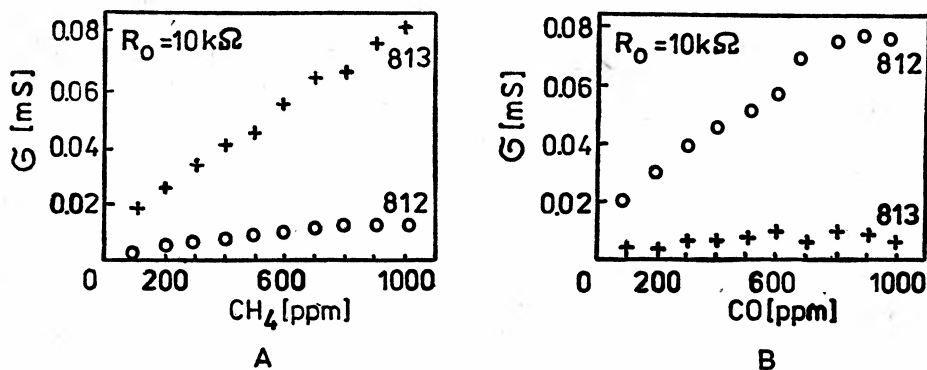
Powszechnie stosowanym czujnikiem grubowarstwowym, którego główny składnik stanowi  $\text{SnO}_2$  jest tzw. Taguchi Gas Sensor (TGS), który przedstawiono na rys. 7. Obok



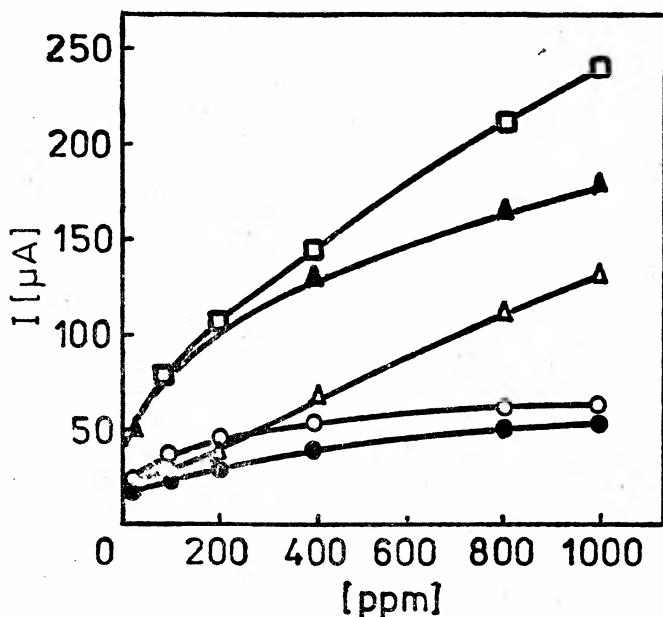
Rys. 7. Schemat konstrukcji czujnika typu TGS firmy FIGARO Eng

lepszycy zwiększających wytrzymałość mechaniczną, materiał sensora zawiera również cały szereg domieszek katalitycznych, które zwiększają czułość i selektywność urządzenia. Czujniki produkowane przez firmę FIGARO znalazły już szerokie zastosowania praktyczne — i to zarówno w przemyśle, jak i w gospodarstwach domowych. Brak niestety bliższych danych na temat ich składu. Przykładowe charakterystyki dwóch typów czujników TGS przedstawiono na rys. 8.

W pracy [20] omówiono czujnik wykonany z niedomieszkowanego  $\text{SnO}_2$  przeznaczony do analizy gazów spalinowych. Mierzono zmiany prądu czujnika (rzędu 50—100  $\mu\text{A}$ )



Rys. 8. Odpowiedź dwóch typów czujników TGS na: A — metan, B — tlenek węgla (○ — typ 812, + — typ 813)



Rys. 9. Odpowiedzi czujnika grubowarstwowego w funkcji koncentracji: ▲ — CO, ○ —  $\text{SO}_2$ , ● —  $\text{CH}_4$ , △ — CO+20 ppm NO, □ — CO+20 ppm  $\text{SO}_2$ . Gaz nośny — suche gazy spalinowe (syntetyczne). Temperatura pracy  $500^\circ\text{C}$



wywołane przez chemisorpcję CO, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub> i NO. Wymienione gazy mieszano z gazem nośnym o składzie odpowiadającym gazom spalinyowym (80% molowych N<sub>2</sub>, 15% mol. CO<sub>2</sub> i 5% mol. O<sub>2</sub>). Typowe przebiegi zależności prądu czujnika od koncentracji badanych gazów przedstawiono na rys. 9.

W swym opracowaniu z r. 1985, Göpel [21] niezbyt optymistycznie wypowiada się na temat perspektyw zastosowań czujników typu TGS. Czujniki te mają pewne wady — kłopoty z desorpcją gazów, silna wrażliwość na wilgoć atmosferyczną, często wysoki temperaturowy współczynnik rezystancji [22] — jak jednak wykazano w późniejszych badaniach nie brak im również zalet. Szczególnie obiecujące wydaje się ich zastosowanie w jakościowym oznaczaniu gazów redukujących. Czujniki grubowarstwowe ustępują wprawdzie zdecydowanie czujnikom monokrystalicznym i cienkowarstwowym w pomiarach ilościowych, lecz charakteryzują się krótkim czasem odpowiedzi i zdecydowanie niższą cenę [23].

### 3.4. Czujniki cienkowarstwowe

Jak wiadomo uzyskanie monokryształu czy cienkiej warstwy jest znacznie łatwiejsze niż opracowanie powtarzalnego, wielkoseryjnego tworzywa typu BL z kierunkowo wprowadzoną domieszką katalityczną (BL — ang. Boundary Layer — materiał polikrystaliczny, w którym granice ziarn mają inne własności niż ich wnętrza). Problemy degradacji tworzyw polikrystalicznych w czasie pracy czujników wymagają również indywidualnego podejścia technologicznego. Poprzez dalszą redukcję grubości warstwy gazoczułej (dla poprawienia stosunku powierzchnia/objętość) dochodzimy do tworzyw cienkowarstwowych. Należy sobie przy tym zdać sprawę z faktu, że nie można wyznaczyć ścisłej granicy pomiędzy warstwami cienkimi a grubymi. Dolną granicę cienkich warstw stanowi bez wątpienia granica ciągłości nanoszonego materiału, natomiast ustalenie górnej granicy zależy przede wszystkim od przewidywanego zastosowania danej warstwy. Można przyjąć, że górną granicę cienkich warstw określa zanikanie różnic we własnościach pomiędzy materiałem litym a cienkowarstwowym.

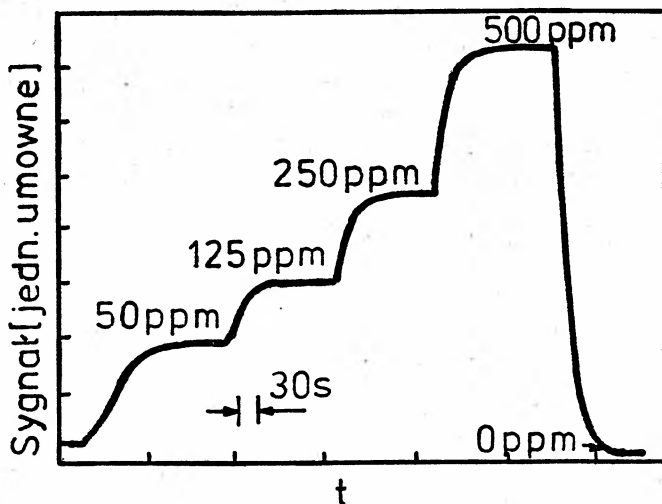
Istnieje szereg technologii, które umożliwiają nanoszenie jednorodnych elektrycznie cienkich warstw półprzewodnikowych zapewniając przy tym ich trwałość mechaniczną oraz powtarzalność procesu nanoszenia. Metody te można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- naporowywanie próżniowe,
- metody chemiczne,
- rozpylenie jonowe.

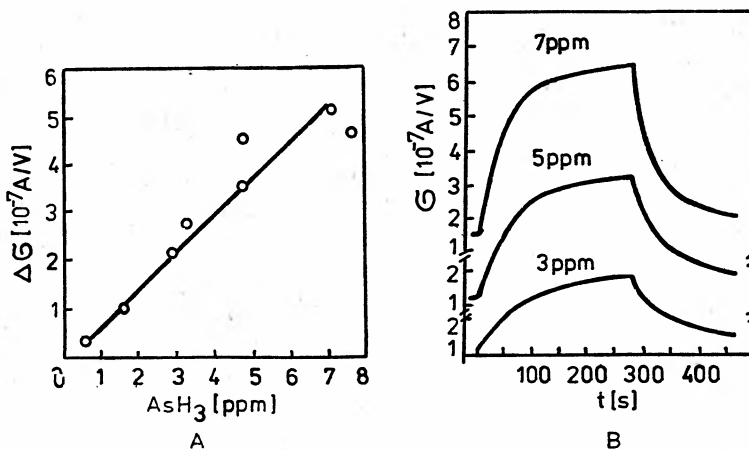
Opis powyższych metod, wraz z ich krytyczną analizą można znaleźć np. w pracy [24].

Wykorzystując metodę rozpylenia jonowego otrzymano cienkowarstwowy czujnik tlenku węgla wykonany z SnO<sub>2</sub> [25]. Czujnik ten wykrywa tlenek węgla w ilościach 1—100 ppm w atmosferze zawierającej tlen, parę wodną, dwutlenek siarki, tlenek azotu, dwutlenek węgla i azot. Przykłady dynamiki odpowiedzi tego czujnika przedstawiono na rys. 10. Charakteryzuje się on stosunkowo krótkim czasem odpowiedzi, a w zakresie stężeń CO powyżej 100 ppm jego charakterystyka jest praktycznie liniowa.

Innym przykładem cienkowarstwowego czujnika wykonanego z SnO<sub>2</sub> jest detektor arsenowodoru, wykrywający AsH<sub>3</sub> w bardzo niskich stężeniach — już w zakresie 1—10 ppm



Rys. 10. Odpowiedzi czujnika na zmianę koncentracji CO. Temperatura pracy 350°C



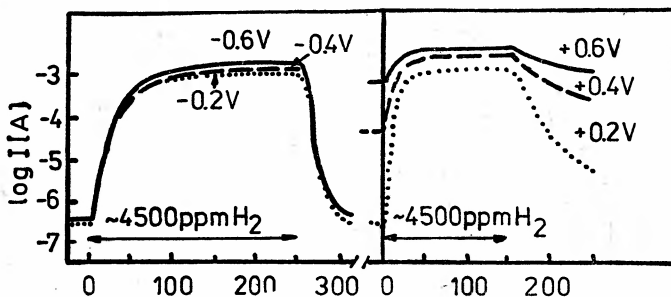
Rys. 11. Zmiana przewodnictwa czujnika  $\text{AsH}_3$ : A — charakterystyka czujnika, B — przykłady dynamiki odpowiedzi czujnika. Temperatura pracy 440°C

[26]. Zmiany przewodnictwa elektrycznego warstwy  $\text{SnO}_2$  w funkcji koncentracji  $\text{AsH}_3$  przedstawiono na rys. 11. Jak widać z rysunku zależność ta jest liniowa. Czas odpowiedzi czujnika jest jednak stosunkowo długi (rys. 11b). Pomimo dużej czułości poprzecznej na wodór, szanse praktycznego zastosowania tego czujnika są realne. Silnie trujący arsenowódor jest obecnie szeroko stosowany podczas procesów wzrostu epitaksjalnych warstw GaAs oraz w wielu procesach metalurgicznych.

Obok dwutlenku cyny bada się i stosuje jako czujniki również materiały oparte na innych tlenkach półprzewodnikowych. Przykładem może być czujnik wodoru, którego głównym składnikiem jest dwutlenek tytanu [27]. Pracuje on w temperaturze pokojowej,

wykrywając 400—3500 ppm  $H_2$  w powietrzu. Jest to czujnik wielowarstwowy (kolejne warstwy zbudowane są na przemian z  $TiO_2$  i  $Ti$ ) o charakterystyce prądowo-napięciowej typowej dla diody. Przykłady dynamicznych odpowiedzi tego czujnika przy dodatnim i ujemnym napięciu polaryzacji przedstawiono na rys. 12.

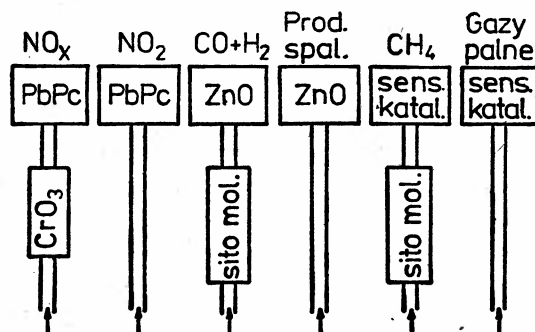
W ostatnich latach pojawiły się próby wykorzystania półprzewodników organicznych jako czujników takich gazów jak  $Cl_2$ ,  $NO_2$  czy  $F_2$ . Cienkie warstwy ftalocyaniny (lub jej



Rys. 12. Odpowiedź wielowarstwowego czujnika z  $TiO_2$  w funkcji czasu na 0,45%  $H_2$  w powietrzu w temperaturze pokojowej przy różnych napięciach polaryzacji

połączenia z ołowiem) nanoszono na podłoże z  $Al_2O_3$  [28]. Tak przygotowane czujniki miały liniowe charakterystyki w zakresie 1—10 000 ppm  $NO_2$  w powietrzu w temperaturze  $150^\circ C$ . Mierzone wartości przewodnictwa elektrycznego zarówno w powietrzu jak i w badanych gazach były stabilne i w pełni powtarzalne. Czasy odpowiedzi jak i powrotu sygnału do stanu początkowego nie przekraczały jednej minuty. Trwałość warstw o grubości ok. 700 nm przy ciągłej pracy w temperaturze ok.  $170^\circ C$  była rzędu kilku (do sześciu) miesięcy. Warstwy te były całkowicie nieczułe na najczęściej spotykane gazy trujące, takie jak  $CO$ ,  $H_2S$  czy  $NH_3$ .

Omówione powyżej czujniki półprzewodnikowe znalazły zastosowanie w systemie monitorowania atmosfery kopalnianej ze względu na zagrożenie pożarem [29]. W syste-

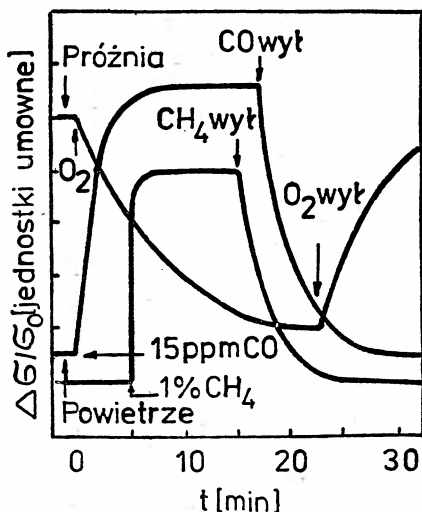


Rys. 13. Schemat systemu detekcji produktów spalania z zastosowaniem półprzewodnikowych czujników gazowych

mie tym użyto trzech typów czujników: monokrystalicznego  $ZnO$ , cienkiej warstwy ftalocyaniny oraz czujnika katalitycznego (pelistora). System pracował w konfiguracji przedstawionej na rys. 13. Jak widać, zastosowano dodatkowo oczyszczacze z sitami molekular-

nymi, które powodowały, że jedynie sygnał pochodzący od wodoru mógł zakłócić odpowiedź czujnika monokrystalicznego na CO. Niezadawalającym ogniwem tego systemu był czujnik  $\text{NO}_2$ , który wykazywał bardzo niskie stężenie  $\text{NO}_2$  wtedy, gdy detektor  $\text{NO}_x$  wskazywał koncentrację rzędu kilkudziesięciu ppm, natomiast detektor tlenku węgla wykazywał dobrą stabilność i wysoką czułość, przekraczającą niekiedy czułość konwencjonalnego analizatora wykorzystującego absorpcję w podczerwieni.

Również w Polsce prowadzi się prace nad zastosowaniem cienkowarstwowych detektorów półprzewodnikowych w przemyśle górniczym. Badano w warunkach laboratoryjnych cienkie warstwy  $\text{ZnO}$  oraz  $\text{SnO}_2$  [30, 31]. Na podstawie pomiarów zmian rezystancji warstw pod wpływem CO oraz tlenu otrzymano praktycznie liniową charakterystykę w funkcji koncentracji tlenu w zakresie do 22% obj.  $\text{O}_2$ . Rys. 14 przedstawia dynamikę odpowiedzi



Rys. 14. Dynamika odpowiedzi cienkowarstwowych czujników wykonanych z  $\text{SnO}_2$  domieszkowanego antymonem. Temperatura pracy  $300^\circ\text{C}$

cienkich warstw  $\text{SnO}_2$  domieszkowanego antymonem na przepływ tlenku węgla i metanu o różnych koncentracjach. Największe względne zmiany przewodnictwa elektrycznego pod wpływem CO zaobserwowano dla materiału zawierającego antymon w ilości 0,5–3% atomowych.

#### 4. Czujniki strukturyzowane

Pod pojęciem czujników strukturyzowanych rozumiemy takie układy typu MIS, w których adsorpcja gazu na powierzchni metalu lub izolatora wpływa na stan powierzchni półprzewodnika, a co za tym idzie również i na jego własności elektryczne.

Czujniki strukturyzowane wytwarza się zazwyczaj przy użyciu technologii stosowanych przy produkcji układów MOS [32–33]. W poniższym krótkim przeglądzie zostaną omówione rozwiązania zaproponowane dotychczas w tej dziedzinie. Podziału na grupy dokonano wedle zasady działania przyrządów.

#### 4.1. Dioda Schottky'ego i dioda tunelowa jako czujniki gazowe

Na złączu półprzewodnik-metal wytwarza się bariera potencjału, która sprawia, że układ taki zachowuje się jak dioda [34]. Pokonanie bariery potencjału może odbywać się na dwa sposoby: albo poprzez tzw. zimną emisję Schottky'ego, albo poprzez tunelowe przejście przez barierę. Zewnętrzne pole elektryczne wpływa na wysokość tej bariery, a więc również na wartość natężenia prądu płynącego przez złącze zgodnie ze wzorem podanym przez Schottky'ego [35]

$$i = AT^2 \exp\left(-\frac{\chi}{kT}\right) \exp\left(\frac{1}{kT} \sqrt{\frac{e^3 E}{4\pi \epsilon_0 \epsilon}}\right). \quad (3)$$

We wzorze tym  $E$  oznacza natężenie zewnętrznego pola elektrycznego (prostopadłego do złącza),  $e$  — ładunek elementarny,  $\epsilon_0$  i  $\epsilon$  — przenikalności dielektryczne próżni i półprzewodnika,  $k$  — stałą Boltzmanna,  $T$  — temperaturę w kelwinach,  $\chi$  — pracę wyjścia elektronu z metalu,  $A$  — stałą zależną od geometrii układu.

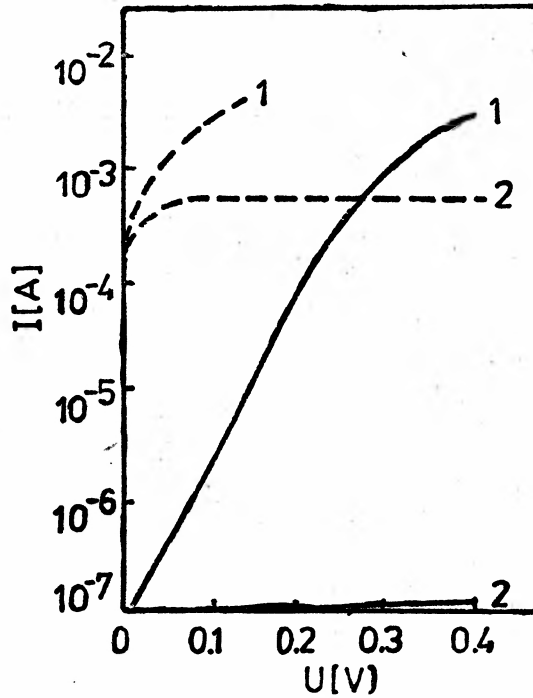
Zjawisko Schottky'ego zostało praktycznie wykorzystane w konstrukcji czujników gazowych, w których funkcję półprzewodnika pełni krzem [36, 37], względnie tlenek lub siarczek półprzewodnikowy [38—40].

Jak wynika ze wzoru (3) wartość natężenia prądu płynącego przez złącze jest między innymi funkcją pracy wyjścia elektronu z metalu. Adsorpcja gazu na powierzchni metalu lub jego dyfuzja poprzez metal do granicy faz metal-półprzewodnik powoduje zmianę pracy wyjścia. W czujniku opisanym w pracy [37] pomiędzy elektrodą palladową a płytką krzemową znajdowała się bardzo cienka (ok. 30 Å) warstwa  $\text{SiO}_x$ , której zadaniem jest przede wszystkim przeszkodzić utworzeniu się związku  $\text{PdSi}_x$  na złączu metal-półprzewodnik. Jak wiadomo, wodór dobrze rozpuszcza się w palladzie (w temperaturze pokojowej w jednej objętości palladu rozpuszcza się 350—850 objętości wodoru) i może się adsorbować na granicy faz  $\text{Pd-SiO}_x$ . W funkcji stężenia wodoru (a także temperatury) można mierzyć albo charakterystykę prądowo-napięciową utworzonej diody, albo zależność zespolonej przenikalności dielektrycznej od przyłożonego napięcia. Na rys. 15 przedstawiono charakterystykę prądowo-napięciową takiej diody w powietrzu wolnym od wodoru oraz w powietrzu zawierającym 154 ppm  $\text{H}_2$ . Z kolei na rys. 16 przedstawiono charakterystyki prądowo-napięciowe diody Pd-monokrystaliczny ZnO [39] w zależności od zawartości wodoru w atmosferze. Zmiana ta jest szczególnie widoczna dla polaryzacji w kierunku zaporowym; według pracy [40] bariera potencjału ulega obniżeniu o wielkość rzędu 1 V.

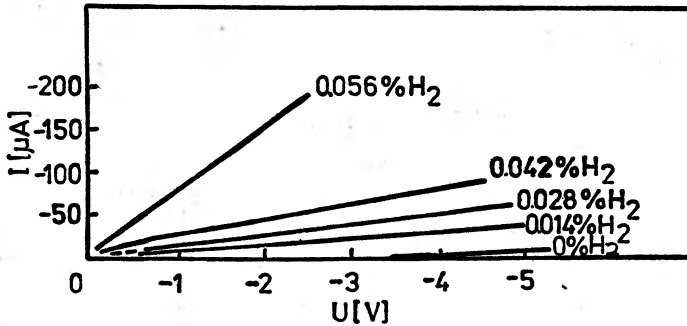
Nieco inne rozwiązanie przedstawione w pracy [41] opiera się na wykorzystaniu tunelowego przejścia przez cienką warstwę dielektryka ( $\text{SiO}_2$ ) znajdującego się pomiędzy metalem (Al) a półprzewodnikiem (Si). Wartość natężenia prądu płynącego przez taką diodę zależy między innymi od zawartości pary wodnej w powietrzu.

#### 4.2. Tranzystor polowy (FET) jako czujnik gazowy

W kolejnych konstrukcjach czujników wykorzystano tranzystory polowe (FET — Field Effect Transistor) o specjalnej budowie. Działanie tego tranzystora opiera się na wykorzystaniu efektu polowego, który polega na zmianie charakteru przypowierzchniowej



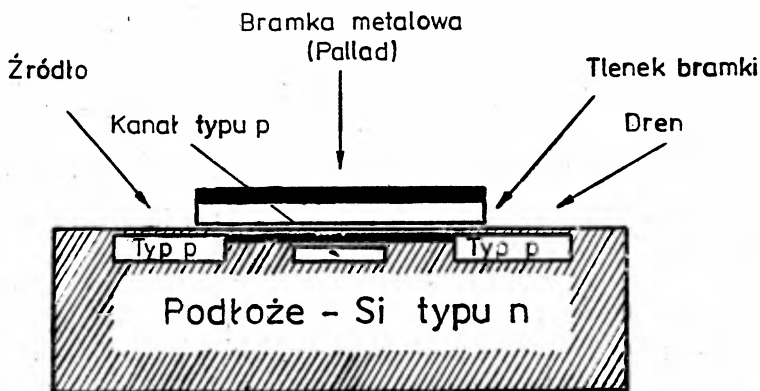
Rys. 15. Charakterystyki prądowo-napięciowe diody Pd/SiO<sub>x</sub>/Si. ----- powietrze, ——— 154 ppm H<sub>2</sub> w powietrzu, 1 — polaryzacja w kierunku przewodzenia, 2 — polaryzacja w kierunku zaporowym



Rys. 16. Charakterystyki prądowo-napięciowe diody Pd/ZnO w powietrzu o różnej zawartości wodoru. Polaryzacja w kierunku zaporowym

warstwy półprzewodnika pod wpływem przyłożonego zewnętrznego pola elektrycznego. Zmiana ta może mieć charakter zarówno ilościowy (zmiana koncentracji nośników w tzw. kanale przypowierzchniowym), jak i jakościowy (tworzenie się tzw. warstwy inwersyjnej). Charakterystyka tranzystora polowego jest analogiczna do charakterystyki triody [34, 42, 43].

Pierwsze próby wykorzystania tranzystora polowego podjęto w połowie lat siedemdziesiątych [44—46]. W rozwiązaniach tych wykorzystywano wspomniane w poprzednim rozdziale własności palladu (rozpuszczanie wodoru), z którego wykonano bramkę tranzystora (w normalnych tranzystorach polowych bramki wykonuje się z Al). Na rys. 17 przedsta-



Rys. 17. Schemat tranzystora polowego MOS czułego na zawartość wodoru w atmosferze (grubość warstwy tlenku w obszarze bramki wynosi 10 nm, w pozostałym obszarze 200 nm, szerokość kanału 20  $\mu\text{m}$ , długość kanału 100  $\mu\text{m}$ )

wiono schemat budowy tranzystora polowego, którego źródło i dren przykryto ochronną warstwą tlenku. Absorpcja i dysocjacja wodoru w palladzie powodują zmianę pracy wyjścia elektronu z palladu. Dyfuzja wodoru poprzez pallad do granicy faz metal-tlenek umożliwia adsorpcję wodoru na tej granicy i modyfikację podwójnej warstwy elektrycznej (a także zmianę natężenia pola elektrycznego). Napięcie progowe tranzystora ulega zmianie zgodnie z poniższym wzorem [35]

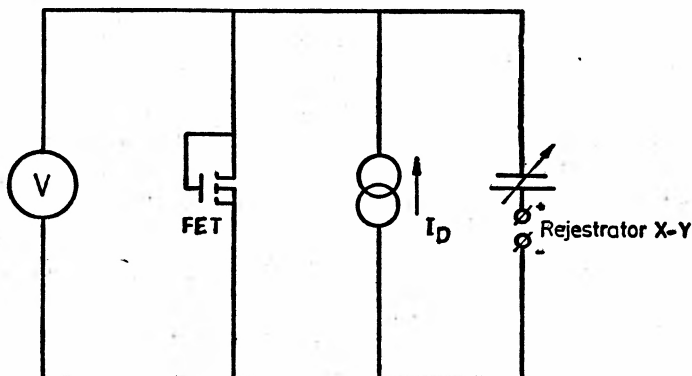
$$V_T = \Phi_{MS} - \frac{Q_B}{C_{ox}} + 2\Phi_F, \quad (4)$$

gdzie  $V_T$  oznacza napięcie progowe tranzystora (tj. takie napięcie, przy którym wytwarza się kanał przewodzący pomiędzy źródłem a drenem),  $Q_B$  — gęstość ładunku objętościowego,  $\Phi_{MS}$  — różnicę pracy wyjścia pomiędzy metalem bramki a półprzewodnikiem,  $C_{ox}$  — pojemność warstwy tlenku, a  $\Phi_F$  — poziom Fermiego w metalu.

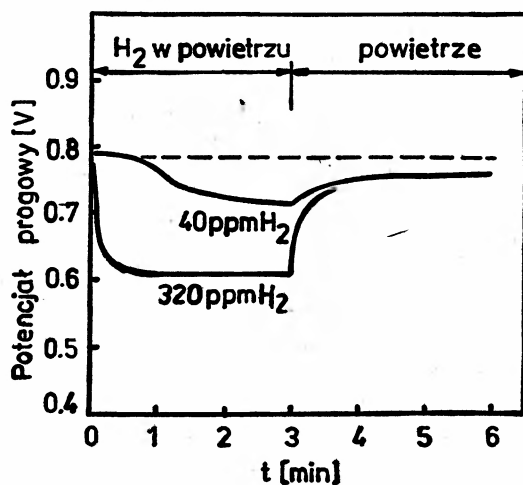
Na rys. 18a przedstawiono typowy obwód do pomiaru zmian potencjału progowego tranzystora. W obszarze nasycenia ( $V_D \geq (V_G - V_T) \geq 0$ , dla tranzystora z kanałem typu  $n - V_G, V_S, V_D$  oznaczają odpowiednio potencjały bramki, źródła i drenu) prąd płynący przez kanał dany jest wyrażeniem [35]

$$I_D = \beta(V_G - V_T)^2, \quad (5)$$

gdzie  $\beta$  jest stałą zależną od takich parametrów jak geometria urządzenia czy ruchliwość nośników. Na rys. 18b przedstawiono zmiany potencjału progowego tranzystora z bramką Pd w funkcji czasu w temperaturze 150°C w atmosferze zawierającej wodór oraz po usunię-



A



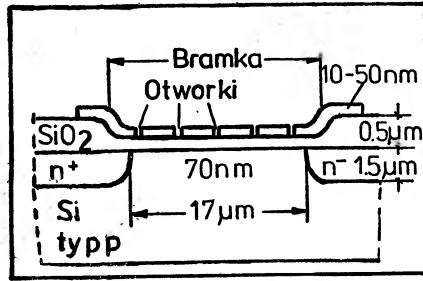
B

Rys. 18. Tranzystor polowy MOS jako czujnik wodoru: A — typowy obwód pomiarowy, B — zmiany potencjału progowego w czasie, w różnych mieszkankach gazowych w temperaturze 150°C

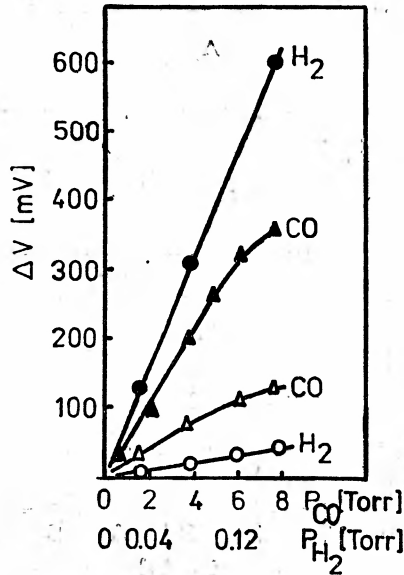
ciu wodoru z atmosfery [44]. Czujnik taki można wykorzystywać również do detekcji innych gazów zawierających wodór, takich jak amoniak [46] czy siarkowodór [47], a także do określenia stężenia gazów reagujących z wodorem na powierzchni palladu (np. tlenu lub azotu).

Nieco inne rozwiązanie przedstawiono w pracy [48] proponując tranzystor polowy o specjalnej konstrukcji bramki (rys. 19a). Tranzystor z kanałem wzbogaconym wykonano na podłożu typu *p*, a ochronna warstwa tlenku o grubości 10–20 nm pokrywa również źródło i dren. W bramce z cienkiej warstwy Pd o grubości 10–20 nm wykonano na całej długości otwory o średnicy 1,5–3  $\mu\text{m}$ . Otwory te umożliwiają dyfuzję gazu poprzez metal bramki aż do granicy faz metal-tlenek. Obliczono, że maksymalna zmiana potencjału progowego towarzysząca adsorpcji CO powinna wynosić 1,9 V, natomiast obserwuje się





A



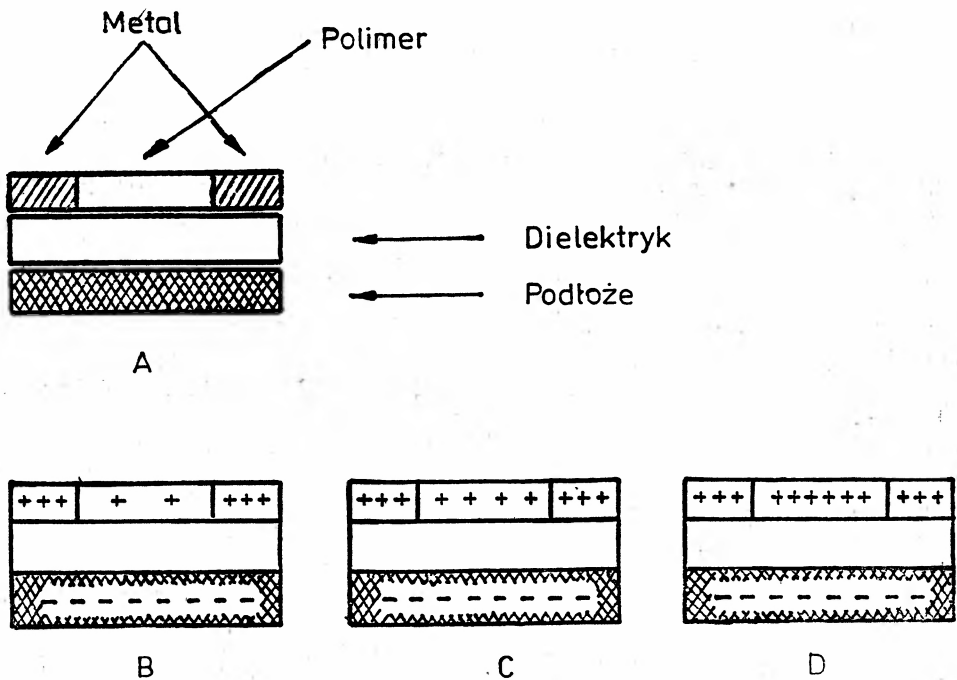
B

Rys. 19. Tranzystor polowy MOS z „dziurkowaną” bramką z Pd: A — przekrój tranzystora, B — zmiany potencjału progowego czujnika w funkcji ciśnienia parcjalego tlenu węgla i wodoru w powietrzu. Kółka zaczerznione — brak warstwy ochronnej, kółka puste — warstwa ochronna z Al

zmianę rzędu 0,9 V. Ponieważ eksperymenty prowadzono w atmosferze zawierającej tlen, odchylenie to wyjaśniono częściową adsorpcją tlenu i niedostępnością wszystkich centrów powierzchniowych dla adsorpcji CO. Na rys. 19b przedstawiono typowy przebieg zmian potencjału progowego wraz ze wzrostem zawartości tlenu węgla w powietrzu. Na rysunku tym zilustrowano również znaczną czułość poprzeczną tego tranzystora na wodór, którą można obniżyć pokrywając powierzchnię bramki ochronną warstwą aluminium. Typowy czas odpowiedzi tego czujnika wynosi ok. 150 s. Czułość tego tranzystora wynosi dla wodoru w powietrzu 10 ppm, dla tlenu węgla 0,05 Torr (ok. 100 ppm). Czujnik taki może być zatem z powodzeniem stosowany jako wykrywacz przecieków w instalacjach czy jako sygnalizator alarmowy.

Z innych rozwiązań wykorzystujących efekt polowy wymienić należy tzw. tranzystor z otwartą bramką (OG FET — Open Gate FET) pozbawiony w ogóle bramki metalicznej. W rozwiązaniu tym, opisanym szczegółowo w pracy [49], kanał przewodzący powstaje dopiero po adsorpcji gazu i wytworzeniu się na powierzchni tlenku podwójnej warstwy elektrycznej. Czujnik ten może służyć do wykrywania gazów, których cząsteczki mają niezerowy moment dipolowy jak np. para wodna, alkohol czy czterochlorek węgla. Adsorpcyjny tranzystor polowy (AD FET) opatentowany w 1974 r. [50] charakteryzuje się stosunkowo cienką warstwą tlenku ( $< 5 \mu\text{m}$ ) w porównaniu do zwykle stosowanej (ok.  $80 \mu\text{m}$ ). Powoduje to, że czas jego odpowiedzi przy wykrywaniu gazów polarnych jest bardzo krótki (rzędu kilku sekund).

Tranzystor polowy z przepływem ładunku (Charge Flow Transistor — CFT) [51—54] różni się od pozostałych szczególną konstrukcją elektrody bramki. Jej środkowa część



Rys. 20. Zasada działania kondensatora z „przepływem ładunku”: A — schemat budowy, B, C, D — kolejne fazy ładowania kondensatora

została wykonana z „polimeru” — materiału o stosunkowo dużej rezystancji. Ładunek elektryczny w takiej elektrodzie rozchodzi się więc stopniowo, co pokazano schematycznie na rys. 20, przedstawiającym zasadę działania kondensatora „z przepływem ładunku”. Kanał przewodzący w tranzystorze z taką bramką powstaje więc stopniowo. Działający na tej zasadzie czujnik można wykorzystać do pomiaru wilgotności, jeśli rezystancja „polimeru” zależy od zawartości pary wodnej w powietrzu. Podobnie działa urządzenie do pomiaru poziomu wilgotności wewnątrz układów scalonych, w którym funkcję „polimeru” pełni cienka warstwa utlenionego glinu [55].

## 5. Wnioski

Jak widać z powyższego krótkiego przeglądu rozwiązań w zakresie półprzewodnikowych czujników gazowych, ta dynamicznie rozwijająca się gałąź fizykochemii ciała stałego i elektroniki odgrywa coraz większą rolę w analizie gazów. W początkowych badaniach nad opracowaniem konstrukcji czujników istotny problem stanowiło otrzymanie materiałów o powtarzalnych własnościach fizykochemicznych. Była to główna wada czujników ze spieków polikrystalicznych. Zastosowanie nowoczesnych technologii grubo- i cienkowarstwowych, a także technologii MOS pozwoliło na znaczne obniżenie kosztów a przy tym na uzyskanie czujników o powtarzalnych charakterystykach.

Materiały stanowiące podstawę do napisania powyższego artykułu zebrano w ramach prac prowadzonych dla CPBR 6.6.60.

## Literatura

- [1] A. A. Saaman, P. Bergveld, *Sensors & Actuators* 7, 75 (1985).
- [2] J. N. Zemel, J. Van der Spiegel, T. Fare, J. C. Young, „Recent Advances in Chemically Sensitive Electronic Devices”, w: *Fundamentals and Applications of Chemical Gas Sensors*, *Am. Chem. Soc.* 1, 1—38, (1986).
- [3] P. Bergveld, N. F. De Rooij, *Sensors & Actuators* 1, 5 (1981).
- [4] P. Bergveld, *Sensors & Actuators* 1, 17 (1981).
- [5] G. Heiland, *Z. Phys.* 138, 459 (1954).
- [6] G. Heiland, *ibid.* 148, 15 (1957).
- [7] G. Heiland, H. Luth w: *Adsorption on Oxides*, t. 3, red. F. Seitz, D. Turnbull, Academic Press, N. Y. 1959, str. 191.
- [8] S. Baker, G. G. Roberts, M. C. Petty, *Proc. IEEE* 1 130, 260 (1983).
- [9] G. Heiland, D. Kohl, *Proc. Int. Conf. Solid State Sensors-Transducers'85* (1985), str. 260.
- [10] B. Bott, T. A. Jones, B. Mann, *Sensors & Actuators* 5, 65 (1984).
- [11] M. Egashira, Y. Yoshida, S. Kawasumi, *Sensors & Actuators* 9, 147 (1986).
- [12] S. C. Kashyap, *J. Appl. Phys.* 44, 4381 (1973).
- [13] N. W. Hurst, T. A. Jones, B. Mann, R. L. van Ewyk, P. Walden, *Fire & Materials* 9, 9 (1985).
- [14] N. W. Hurst, T. A. Jones, B. Mann, *ibid* 9, 23 (1985).
- [15] S. Yasunaga, S. Sunahara, K. Ihokura, *Sensors & Actuators* 9, 133 (1986).
- [16] N. Yamamoto, S. Tonomura, T. Matsuoka, H. Tsubomara, *Jpn. J. Appl. Phys.* 20, 721 (1981).
- [17] N. Yamazoe, Y. Kurokawa, T. Seyiama, *Sensors & Actuators* 4, 283 (1983).
- [18] T. B. Reed, J. R. Roddy, A. N. Mariano, *J. Appl. Phys.* 33, 1014 (1962).
- [19] N. Taguchi, *US Patent* 3, 625, 756 (1971).
- [20] P. Romppainen, H. Torvela, J. Väänänen, S. Leppävuori, *Sensors & Actuators* 8, 271 (1985).
- [21] W. Göpel, *Tech. Mess.* 52, 47 (1985).
- [22] E. D. Micklin, *Termoriezistory*, Moskwa 1983.
- [23] *Du Pont de Nemours Electronic Materials Seminar*, 1983.
- [24] J. Przyłuski, K. Brudzewski, M. Zagórska, *Cienkie warstwy*, cz. I Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1979.
- [25] H. Windishmann, P. Park, *J. Electrochem. Soc.* 126, 627 (1979).
- [26] W. Mokwa, D. Kohl, G. Heiland, *Sensors & Actuators* 8, 101 (1981).
- [27] L. A. Harris, *J. Electrochem. Soc.* 127, 2657 (1980).
- [28] B. Bott, T. A. Jones, *Sensors & Actuators* 5, 13 (1984).

- [29] B. Bott, T. A. Jones, *ibid* 9, 19 (1986).
- [30] Z. Szklarski, *Mech. Autom. Górń. 2*, 38 (1982).
- [31] Z. Szklarski, M. Rekas, *Proc. Int. Symp. Solid State Chem.*, Karlovy Vary 1986, str. 165.
- [32] *Procesy technologiczne w elektronice półprzewodnikowej*, Praca zbiorowa, WNT, Warszawa 1980.
- [33] J. N. Zemel, *Research-Development* 4, 38 (1977).
- [34] G. I. Epifanow, *Fizyczne podstawy mikroelektroniki*, WNT, Warszawa 1976.
- [35] S. M. Sze, *Physics of Semiconductors*, Wiley Interscience, New York 1969.
- [36] B. Keramati, J. N. Zemel, *J. Appl. Phys.* 53, 1091 (1982).
- [37] S. J. Fonash, H. Huston, S. Ashok, *Sensors & Actuators* 2, 363 (1982).
- [38] K. Ito, *Surf. Sci.* 86, 345 (1979).
- [39] N. Yamamoto, S. Tonomura, T. Matsuoka, H. Tsubamara, *ibid.* 92, 409 (1980).
- [40] M. C. Steele, B. A. MacIver, *Appl. Phys. Lett.* 28, 687 (1976).
- [41] M. Duszak, A. Jakubowski, W. Sękulski, *Thin Solid Films* 75, 379 (1981).
- [42] *Układy scalone MOS LSI*, red. W. M. Penney, L. Lau, WNT, Warszawa 1979.
- [43] R. S. C. Cobbold, *Teoria i zastosowanie tranzystorów polowych*, WNT, Warszawa 1974.
- [44] I. Lundström, M. S. Shivaraman, C. Svensson, *Appl. Phys. Lett.* 26, 55 (1975).
- [45] I. Lundström, M. S. Shivaraman, C. Svensson, *Surf. Sci.* 64, 497 (1977).
- [46] K. I. Lundström, M. S. Shivaraman, C. Svensson, *J. Appl. Phys.* 46, 3876 (1975).
- [47] M. S. Shivaraman, *J. Appl. Phys.* 47, 3592 (1976).
- [48] D. Krey, K. Dobos, G. Zimmer, *Sensors & Actuators* 3, 169 (1982/83).
- [49] B. Thornstensen, *Field Effect Studies of Gas Adsorption on Oxidized Silicon Surfaces*, Techn. Univ. Thesis, Trondheim (Norwegia) 1980.
- [50] F. Cox, *US Patent* 3, 861, 432 (1974).
- [51] S. D. Senturia, C. M. Sechen, J. A. Wishneusky, *Appl. Phys. Lett.* 30, 106 (1977).
- [52] S. D. Senturia, *UK Patent Appl.* 2, 008,315 (1979).
- [53] S. D. Senturia, M. D. Huberman, R. Van der Kloot, *NBS Spec. Publ. (USA)*, No 40069, 108 (1981).
- [54] S. D. Senturia, *Sensors & Actuators* 4, 507 (1983).
- [55] T. M. Davidson, S. D. Senturia, *Proc. IEEE Int. Rel. Phys. Symp.*, 1982, str. 249.

Paola Bicchi

Istituto di Fisica  
 Università di Siena  
 Siena, Włochy

## Wpływ pompowania optycznego atomów alkalicznych na tworzenie się cząsteczek

### Effect of the Optical Pumping of Alkali Atoms on Molecule Formation

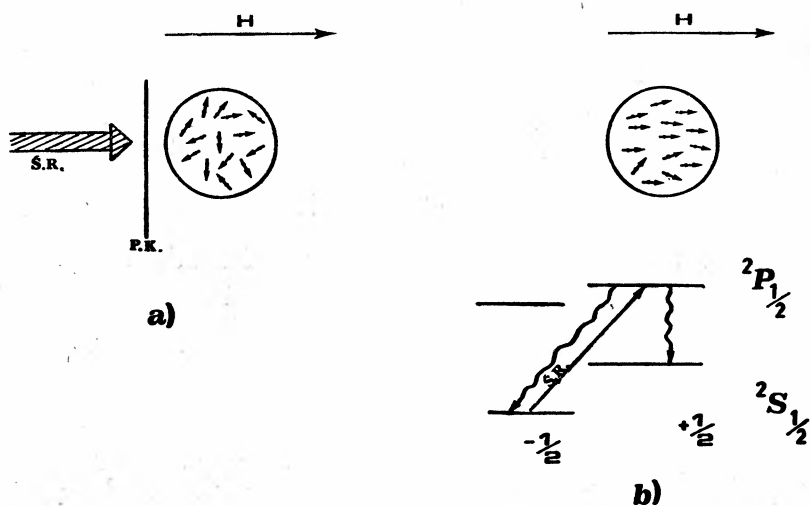
*Abstract:* In this paper the general features of optical pumping are briefly recalled. The application of this technique to the control of chemical equilibrium between alkali atoms and dimers in the gas phase is dealt with, both theoretically and experimentally. The most recent results in some alkalis and alkali mixtures are reported.

#### 1. Wstęp

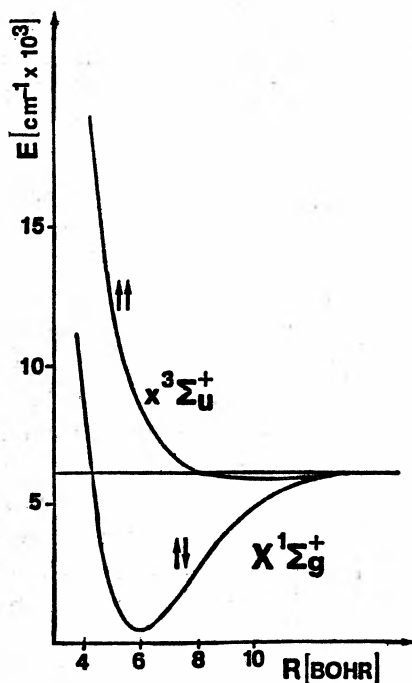
Podpoziomy zeemanowskie danego poziomu struktury subtelnej atomu, różniące się wartością magnetycznej liczby kwantowej  $m_J$ , w nieobecności zewnętrznego pola magnetycznego są zdegenerowane. Po przyłożeniu pola, które całkowicie znosi tę degenerację, są one na ogół na tyle bliskie, że zgodnie z prawem Boltzmanna ich obsadzenia są jednakowe z dokładnością do czynnika  $\exp[-|E_{m_J} - E_{m_J'}|/kT]$ , gdzie  $E_{m_J}$  i  $E_{m_J'}$  oznaczają energie sąsiednich stanów zeemanowskich,  $k$  jest stałą Boltzmanna, a  $T$  oznacza temperaturę pary atomowej mierzoną w kelwinach (K).

W 1950 r. Kastler [1] zwrócił uwagę na możliwość znacznego zróżnicowania obsadzeń podpoziomów zeemanowskich w stanie podstawowym atomu, jak również w jego stanie wzbudzonym, wskutek absorpcji i rozproszenia światła rezonansowego o odpowiedniej polaryzacji. Oznacza to, że wskutek „pompowania” promieniowaniem oświetlającym parę atomową wzdłuż wybranego kierunku, duża liczba atomów może się znaleźć w wybranym podpoziomie, powiedzmy, stanu podstawowego. Idea takiego doświadczenia<sup>1</sup> jest pokazana na rys. 1. Komórka zawierająca paramagnetyczne atomy o przypadkowo ustawionych spinach jest oświetlana promieniowaniem rezonansowym spolaryzowanym kołowo, rozchodzącym się wzdłuż kierunku stałego pola magnetycznego o małym natężeniu (rys. 1a). Po absorpcji i spontanicznej reemisji, a zatem po rozproszeniu światła pompującego, zespół atomów pozostaje zorientowany wzdłuż kierunku pola  $H$ , co oznacza, że większość spinów atomów ustawia się w tym kierunku. Jest to konsekwencją przepompowania obsadzeń atomów w stanie podstawowym  $^2S_{1/2}$  do podpoziomu o magnetycznej liczbie kwantowej  $m_J = +1/2$  (rys. 1b).

<sup>1</sup> W *Postęпах Fizyki* pompowanie optyczne było wielokrotnie opisywane m. in. w artykułach T. Skałińskiego: 9, 515 (1958); 13, 27 (1962); 18, 131 (1967); 37, 3 (1986) (przyp. tłum.).



Rys. 1. Schemat pompowania optycznego atomów w stanie podstawowym. a) Zbiór atomów o przypadkowym ustawieniu spinów jest oświetlony światłem rezonansowym spolaryzowanym kołowo. b) Do zespołu atomów zostaje wprowadzony porządek i para wykazuje pewien stopień orientacji wzdłuż kierunku pola magnetycznego H. Oznaczenia: P. K. — polaryzator kołowy, S. R. — światło rezonansowe

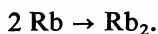


Rys. 2. Krzywe potencjalne stanów podstawowych: singletowego i tripletowego cząsteczki  $\text{Na}_2$

Atomy metali alkalicznych są paramagnetyczne. Kiedy dwa takie atomy zderzają się, oddziaływanie między nimi może być opisane potencjałem odpychającym lub przyciągającym, w zależności od względnego ustawienia ich spinów. Jedynie w drugim przypadku zderzenie może prowadzić do utworzenia cząsteczki dwuatomowej w singletowym stanie podstawowym, który jest stanem związanym. Na rys. 2 pokazano krzywe potencjalne najniższej położonych stanów: singletowego i tripletowego dla przypadku cząsteczki Na<sub>2</sub> [2].

W parze dowolnego metalu alkalicznego pod nieobecność orientacji atomowej ustala się równowaga dynamiczna między liczbą atomów i dimerów, a wartość stałej równowagi  $K$  zależy tylko od temperatury pary. Jak się przekonaliśmy, tworzenie się dimerów w stanie związanym zależy od względnej orientacji spinów zderzających się atomów. Zatem optyczna orientacja atomów pary może wywierać wpływ na wartość stałej równowagi  $K$ .

R. Bernheim [3] w 1965 r. jako pierwszy zwrócił uwagę na możliwość wykorzystania pompowania optycznego jako metody wpływania na wartość stałej równowagi procesu formowania się cząsteczki dwuatomowej



Rzeczywiście, jeżeli para atomowa jest zorientowana, większość atomów ma uporządkowane ustawienie spinów i zderzenie atomów o spinach równoległych staje się bardziej prawdopodobne, co prowadzi do zmniejszenia liczby cząsteczek. Stopień orientacji  $S$  pary atomowej jest zdefiniowany jako

$$S = \frac{A_+ - A_-}{A_+ + A_-},$$

gdzie koncentracja atomów w stanie o  $m_j = +1/2$  jest oznaczona przez  $A_+$ , a w stanie o  $m_j = -1/2$  przez  $A_-$ . Całkowita koncentracja atomów w parze wynosi  $A = A_+ + A_-$ .

W 1968 r., w pracy opublikowanej w *Acta Physica Polonica* [4] Kastler dokonał analizy rachunkowej omawianego zjawiska i podał wzór wyrażający zależność stałej  $K$  od stopnia orientacji  $S$ . Rozważania teoretyczne na temat tworzenia się cząsteczek w zorientowanej parze atomowej nie od razu zostały zweryfikowane w doświadczeniu. Przyczyną było to, że pozornie proste doświadczenie okazało się wysoce kłopotliwe do przeprowadzenia. A oto krótki opis typowego doświadczenia, w którym przede wszystkim należy wytworzyć orientację pary za pomocą odpowiednio spolaryzowanego i ukierunkowanego promieniowania rezonansowego i wyznaczyć stopień tak uzyskanej orientacji, na przykład metodą pomiaru aktywności optycznej pary atomowej [5, 6].

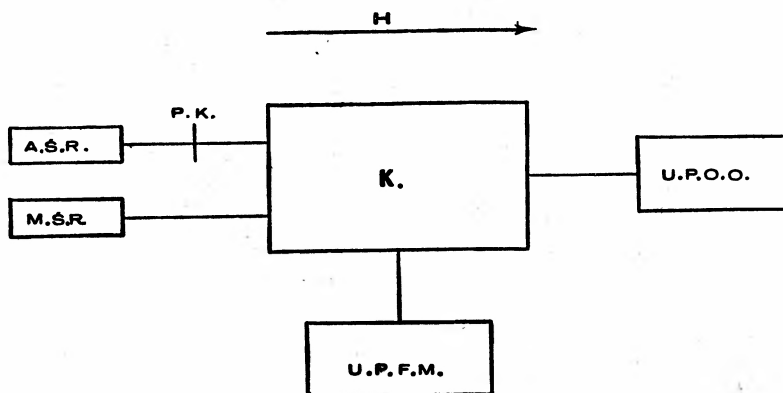
W tym miejscu warto przypomnieć, że aktywność optyczna zorientowanej pary atomowej została po raz pierwszy zaobserwowana w 1962 r. [5] przez Adriano Gozziniego (laureata Medalu Mariana Smoluchowskiego za rok 1981). Od tej pory pomiar zdolności skręcającej optycznie napompowanego ośrodka stał się jednym z najdokładniejszych sposobów wyznaczania stopnia orientacji  $S$  pary atomowej [2]. Zjawisko to można opisać w kilku słowach posługując się rys. 1.b. Po naświetleniu pary atomowej promieniowaniem rezonansowym o polaryzacji  $\sigma^+$  następuje częściowe przepompowanie obsadzeń ze stanu o  $m_j = -1/2$  do stanu o  $m_j = +1/2$ . Po osiągnięciu stanu równowagi natężenie przechodzącego przez ośrodek światła o polaryzacji  $\sigma^+$  nie zmienia się. Ośrodek staje się przezroczysty dla tego światła, ale pochłania światło rezonansowe o polaryzacji  $\sigma^-$ . Jeżeli zatem

zorientowana para atomowa jest oświetlana promieniowaniem nieco odstrojonym od ścisłego rezonansu, ale o polaryzacji liniowej, którą można traktować jako wypadkową polaryzacji  $\sigma^+$  i  $\sigma^-$ , obserwuje się obrót płaszczyzny polaryzacji o kąt

$$\vartheta = (\pi/\lambda)(n^+ - n^-)l,$$

gdzie  $\lambda$  jest długością fali światła rezonansowego,  $n^+$  i  $n^-$  są współczynnikami załamania w ośrodku światła o polaryzacji kołowej prawo ( $\sigma^+$ ) i lewo ( $\sigma^-$ ) skrętniej, a  $l$  jest długością drogi, jaką światło przebywa w zorientowanej parze.

Wracając do omawianego doświadczenia trzeba dodać, że jednocześnie z pomiarem stopnia orientacji pary atomowej należy mierzyć natężenie fluorescencji cząsteczkowej, ponieważ jest ono proporcjonalne do koncentracji dimerów. Aby ocenić wielkość efektu, natężenie fluorescencji cząsteczkowej winno być też mierzone w nieobecności pompowania optycznego. Na rys. 3 pokazano schemat blokowy takiego doświadczenia.



Rys. 3. Schemat blokowy typowego układu doświadczenia. Oznaczenia: K — komórka, A. S. R. — atomowe światło rezonansowe, P. K. — polaryzator kołowy, M. S. R. — cząsteczkowe światło rezonansowe, H — pole magnetyczne, U. P. F. M. — układ pomiarowy fluorescencji cząsteczkowej, U. P. O. O. — układ pomiarowy orientacji optycznej

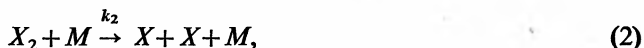
Największa trudność bierze się stąd, że pompowanie optyczne w parach metali alkalicznych jest efektywne dla temperatury, przy której koncentracja dimerów, a co za tym idzie także natężenie fluorescencji cząsteczkowej jest skrajnie małe. Z drugiej strony, w parze o temperaturze dostatecznie wysokiej, dla której koncentracja cząsteczek jest odpowiednio duża, stopień orientacji optycznej jest bardzo mały. Duża koncentracja atomów sprzyja zderzeniom dezorientującym, prowadzącym do równomiernej redystrybucji atomów we wszystkich podpoziomach. Ponadto, wskutek dużej gęstości pary atomowej, światło rezonansowe rozchodzące się wzdłuż osi komórki jest prawie w całości pochłaniane na drodze pierwszych kilku milimetrów. Oznacza to, że orientacja jest wytwarzana tylko w bardzo małej części objętości zajmowanej przez parę atomową. Zatem, aby przeprowadzić opisane tu doświadczenie niezbędne jest zapewnienie warunków pozwalających na kompromis między wymogiem dostatecznie niskiej temperatury pary i możliwością pomiaru dosyć słabej fluorescencji cząsteczkowej.



Z tego powodu dopiero w cztery lata po ukazaniu się artykułu Kastlera [4] została opublikowana pierwsza doświadczalna weryfikacja przedstawionych w nim rozważań. Wytrawni eksperymentatorzy z Pizy, a mianowicie G. Alzetta, A. Gozzini i L. Moi w ciekawie zaplanowanym doświadczeniu [7] wykazali, że w obecności pompowania optycznego w parach potasu maleje natężenie fluorescencji cząsteczek  $K_2$ . Dwa lata później H. G. Weber i M. Stock z Heidelbergu zaobserwowali podobny efekt w parach sodu i wykazali, że w wyniku zderzeń atom-dimer polaryzacja atomowa może być przekazana jądrum cząsteczek [8]. W doświadczeniu przeprowadzonym w Pizie [7] nie można było sprawdzić zależności stałej  $K$  od  $S$ , ponieważ źródłem światła pompującego parę atomową była lampa i używany stopień orientacji był bardzo mały. Wraz z rozpowszechnieniem laserów barwnikowych i laserów jonowych o pracy ciągłej, a więc źródeł intensywnego promieniowania, które zarówno pompuje atomy alkaliczne, jak i wzbudza cząsteczki, można było poprawić warunki doświadczenia i przeprowadzić ilościową analizę zależności  $K$  od  $S$ . Ostatnio wykonano szereg doświadczeń [2, 9—11], w których wykazano poprawność formuły wyprowadzonej przez Kastlera [4].

## 2. Rozważania teoretyczne

W parach metali alkalicznych zachodzą reakcje tworzenia się i rozpadu dimeru, które można zapisać w postaci



gdzie  $X$  oznacza atom alkaliczny, a  $M$  jest trzecim ciałem, które w zderzeniach (1) i (2) jest potrzebne, aby były spełnione zasady zachowania energii i pędu. Może to być zarówno atom, jak i cząsteczka alkaliczna lub atom gazu buforującego. Gaz buforujący jest dodany do komórki, aby ułatwić pompowanie optyczne. Przez  $k_1$  i  $k_2$  oznaczono stałe charakteryzujące odpowiednio wydajność procesu (1) i (2).

Ewolucja czasowa tworzenia się cząsteczki i jej dysocjacji jest opisana równaniami

$$\frac{d[X_2]}{dt} = k_1[X]^2[M], \quad (3)$$

$$-\frac{d[X_2]}{dt} = k_2[X_2][M], \quad (4)$$

gdzie nawiasy kwadratowe oznaczają koncentrację odpowiednich składników. W stanie równowagi mamy

$$\frac{d[X_2]}{dt} = -\frac{d[X_2]}{dt},$$

co oznacza, że

$$k_1[X]^2[M] = k_2[X_2][M]$$

lub

$$\frac{[X_2]}{[X]^2} = \frac{k_1}{k_2} = K. \quad (5)$$

Jeżeli rozkład spinów atomów jest izotropowy, to stała równowagi  $K$  zależy tylko od temperatury. W przeciwnym razie stała  $K$  zależy także od stopnia orientacji  $S$ . Zgodnie ze wzorem analitycznie wyprowadzonym przez Kastlera [4] ta zależność ma postać

$$K(T, S) = K(T, 0)(1 - S^2). \quad (6)$$

Z równań (5) i (6) otrzymujemy

$$[X_2] = [X_2]_0(1 - S^2), \quad (7)$$

gdzie

$$[X_2]_0 = K(T, 0)[X]^2$$

oznacza największą możliwą koncentrację cząsteczek pary dla  $S = 0$ .

Jak wynika z równania (7), zmiana stopnia orientacji  $S$  pary atomowej powoduje zmianę koncentracji cząsteczek w przedziale od  $[X_2]_0$  do 0, przy czym zanik cząsteczek występuje dla  $S = 1$ .

Omówiony przypadek odnosi się do cząsteczek homojądrowych, to znaczy do cząsteczek zbudowanych z jednakowych atomów (np.  $\text{Na}_2$ ,  $\text{K}_2$ ). Jednakże wszystko, co zostało powiedziane jest też prawdziwe dla cząsteczek heterojądrowych, czyli dla cząsteczek zbudowanych z różnych atomów (np.  $\text{NaK}$ ). W tym drugim przypadku równanie (6) ma postać

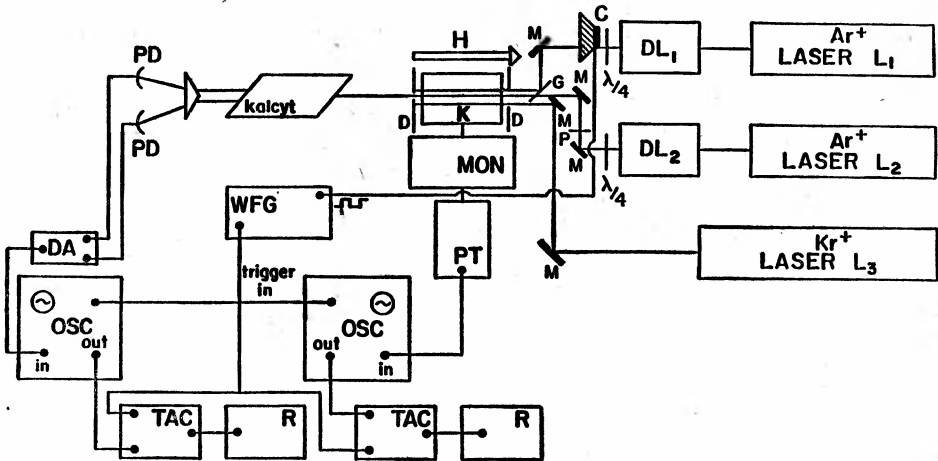
$$K(T, S) = K(T, 0)(1 - S_1 S_2), \quad (8)$$

gdzie  $S_1$  i  $S_2$  oznaczają stopnie orientacji atomów dwóch różnych składników pary. Należy podkreślić, że iloczyn  $S_1 S_2$  może być dodatni lub ujemny, co oznacza, że koncentracja cząsteczek może równie dobrze zmniejszać się, jak i zwiększać.

### 3. Doświadczenie

Opisane zjawisko było obserwowane zarówno w parze jednoskładnikowej, a mianowicie w parze sodu, jak i w parze dwuskładnikowej, zawierającej sód i potas. Kompletny schemat układu doświadczalnego (przedstawionego na rys. 3) jest pokazany na rys. 4 [11]. Zgodnie z tym, co powiedziano wcześniej jest to układ wysoce złożony.

Para metalu alkalicznego razem z gazem buforującym (pod ciśn. ok. 100 Torr) znajduje się w szklanej (pyreksowej) komórce o kontrolowanej temperaturze. Komórka jest umieszczona w środku układu cewek Helmholtza, które wytwarzają jednorodne pole magnetyczne o natężeniu około 7 G ( $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$ ). Atomy  $\text{Na}$  są pompowane światłem rezonansowym spolaryzowanym kołowo. Źródłem światła jest laser barwnikowy z rodaminą 6G, oznaczony na rysunku przez  $DL_1$ , dostrojony do częstości linii  $D_1$ . Stopień orientacji jest mierzony za pomocą metody pomiaru kąta obrotu płaszczyzny polaryzacji liniowo spolaryzowanego światła wiązki próbującej, emitowanej przez laser barwnikowy  $DL_2$ . Cze-



Rys. 4. Schemat układu doświadczalnego. Oznaczenia: H — pole magnetyczne, K — komórka, C — modulator mechaniczny (chopper), M — zwierciadła, G — zwierciadło półprzezroczyste, P — polaryzator, D — przysłona irysowa, PD — fotodiody, DA — wzmacniacz różnicowy, WFG — generator funkcyjny, OSC — oscyloskop, TAC — komputer uśredniający w czasie, R — rejestrator, PT — fotopowielacz, MON — monochromator

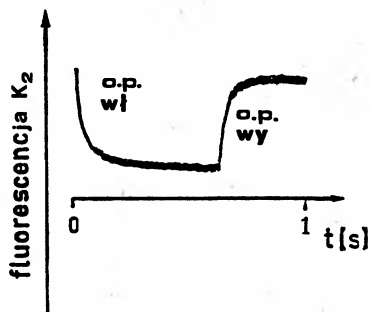
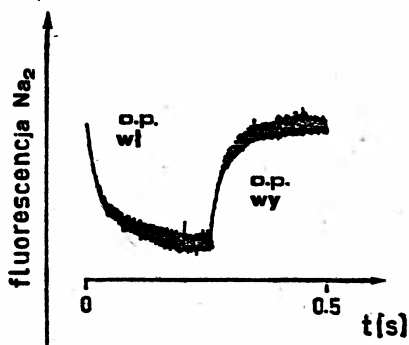
stość wiązki próbującej jest nieco odstrojona od rezonansu odpowiadającego absorpcji linii  $D_1$  [6]. W przypadku badania mieszaniny par Na i K orientacja atomów Na jest wytwarzana przez pompowanie optyczne rezonansowym światłem laserowym, podczas gdy orientację atomów K uzyskuje się w wyniku zderzeń z wymianą spinu [12]. W takim procesie w momencie zderzenia orientacja atomu Na zostaje przekazana atomowi K, co można zapisać w postaci równania



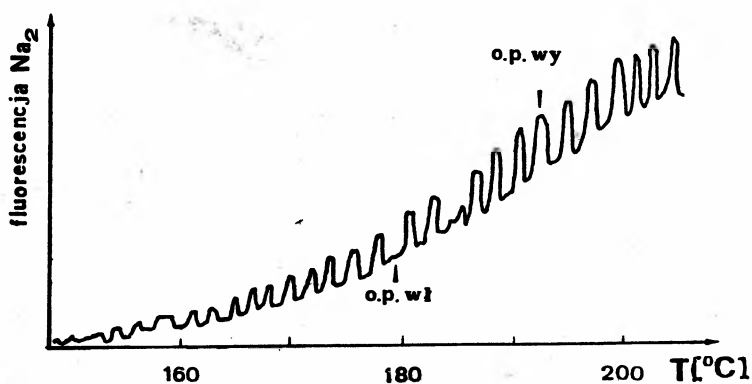
gdzie symbol ( $\uparrow$ ) oznacza ustawienie spinu atomu wzdłuż kierunku pola magnetycznego. Po zderzeniu ustawienie spinu atomu Na jest nieokreślone.

Cząsteczki są wzbudzone przez światło laserowe emitowane z lasera  $L_3$ . Wiązka tego światła przechodzi przez obszar, w którym jest zorientowana para atomowa. Laser  $L_3$  jest laserem jonowym argonowym ( $\text{Ar}^+$ ) dostrojonym do emisji światła o długości fali 488 nm, które w cząsteczkach  $\text{Na}_2$  wzbudza przejście elektronowe ze stanu  $X^1\Sigma_g^+$  do stanu  $B^1\Pi_u$  [13] lub laserem jonowym kryptonowym ( $\text{Kr}^+$ ) dostrojonym do emisji światła o długości fali 647,1 nm, które pozwala wzbudzać cząsteczki  $\text{K}_2$  [14]. Wszystkie użyte lasery pracują w sposób ciągły. Fluorescencja cząsteczkowa jest obserwowana pod kątem  $90^\circ$  w stosunku do kierunku rozchodzenia się światła wzbudzającego. Do detekcji używa się fotopowielacza, który jest umieszczony przy szczeliny wyjściowej monochromatora.

Wielkości sygnałów, odpowiadających fluorescencji cząsteczkowej  $\text{Na}_2$  i  $\text{K}_2$  w obecności pompowania i bez niego, są pokazane na rys. 5. Gdy laser pompujący jest włączony, widać wyraźne zmniejszenie natężenia fluorescencji cząsteczkowej, które wskazuje na zmniejszenie się koncentracji cząsteczek. Po wyłączeniu lasera pompującego liczba cząsteczek wzra-



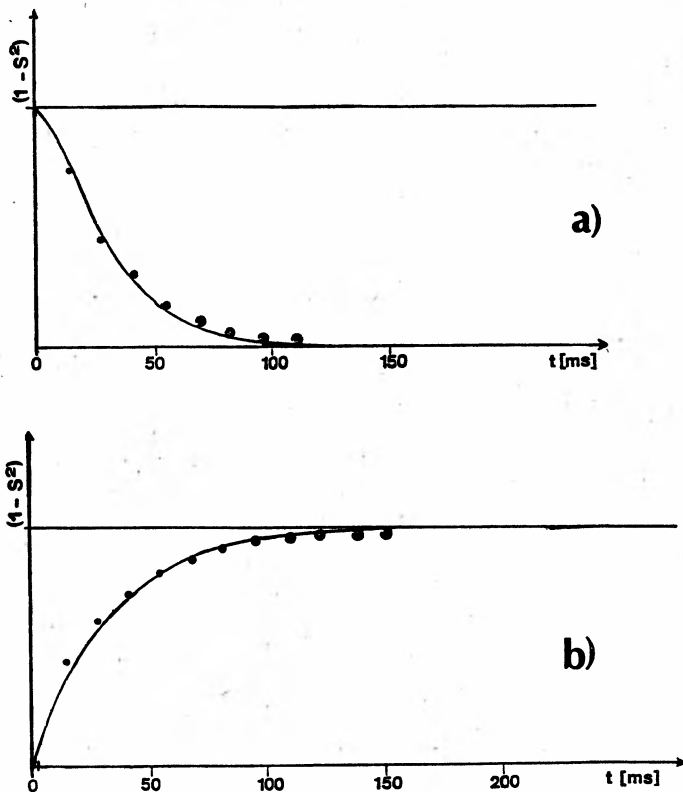
Rys. 5. Fluorescencja cząsteczkowa  $\text{Na}_2$  i  $\text{K}_2$  w obecności i nieobecności pompowania optycznego (o. p.)



Rys. 6. Fluorescencja cząsteczki  $\text{Na}_2$  w funkcji temperatury zarejestrowana przy przerwaniu wiązki pompującej ( $D_1$ ) atomów Na, oznaczonej przez o. p.

sta i natężenie fluorescencji wraca do poprzedniej wartości. Dzieje się tak za sprawą procesów relaksacyjnych, które powodują ponownie zupełnie przypadkowe ustawienie spinów. Na rys. 6 są pokazane zmiany natężenia fluorescencji  $\text{Na}_2$  w funkcji temperatury

i przy przerywanej wiązce pompującej [15]. Widoczna modulacja jest spowodowana zmianą koncentracji cząsteczek wskutek włączenia i wyłączenia światła pompującego. Sprawdzono, że ta modulacja znika, gdy światło pompujące nie jest dobrze dostrojone do określonego przejścia atomowego lub gdy jest dostrojone do długości fali odpowiadającej linii  $D_2$ . Jak wiadomo, nie można uzyskać orientacji pary atomowej w przypadku pompowania linią  $D_2$  w obecności gazu buforującego [12, 16]. Poprawność równania (7) jest w sposób ilościowy wykazana na rys. 7. Stopień orientacji  $S$  mierzono w komórce w temperaturze  $T = 160^\circ\text{C}$  w obecności pompowania, (rys. 7a) i po wyłączeniu lasera pompującego (rys. 7b). Na obu rysunkach przedstawiono zależność funkcji  $(1 - S^2)$  od czasu. Natężenie



Rys. 7. Wykres funkcji  $(1 - S^2)$  w zależności od czasu oraz zmierzone wartości natężenia fluorescencji cząsteczkowej (pełne kółka) w obecności światła pompującego (a) i w jego nieobecności (b). Rozmiar kółek jest porównywalny z błędami pomiarowymi

fluorescencji cząsteczkowej, mierzone w tej samej temperaturze i odpowiadające danemu stopniowi orientacji pary wykazuje, w granicach błędu doświadczalnego, taką samą zależność od czasu. Wykresy są znormalizowane do odpowiedniej wartości całkowitej zmiany, jaką obserwowano w przypadku pomiaru  $S$  i natężenia fluorescencji cząsteczkowej.

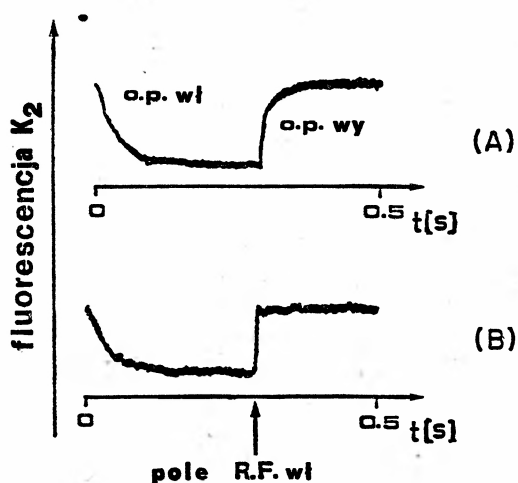
## 4. Wnioski i komentarze

Doświadczenie wykazało, że przesunięcie położenia równowagi procesu dimeryzacji atomów alkalicznych



można uzyskać przez orientację spinów atomów. Należy podkreślić kilka aspektów tego zjawiska.

Po pierwsze, przedstawiona metoda jest bardzo skuteczna. Można się o tym przekonać porównując rys. 8a, b, na których jest zarejestrowane natężenie fluorescencji cząsteczki



Rys. 8. Fluorescencja cząsteczki  $K_2$  zarejestrowana w obecności pompowania i bez pompowania (A) i wówczas, gdy wiązka pompująca jest stale obecna, a orientacja atomowa jest niszczona przez zmienne pole magnetyczne o częstotliwości radiowej (B)

$K_2$  w przypadku przerwania wiązki pompującej (a) i w przypadku zniszczenia orientacji optycznej przez przyłożenie zmiennego pola magnetycznego o częstotliwości radiowej, które wymusza przejścia między stanami zeemanowskimi, co prowadzi do wyrównania obsadzeń tych stanów (b) [16]. Ten drugi sposób niszczenia orientacji jest szybszy od procesów relaksacyjnych, jakim ulegają spiny atomów po odcięciu wiązki pompującej. Koncentracja cząsteczek wykazuje taką samą zależność od czasu, jak orientacja atomowa. O takim zachowaniu często mówi się, że koncentracja cząsteczek śledzi zależność czasową orientacji atomów.

Drugim istotnym aspektem opisanego zjawiska jest to, że dotychczas otrzymano tylko zmniejszenie liczby dwuatomowych cząsteczek homojądrowych, a można też oczekiwać zwiększenia koncentracji cząsteczek heterojądrowych. W przypadku mieszaniny Na i K, gdy każdy z dwóch rodzajów atomów jest orientowany w przeciwnym kierunku, tworzenie się cząsteczki NaK jest uprzywilejowane i proces (10) w przeważającym stopniu przebiega w prawo. Powodem, dla którego dotąd nie obserwowano tego efektu jest jeszcze bar-

dziej złożony układ doświadczalny niż ten przedstawiony na rys. 4. Trzeba w nim zastosować co najmniej jeden dodatkowy laser w celu bezpośredniego pompowania atomów K i ponadto wiązki wszystkich czterech laserów przy przejściu przez komórkę muszą się dokładnie pokrywać.

Ostatnio zbudowany laser o bardzo długim rezonatorze, pracujący wielomodowo [17], może ułatwić przeprowadzenie opisanego doświadczenia. Taki laser pozwala na wzbudzenie wszystkich atomów, niezależnie od ich prędkości [18]. Zastosowanie długiej wnęki  $L$  prowadzi do bardzo małej odległości w skali częstości między sąsiednimi modami, równej  $c/2L$ , gdzie  $c$  jest prędkością światła w próżni. Dzięki temu atom o dowolnej prędkości będzie wzbudzany jednym z modów lasera, który jest dostrojony do częstości rezonansowej dla danego przejścia w atomach, dla których składowa prędkości wzdłuż osi lasera jest równa zeru. W rezultacie w ośrodku, który jest wewnątrz rezonatora, można uzyskać zorientowaną parę o znacznie większej gęstości, co pozwala na przeprowadzenie doświadczenia w wyższej temperaturze. W ten sposób również zwiększa się koncentracja cząsteczek i w konsekwencji obserwacja ich fluorescencji staje się łatwiejsza.

Doświadczenie opisane w tym artykule należy do grupy doświadczeń, które zmierzają do ustabilizowania wodoru atomowego [19]. W doświadczeniach z wodorem zapobiega się rekombinacji atomów w cząsteczkę również przez orientację spinów atomów, aczkolwiek w tym celu stosuje się zupełnie inną technikę [20-22].

Zastosowanie pompowania optycznego do analizy procesu dimeryzacji jest nowym sposobem badania kinetyki procesów formowania się i dysocjacji cząsteczek, a ponadto daje możliwość nowego podejścia do badania reakcji chemicznych.

Tłumaczyła z języka angielskiego  
*Aleksandra Kopystyńska*

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW  
Warszawa

#### Literatura

- [1] A. Kastler, *J. Phys. Radium* **11**, 225 (1950).
- [2] M. Allegrini, G. Alzetta, P. Bicchi, S. Gozzini, L. Moi, *Ann. Phys. (France)* **10**, 883 (1985).
- [3] R. Bernheim, *Optical pumping. An introduction*, W. A. Benjamin, New York 1965, str. 64.
- [4] A. Kastler, *Acta Phys. Pol.* **34**, 693 (1968).
- [5] A. Gozzini, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci. Paris* **225**, 1905 (1962); *Proc. III Conf. Quantum Electronics* 1963, str. 275.
- [6] P. Bicchi, L. Moi, B. Zambon, *Nuovo Cimento* **B49**, 9 (1979).
- [7] G. Alzetta, A. Gozzini, L. Moi, *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci. Paris* **274**, 39 (1972).
- [8] H. G. Weber, M. Stock, *Phys. Lett.* **50A**, 343 (1974).
- [9] M. Allegrini, G. Alzetta, P. Bicchi, S. Gozzini, *12th EGAS Conf. 1980*, Materiały — komunikat nr 5.
- [10] M. Allegrini, P. Bicchi, S. Gozzini, *9th ICAP Conf. 1984*, Abstrakty — nr B69.
- [11] M. Allegrini, P. Bicchi, S. Gozzini, *J. Chem. Phys.* **82**, 457 (1985).
- [12] W. Happer, *Rev. Mod. Phys.* **44**, 169 (1972).
- [13] P. Kush, M. M. Hessel, *J. Chem. Phys.* **68**, 2591 (1978).

- [14] M. Allegrini, P. Bicchi, M. Civilini, L. Moi, *Chem. Phys. Lett.* **91**, 63 (1982).
- [15] L. Moi, *Tesi Scuola di Perfezionamento in Fisica delle Particelle Elementari e Struttura della Materia* 1978 (Materiały nie publikowane).
- [16] C. Cohen-Tannoudji, A. Kastler, *Prog. Opt.* **5**, 3 (1966).
- [17] L. Moi, *Opt. Commun.* **50**, 349 (1984).
- [18] L. Moi, M. Allegrini, P. Bicchi, S. Gozzini, J. H. Xu, *Proc. ECOOSA '86, SPIE* **701**, 176 (1986).
- [19] R. Sprik, J. T. M. Walraven, I. F. Silvera, *Phys. Rev. Lett.* **51**, 479 (1983).
- [20] R. W. Cline, D. A. Smith, T. J. Greytak, D. Kleppner, *Phys. Rev. Lett.* **45**, 2117 (1980).
- [21] I. F. Silvera, J. T. M. Walraven, *Postępy Fizyki* **32**, 525 (1981).
- [22] D. Śledziewska-Błocka, Ł. A. Turski, *Postępy Fizyki* **36**, 299 (1985).



## ROZMOWY

## O Wilnie, Toruniu i ... Wszechświecie — rozmowa z Wilhelminą Iwanowską

On Vilna, Toruń and ... the Universe: an Interview with Professor Wilhelmina Iwanowska

Rozmowę z Wilhelminą Iwanowską, prof. em. astrofizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (UMK) przeprowadził, na prośbę Redakcji *Postępów Fizyki*, prof. Józef Szudy z Instytutu Fizyki UMK. W rozmowie wzięli także udział: prof. Stanisław Gorgolewski i dr Andrzej Kus z Katedry Radioastronomii UMK, doc. Stefania Grudzińska z Instytutu Astronomii UMK oraz doc. Jan Smoliński z Pracowni Astrofizyki CAMK PAN w Toruniu.

Redakcja

**J. Szudy [JSz]** — Znajdujemy się w Instytucie Fizyki UMK w pokoju, który przez ponad ćwierć wieku służył jako gabinet prof. Aleksandra Jabłońskiego, twórcy ośrodka fizyki w Toruniu. Profesor Jabłoński ostatnie półtora roku przed wojną spędził w Wilnie na Uniwersytecie Stefana Batorego. Wydaje mi się, że Pani Profesor miała okazję zetknąć się już w Wilnie z prof. Jabłońskim i może byśmy naszą rozmowę rozpoczęli właśnie od okresu wileńskiego. Tak więc, moje pierwsze pytanie, czy Pani mogłaby opowiedzieć nam o astronomii wileńskiej i w ogóle o przedwojennej astronomii polskiej i również o kontaktach z fizykami wileńskimi?

**W. Iwanowska [WI]** — Bardzo chętnie. Nie propaguję jubileuszy, ale muszę się przyznać, że minęło 60 lat od mego wejścia w astronomię. Właśnie w Wilnie, mieście mego urodzenia, zaczęłam pracować od 1 stycznia 1927 r. w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Stefana Batorego, na 1/3 etatu młodszego asystenta, wspólnie z nieżyjącym już Włodzimierzem Zonnem i poległym w wojnie w 1939 r. Jerzym Jacyną. Po roku każde z nas miało już pełne zatrudnienie. Poszłam na studia w r. 1923 na kierunek matematyki na zasadzie jakiegoś wewnętrznego impulsu, nakazu. Skończyłam szkołę skrajnie humanistyczną i powzięłam właśnie takie postanowienie, że idę na matematykę. Ale w zanadrzu miałam największe swoje zainteresowanie, właśnie Wszechświatem, niebem. Tylko że astronomia to nie był wówczas zawód, więc sobie zaplanowałam, że będę nauczycielką matematyki, a moim hobby będzie astronomia. Toteż pilnie uczęszczałam również na wszystkie wykłady astronomii. A któż wykładał? Przede wszystkim — prof. Władysław Dziwulski, który wraz z bratem Waclawem (fizykiem) przybył do Wilna z chwilą wskrzeszenia Uniwersytetu Stefana Batorego. To wskrzeszenie nastąpiło w sierpniu 1919 r. na podstawie dekretu Naczelnika Państwa, Józefa Piłsudskiego. Wilno zostało wyzwolone w Wielką Sobotę 19 kwietnia 1919 roku, ale później była jeszcze wojna polsko-radziecka i od r. 1922 Wilno było definitywnie włączone do Polski.

Do Uniwersytetu Wileńskiego, założonego przez króla Stefana Batorego<sup>1</sup> w r. 1579, zamkniętego po powstaniu listopadowym w r. 1832 i wskrzeszonego w r. 1919, ciągnęli profesorowie i docenci z różnych miast Polski. Pociągała ich wspaniała tradycja tej Uczelni, znaczone imionami Piotra Skargi — pierwszego rektora, profesorów: Joachima Lelewela, Marcina Poczobuta, Jana i Jędrzeja Śniadeckich, studentów: Mickiewicza, Słowackiego, Kraszewskiego, filomatów i filaretów. Wilno było wszak drugą stolicą państwa Jagiellonów, a później — Rzeczypospolitej Obojga Narodów. Przemawiały w tym mieście ocalałe mury prastarej Uczelni i niewypowiedziany urok miasta i jego okolic (dla mnie, rdzennej wilnianki — najpiękniejszych na świecie).

Władysław Dziewulski (1878—1962), urodzony i wychowany w Warszawie, doktoryzowany i habilitowany na UJ w Krakowie, znał urok Wilna z czasów studenckich, gdy za udział w strajku szkolnym przebywał przez rok w Wilnie na zsyłce. Po odzyskaniu niepodległości nie pojechał do Poznania, gdzie mu proponowano objęcie katedry, czekał na Wilno i przybył do Alma Mater Vilnensis zaraz po jej wskrzeszeniu.

Pociągała go świetna tradycja dawnego Obserwatorium Wileńskiego, najstarszego obserwatorium uniwersyteckiego w Polsce, założonego w r. 1753. Pierwszymi jego dyrektorami byli ks. Żebrowski i ks. Nakycanowicz, ale właściwym twórcą był Marcin Odlanicki Poczobut. Obeznany z obserwatoriami w Italii, Paryżu i Londynie, wyposażył Obserwatorium Wileńskie w najbardziej nowoczesne w owym czasie instrumenty, korzystając z dotacji udzielonych przez księżnę Puzyrinę, jak to opisuje Mickiewicz w ósmej księdze *Pana Tadeusza*:

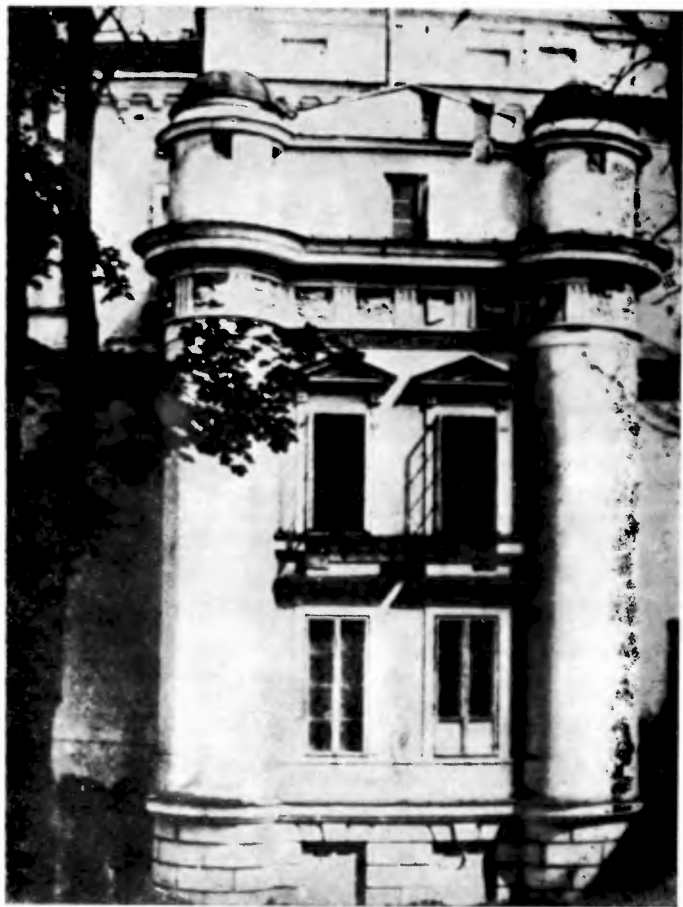
„I ja astronomiji słuchałem dwa lata  
W Wilnie, gdzie Puzyrinina mądra i bogata  
Pani oddała dochód z wioski dwiestu chłopów  
Na zakupienie różnych szkielek i teleskopów.  
Ksiądz Poczobut, człek sławny był Obserwatorem  
I całej Akademii naonczas rektorem...  
Znam się też z Śniadeckim,  
Który jest mądrym bardzo człkiem, chociaż świeckim.”

Poczobut prowadził obserwacje, w szczególności obserwował Merkurego — najbliższą Słońca planetę i dlatego trudną do uchwycenia, nad czym tak ubolewał Kopernik. Na podstawie obserwacji Poczobuta, Lalande opracował pierwszą orbitę tej planety, a przeciwieństwo ruchu peryhelium Merkurego stał się później koronnym testem teorii względności.

Poczobut cieszył się dużym uznaniem króla Stanisława Augusta, miał tytuł astronoma królewskiego. W świecie nauki był członkiem Royal Society w Londynie i członkiem korespondentem Akademii Paryskiej. Poczobut, a później Śniadecki obaj byli rektorami Akademii Wileńskiej w tych już trudnych czasach. Poczobut był reformatorem Uniwersytetu Wileńskiego z ramienia Komisji Edukacji Narodowej. Ziemia Wileńska utraciła niepodległość po III rozbiorze.

Jan Śniadecki położył również duże zasługi w rozwoju astronomii. Obserwował m. in. nowoodkryte wówczas małe planety. Po nim Obserwatorium Wileńskie działało jeszcze

<sup>1</sup> Por. artykuł A. Hrynkiwicz w *Postępiech Fizyki* 31, 65 (1980), poświęcony 400-leciu tego Uniwersytetu (Przyp. Red.).



Dawne Obserwatorium Wileńskie (Poczobuta), 1753—1876



Marcin Odlanicki-Poczobut



Obserwatorium Astronomiczne USB (Dziwulski go)

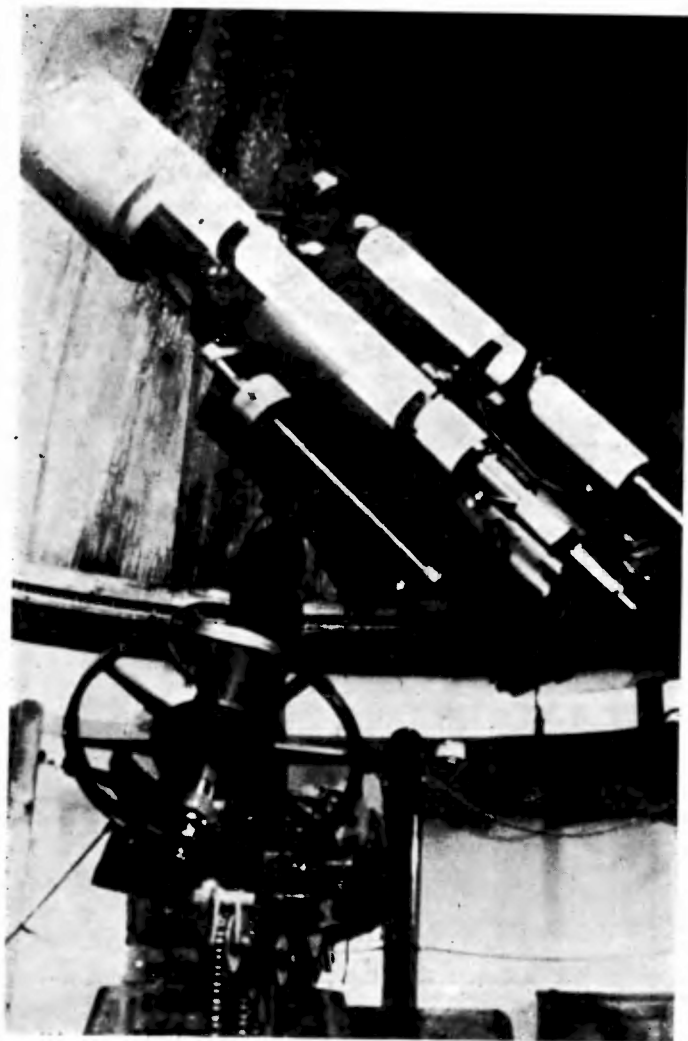


Profesor Władysław Dziwulski jako Rektor USB (1924—25)

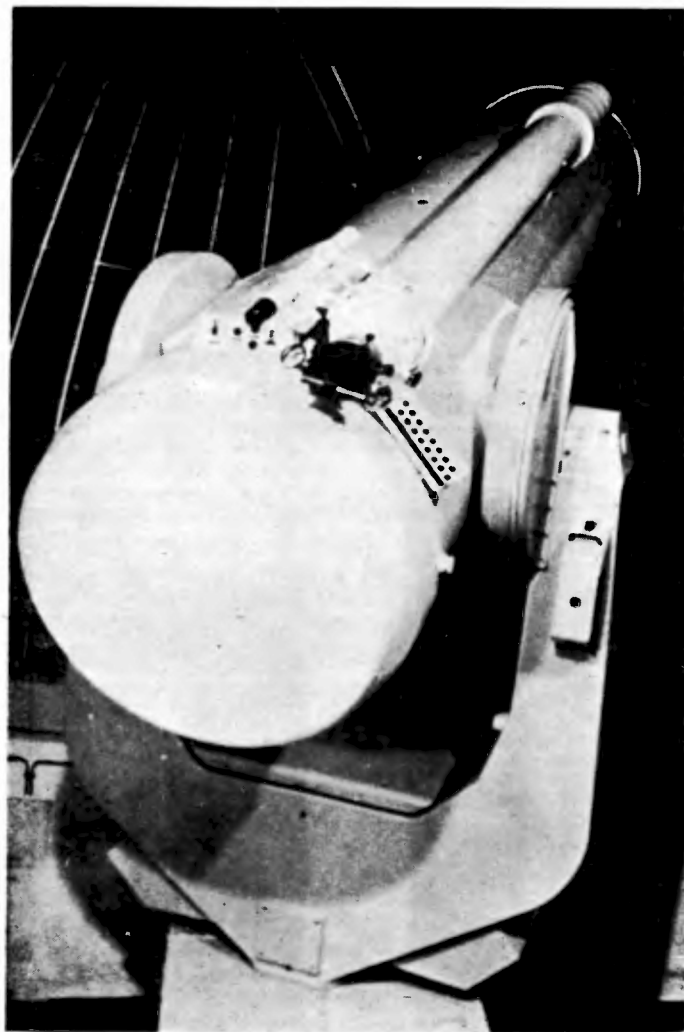


Profesor Kazimierz Jantzen, astronom — meteorolog

Profesor Waław Dziewulski, fizyk



Astrograf Draperaz Harvard College Observatory, uruchomiony w Piwnicach w r. 1949



Teleskop Schmidta-Cassegraina o średnicy lustra 90 cm, zainstalowano w Piwnicach w r. 1962. Fot. A. Woszczyk

przez pół wieku, początkowo pod kierunkiem polskich astronomów, Piotra Sławińskiego i Michała Hłusznicwicza, później rosyjskich, aż po pożarze w r. 1876 zostało zamknięte. Po wskrzeszeniu Uniwersytetu, Obserwatorium stało się pięknym muzeum. Jest położone w środku starego miasta, jak i całe miasteczko dawnego Uniwersytetu Wileńskiego, złożone z wielu dziedzińców otoczonych piękną architekturą.

Władysław Dziewulski po przybyciu do Wilna musiał zaczynać od nowa: zbudował Obserwatorium na krańcach miasta w zakolu rzeki Wilii, między Wilią a lasem Zakretoywym. W tym to Obserwatorium zaczęłam stawiać pierwsze kroki w astronomii w r. 1927. Trzeba powiedzieć, że prof. Dziewulski bardzo nowoczesnie, jak na owe czasy, podchodził do astronomii: obok klasycznej mechaniki nieba, uprawiał astronomię gwiazdową — badanie ruchów gwiazd w otoczeniu Słońca i fotometrię gwiazd zmiennych. Te dwa kierunki badań poznał w Obserwatorium w Getyndze pod kierunkiem wybitnego uczonego Karla Schwarzschilda. Dziewulski nie szczędził starań o wyposażenie Obserwatorium w odpowiednie instrumenty: przed wybuchem II wojny było to najnowocześniejsze w Polsce, choć skromne w skali światowej, obserwatorium. W tym względzie otrzymałam tam konkretne zadanie związane z rozwojem astrofizyki. Najpotężniejszym narzędziem badań Wszechświata była i jest spektroskopia. Nie uprawiano jej wówczas w astronomii polskiej, uprawiali ją fizycy. Z fizykami wileńskimi mieliśmy bardzo dobrą współpracę i kontakty. Waclaw Dziewulski, brat prof. Władysława Dziewulskiego interesował się rozwojem Obserwatorium, udostępniał nam warsztaty Zakładu Fizyki, brał udział w różnych naradach, m. in. w naradzie, jak zapoczątkować spektroskopię w Obserwatorium Wileńskim, dokąd wysłano mnie na specjalizację w spektroskopii gwiazd.

Poza tym był w Wilnie prof. Józef Patkowski, również fizyk doświadczalny, z teoretyków — Jan Weyssenhoff i Waclaw Staszewski, w ostatnich latach przybył Szczepan Szczeniowski<sup>2</sup>. Z tego zespołu nikt już nie żyje. Waclaw Dziewulski zmarł w 1938 r., Patkowski zginął w czasie wojny, zresztą na kilka lat przed wojną wyjechał do Warszawy na stanowisko dyrektora departamentu w Ministerstwie Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego i właśnie na jego miejsce przybył prof. Aleksander Jabłoński z Warszawy i on był w tych ostatnich latach w Wilnie, był zresztą w czasie wojny internowany w obozie. Z pokoleń wychowanków fizyków wileńskich wspomnę wybitną postać Henryka Niewodniczańskiego, który habilitował się i był docentem w Wilnie, a po wojnie działał w Krakowie i zmarł tam przedwcześnie. Zajmował się fizyką jądrową, ale w Wilnie interesował się również astrofizyką i wspólnie z docentem Janem Błatonem, teoretykiem, opublikował wartościowe prace z dziedziny linii wzbronionych wykrytych wówczas w widmach mgławic przez Bowena. Prof. Weyssenhoff jeszcze w 1935 r. przeniósł się do UJ do Krakowa, zaś po wojnie przeszli: prof. Staszewski — do Lublina a prof. Szczeniowski — do Poznania (skąd później przeniósł się do Warszawy).

Tutaj w Toruniu prof. Jabłoński był organizatorem fizyki, zmarł w r. 1980. Z młodszego pokolenia fizyków wileńskich jest przecież w Toruniu prof. Kazimierz Antonowicz, który był wychowankiem prof. Waclawa Dziewulskiego.

**JSz** — Ilu pracowników miało Obserwatorium Wileńskie?

<sup>2</sup> Prawie wszyscy fizycy wileńscy starszego pokolenia są na zdjęciu w *Postęпах Fizyki* **35**, 168/169 (1984).

**WI** — W końcu było nas ok. dziesięciorga, to nie było dużo, bo nie było dużo etatów. Z tej grupy niewiele ocalało. Ja doktoryzowałam się w r. 1933, pojechałam na staż do Szwecji i habilitowałam się po powrocie w r. 1937. Zonn po doktoracie przeniósł się do Warszawy, a właściwie do filii Obserwatorium Warszawskiego w Karpatach Wschodnich, Jacyna poległ we wrześniu 1939 r., Kowalczewski został zamordowany przez gestapo w Warszawie, Gesundheit zginął w getcie. Z jeszcze młodszej generacji żyje córka prof. Dziewulskiego, która kończyła magisterium w tajnym komplecie podczas wojny, obecnie jako docent Aniela Łosiowa pracuje w geofizyce w Warszawie.

Do Torunia oprócz Dziewulskiego i mnie przyjechał dr Stanisław Szeligowski, który się jednak wkrótce przeniósł do Wrocławia. W Toruniu powstały dwie katedry: astronomii i astrofizyki — tak chciał prof. Dziewulski.

**JSz** — To był rok 1945, lipiec?

**WI** — Tak, 14 lipca 1945. No, ale wróć jeszcze do lat trzydziestych, do spektroskopii. Otóż wybraliśmy Szwecję, Sztokholmskie Obserwatorium, świeżo przeniesione z miasta do miejscowości kuracyjnej Saltsjöbaden, 16 km od Sztokholmu, gdzie powietrze jest czyste a krajobraz jest syntezą wody, granitu i lasów. Właśnie tam na wzgórzu zostało zbudowane to Obserwatorium i wyposażone jak na owe czasy bardzo nowoczesnie: największy teleskop miał średnicę 1 m ze spektrografami Zeissa, no i były inne jeszcze teleskopy. Byłam tam na rocznym stażu w r. 1934/35 na naszym polskim stypendium (waluta polska była wymierna, 1 korona szw. kosztowała 1,47 zł.). Kierował tym Obserwatorium znany już wówczas prof. Bertil Lindblad (został później pierwszym doktorem honorowym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika). Sam on pracował głównie nad dynamiką i strukturą galaktyk i miał w tej dziedzinie duże osiągnięcia: wykrył, że nasza Galaktyka składa się z szeregu podukładów gwiazdnych o różnym stopniu spłaszczenia i różnej prędkości rotacji. Poza tym kierował pracami obserwacyjnymi w dziedzinie spektroskopii gwiazd, no i właśnie w te prace zostałam wprowadzona. Jako temat otrzymałam poszukiwania kryteriów widmowych gwiazd nadolbrzymów, tzw. „pseuđocefoid” — temat mi odpowiadał, ponieważ cefeidami już się zajmowałam w Wilnie. Wyjazd ten był dla mnie bardzo korzystny: instrumenty były nowoczesne i dość liczne, personel nieliczny ale bardzo uczynny i komunikatywny, tak, że mogłam tam wykonać dwie prace i uzyskać materiały do dalszych, w szczególności — do pracy habilitacyjnej. A co najważniejsze, poznałam ówczesne metody i aparaturę do badania widm gwiazdowych, tak, że po moim powrocie do kraju zaczęliśmy przemyśliwać nad uzyskaniem choćby najskromniejszej aparatury spektroskopowej. Nie opływaliśmy w środki, ale sposobem na wpeł gospodarczym dorobiliśmy się skromnej własnej aparatury do otrzymywania widm gwiazd w małej dyspersji: już w końcu lat trzydziestych stanął w Wilnie reflektor o średnicy lustra 48 cm z zeissowskim spektrografem bezszczelinowym. Zdażyłam jeszcze tym teleskopem, otrzymać ok. 50 klisz widmowych, potrzebnych do rozpoczętej pracy nad pulsacją cefeid. Wojna te prace utrudniła, ale ich nie udaremniła i już w r. 1946 wyszła praca w Toruniu, stanowiąca jeden z pierwszych testów pulsacji cefeid. „Mój” teleskop po przeróbkach znalazł się później na górze Majdanak w Uzbekistanie.

**JSz** — A czy w tym czasie istniał bliski kontakt astronomów wileńskich z astronomią światową?

**WI** — Więc, tak właściwie został zapoczątkowany kontakt ze Szwecją, który zaowoco-



wał również później, gdy już byliśmy w Toruniu, kiedy trzeba było od zera zaczynać tutaj organizować obserwatorium. Prof. Lindblad bardzo nam wówczas pomógł: zwrócił się do astronomów amerykańskich z prośbą o wypożyczenie lunety już mało używanej tam, ale zdatnej jeszcze do użytku i dostaliśmy właśnie na początek z Harvard College Observatory, od prof. H. Shapleya astrograf Drapera, historyczną lunetę o średnicy 20 cm z pryzmatami obiektywowymi, a więc z możliwością otrzymywania widm gwiazd w małej dywergencji. Ta luneta stoi do dziś w Obserwatorium w Piwnicach jako pierwsze narzędzie. Obecnie Obserwatorium ma największy w Polsce teleskop Schmidta-Cassegraina o średnicy lustra 90 cm z pryzmatami i ze spektrografem, o którym jeszcze dokładniej później powiemy.

Kontakty i współpraca międzynarodowa w naukach astronomicznych są rzeczą nieodzowną i niezwykle ważną; bez tych kontaktów trudno byłoby w Polsce coś godnego uwagi w astronomii zrobić. Jeszcze prof. Lindblad pomógł nam w zdobyciu dalszych dwóch małych lunet, do których optyka została wykonana w Szwecji za symboliczną opłatą, a montaż dokonany sposobem na wpół gospodarczym. Następnie wielu polskich astronomów przebywało na stażach w Obserwatorium Sztokholmskim, ja sama byłam tam pięciokrotnie. Przypomnę może jeden pobyt, pierwszy po wojnie, gdy rząd szwedzki zaprosił ok. 60 pracowników nauki z krajów poszkodowanych przez wojnę na paromiesięczny pobyt dla regeneracji naukowej. Z Polski zaproszenia otrzymali profesorowie fizyki: Stefan Pieńkowski, Czesław Białobrzeski i Szczepan Szczeniowski, oraz astronomowie: Felicjan Kępiński i ja. Każde z nas wykorzystało ten pobyt na pracę naukową i odwiedzenie szwedzkich ośrodków naukowych w swojej dziedzinie. Ponadto prof. Lindblad jako ówczesny prezes Międzynarodowej Unii Astronomicznej ułatwił mi pierwszy wyjazd do Stanów Zjednoczonych w r. 1948/49. Spędziłam tam wówczas pół roku, pracując w Obserwatoriach McDonald (Texas) i Cleveland (Ohio), oraz odwiedzając Mt Wilson, Palomar i Harvard. Do McDonald wyjeżdżali później młodzi astronomowie toruńscy (dr A. Woszczyk i dr A. Strobel).

Ale wracając do przedwojennych kontaktów, wspomnę jeszcze jeden, który również owocuje do dziś: prof. Pol Swings z Belgii, również dr *hc* UMK, już nieżyjący. Był to fizyk, spektroskopista, który odbywał swój staż podoktorski w Polsce, w Warszawie u prof. Pieńkowskiego. I wtedy przyjechał raz do Wilna, miał oczywiście referat, mieliśmy z nim rozmowę na temat spektroskopii, no i tak nawiązał się kontakt z prof. Swingsem, który wojnę spędził w USA, mnóstwo prac tam opublikował ze spektroskopii gwiazd, mgławic i komet, a po wojnie zorganizował w Belgii w Liège Instytut Astrofizyki poświęcony spektroskopii niebieskiej i laboratoryjnej. I właśnie po wojnie nawiązał z nami kontakt, zaprosił mnie na kolokwium międzynarodowe, jakie zapoczątkował i systematycznie organizował w Liège, a następnie pomógł nam ogromnie w kształceniu młodej kadry, przyjmując na długoterminowe staże kilkoro naszych pracowników, wówczas magistrów: Andrzeja Woszczyka, Antoniego Stawikowskiego i Stefanię Grudzińską. Właśnie doc. Grudzińska wróciła z kolejnego pobytu w Liège i może zechce o tej współpracy opowiedzieć.

**S. Grudzińska [SGr]** — Nasze staże w Instytucie Astrofizycznym w Leodium (Liège) były pod koniec lat pięćdziesiątych, gdy to prof. Swings, który przez wiele lat był naukowym doradcą króla Belgów, otrzymał fundusze z Belgijskiego Komitetu Narodowego dla Międzynarodowego Roku Geofizycznego. Prof. Swings ofiarował stypendia z tych funduszy

dla astronomów polskich przez sentyment do naszego kraju, jako tego, w którym odbywał owocny staż w swej młodości. Stypendia zostały ofiarowane astronomom toruńskim częściowo dlatego, że podczas swej wizyty w naszym Obserwatorium w r. 1958 Swings zachwycał się widmami Komety Arenda-Rolanda (1957 III), otrzymanymi naszymi skromnymi lunetami. A że właśnie Instytut Astrofizyki w Leodium, którym kierował, był światowej sławy ośrodkiem fizyki komet, stąd też w trakcie staży zajmowaliśmy się fotometrią głowy komety oraz badaniami widm komet i laboratoryjnymi widmami rodników, występujących w kometach. To zainteresowanie fizyką komet i nawiązana współpraca z Instytutem Astrofizyki w Leodium owocuje jeszcze dziś w postaci wspólnych prac nas, toruńczyków, z kolegami belgijskimi, czego dowodem jest będący w druku *Atlas widm kometarnych* oraz przygotowywany *Katalog linii emisyjnych w kometach*.

**WI** — Warto dodać, że Swings uTORował drogę młodym toruńczykom do innych światowych ośrodków astrofizyki, np. Observatoire de Haute Provence we Francji. To, jeśli chodzi o kontakty pochodzące jeszcze z okresu przedwojennego. Trzeba by jeszcze powiedzieć o tematyce badań z tamtych czasów.

Otóż tematyka, w którą zostałam wprowadzona w Wilnie przez prof. Dziewulskiego, to z jednej strony była astronomia gwiazdowa — ruchy gwiazd, które nie przestały mnie do dziś interesować, z drugiej — fotometria fotograficzna cefeid — z tej dziedziny był mój doktorat. Później, kiedy już weszłam w spektroskopię, jak już wspomniałam, zajmowałam się widmami nadolbrzymów, ale też nie porzuciłam tematyki cefeid. To są gwiazdy pulsujące, wówczas ta rzecz nie była tak pewna, więc jeszcze przed wyjazdem do Szwecji podjęłam program obserwacji fotometrycznej w dwóch barwach, co było namiastką spektroskopii, cyklu 10 cefeid o różnych okresach zmienności. W jakim celu? — W celu przeprowadzenia testu ich pulsacji. Do tego programu przyłączył się prof. Dziewulski, jego córka i studentka Maria Mackiewiczówna, tak że zdążyliśmy cały materiał obserwacyjny zebrać do r. 1939 — było to ok. 2000 klisz — i sfotometrować do czasu definitywnego usunięcia nas z Obserwatorium. Zdążyłam też, jak wspomniałam, otrzymać ok. 50 klisz widmowych naszym nowym instrumentem ze spektrografem. Były one potrzebne do poprawienia barw cefeid ze względu na ekstynkcję międzygwiazdową. Opracowanie całego materiału kontynuowaliśmy w czasie wojny chałupniczo. W Wilnie w czasie wojny pięć razy zmieniały się władze: 18 września 1939 r. wkroczyły wojska radzieckie, następnie były „biała Litwa”. Uniwersytet Stefana Batorego został zamknięty 15 grudnia 1939 r. i przejęty przez profesorów kowieńskich.

**JSz** — Tam też byli astronomowie litewscy?

**WI** — Tak, to był prof. Kodatis, już nieżyjący, on zresztą w czasie wojny w którejś fazie opuścił Wilno. Obecnie dyrektorem Obserwatorium Wileńskiego jest prof. Strajzys, który — owszem — nawiązał z nami kontakt i, trzeba przyznać, stara się to Obserwatorium dalej rozwijać. Ma zresztą filię w Malatach, 70 km na północ od Wilna.

**J. Smoliński [JSm]** — Ja chciałbym zapytać, ponieważ obecnie zajmuję się skrajnymi nadolbrzymami, które wówczas nazywały się pseudocefeidami, co leżało u podstaw zajęcia się tymi gwiazdami przez Panią Profesor i uzyskania wyniku, o ile pamiętam, że absorpcja całkowita linii w ich widmach jest znacznie wyższa niż np. w widmach karłów?

**WI** — Otóż to było jak gdyby pomocnicze zadanie do wielkiego programu badania rozkładu gwiazd w Galaktyce i wiązało się z zainteresowaniami prof. Lindblada strukturą

galaktyk. Żeby otrzymać z obserwacji przestrzenny rozkład gwiazd, trzeba znać ich odległości. Z paralaks trygonometrycznych znamy je tylko dla najbliższych gwiazd, natomiast odległości dalszych gwiazd uzyskuje się z ich widm. I ja miałam o tyle odpowiedzialne zadanie, że nadolbrzymy są to gwiazdy absolutnie najjaśniejsze, promieniujące najsilniej, a więc widzimy je najdalej i za ich pomocą możemy badać strukturę Galaktyki w największych odległościach. Moim zadaniem było znaleźć kryteria widmowe, które by pozwoliły rozpoznać nadolbrzymy i znaleźć ich jasność absolutną, a zatem odległość. Czy mi się to udało? Owszem, jedno kryterium, jak Pan powiedział, polegało na tym, że ich linie widmowe mają większe absorpcje całkowite niż u gwiazd olbrzymów czy karłów. A że rozkład linii w widmie nie jest zupełnie równomierny, ale są pewne skupienia linii i miejsca wolne od linii, daje to większe amplitudy wahań w scałkowanym widmie, jakie obserwujemy w małej dyspersji, np. w widmach otrzymywanych z pryzmatem obiektywowym. Poza tym, znalazłam jeszcze, że skok Balmera, tam gdzie się kończy seria linii wodorowych Balmera a zaczyna się absorpcja ciągła, związana z efektem fotoelektrycznym, że ten skok Balmera, podobnie zresztą jak i linie, jest w nadolbrzymach silniejszy. To są kryteria, ale celem była — struktura Galaktyki.

**Andrzej Kus [AK]** — Właśnie miałbym pytanie dotyczące warunków pracy. Czy może Pani Profesor powiedzieć, w jakich warunkach astronomowie pracowali, jaka atmosfera panowała?

**WI** — Więc muszę powiedzieć, że wspaniała była atmosfera i wspaniałe warunki. Nie w tym sensie, że się przelewało, że były środki na wszystko, nie. Był i kryzys na przełomie lat trzydziestych, były i trudności gospodarcze, lunety i aparaturę budowało się też sposobem gospodarczym w znacznej mierze. Niemniej jednak uważam, że wielkim szczęściem w życiu mego pokolenia było to, że okres aktywnej naszej działalności, jeśli tak można powiedzieć, przypadł na dwudziestolecie międzywojenne. To był okres pełen trudności i gospodarczych i politycznych, ale nas wszystkich uskrzydlała ta świadomość, że po 123 latach, latach niewoli, Polska jest niepodległa, że pracujemy w niepodległym kraju. Po prostu każdy z siebie dawał, co mógł i był ten entuzjazm pracy w społeczeństwie. Wilno, ponieważ miało w przeszłości tak wspaniałe Uniwersytet, którego mury urzekają każdego, kto tam jedzie, Wilno niejako nosiło na rękach ten swój Uniwersytet, był on dzieckiem całego społeczeństwa wileńskiego. Kontakt ze społeczeństwem był bardzo bliski: i wykłady powszechne i współpraca z Redutą, którą Osterwa prowadził i ruch studencki były bardzo żywe. Było prawie 100 organizacji studenckich na 3000 studentów, średnio więc przypadałoby 30 studentów na jedną organizację, ale należało się normalnie do kilku. Jakież to były organizacje? Koła naukowe, prowadzone bardzo żywo, organizacje samowychowawcze, jak harcerstwo, Klub Włóczęgów, Odrodzenie, ale i stronnictwa polityczne mniej lub więcej powiązane z życiem politycznym kraju i korporacje studenckie i AZS. A nade wszystko Bratnia Pomoc, która wszystko organizowała rękami samych studentów: pomoc lekarską, pośrednictwo pracy, bo jednak studenci zarabkowali, uzdrowiska czyli domy wczasowe, prowadzone w lasach święciańskich wśród jezior lub nad Wilią — w nieskażonym jeszcze przez człowieka środowisku. Co było jeszcze? — No więc życie towarzyskie. Na szopkę akademicką w Bratniaku miasto tłumnie przychodziło. Co za humor i dowcip! Tam się każdemu dostało, nie wyłączając nawet najwyższych władz i państwowych, i miejskich, i uniwersyteckich, i kukielka rektora zawsze była. Wszystko co było nie tak jak trzeba, było

wytknięte, ale w sposób kulturalny, z humorem i dowcipem nadzwyczajnym. Twórcami szopek byli głównie studenci polonistyki i sztuk pięknych, ale nie brakowało też adeptów innych wydziałów, jak niezapomniany autor i wykonawca pieśni dziadowskich medyk Witold Sylwanowicz, późniejszy profesor. Więc życie studenckie było bardzo żywe i barwne. Poza tym studenci mieli, obok pewnego minimum wykładów obowiązkowych dla danego kierunku studiów, jeszcze jakiś procent dowolnie wybranych przedmiotów. I tak, np. matematycy chętnie chodzili na wykłady literatury powszechnej prof. Mariana Zdziechowskiego, znanego filozofa. Więc to życie studenckie było bardzo bogate, a jednocześnie to była szkoła ich przyszłej pracy — szkoła życia. Przecież taki wiec wyborczy do Bratniaka trwał całą noc w auli Śniadeckich, a jakież tam przemówienia wygłaszali prawnicy, to były popisy krasomówcze. Oczywiście, to się odbijało na studiach w ten sposób, że studia się przedłużały, byli nawet tzw. wieczni studenci. Tym niemniej, to życie było bogate.

**JSz** — Obserwatorium toruńskie zaczynało od niczego. Kiedy odbyły się pierwsze obserwacje?

**WI** — W lipcu 1949 r. Właśnie na tym pożyczonym astrografie Drapera. Ale może najpierw powiem, dlaczego przyjechaliśmy do Torunia. Sytuacja była taka, jak powiedziałam: Uniwersytet Stefana Batorego zamknięto w połowie grudnia 1939 r. No, myśmy się imali różnych zajęć. W czasie wojny kwitło tajne nauczanie, ale ponieważ pięć razy zmieniały się władze, więc jakiś czas można było uczyć jawnie: w czasie Litwy Radzieckiej były otwarte szkoły z polskim językiem wykładowym. Sama nauczałam fizyki w takiej szkole: dyrekcja była litewska, ale język wykładowy — polski. Poza tym była w pewnych okresach i praca fizyczna: po pierwsze musieliśmy się utrzymać, po drugie — uniknąć wywiezienia na przymusową pracę. Ale kontaktowaliśmy się ze sobą i kiedy już zbliżał się koniec wojny, a szczególnie, kiedy stało się jasne, że zostać w Wilnie nie będziemy mogli, naradzaliśmy się, co mamy robić dalej. Były różne koncepcje. Chciano rozproszyć nas po różnych uczelniach, czemu przyklaskiwały wszystkie uniwersytety na czele z warszawskim, bo wszystkie poniosły straty. Myśmy się temu opierali, ponieważ zdawaliśmy sobie sprawę z tego, że na terenach zachodnich potrzebne będą uczelnie. Mimo dużych strat, jakie ponieśliśmy, czuliśmy się jeszcze na siłach do organizowania uniwersytetu tam, gdzie jest potrzebny.

Ale gdzie? Wysłaliśmy na zwiady małe grupy profesorów do Gdańska i do Torunia. Dlaczego? — W Wilnie byliśmy nasyceni tradycją naukową i kulturalną: Uniwersytet Wileński miał wspaniałą tradycję. Myśmy to czuli i doceniali i szukaliśmy korzeni tradycji w przyszłym naszym miejscu pracy. A czyż jest w świecie nauki większa postać, nie tylko w astronomii, ale w naukach matematyczno-przyrodniczych i w nauce w ogóle niż Mikołaj Kopernik? On to sprawił, że personel Uniwersytetu Stefana Batorego, a przynajmniej trzech jego głównych wydziałów: matematyczno-przyrodniczego, humanistycznego i sztuk pięknych przybył do Torunia. Wydział lekarski pojechał do Gdańska i tam jest działająca do dziś Akademia Medyczna, Wydział Rolny — do Poznania, Wydział Prawa — do Wrocławia, bo prawo nie było na razie w Toruniu przewidywane, no i Wydział Teologii — do Białegostoku. Tak więc powstał w Toruniu Uniwersytet Mikołaja Kopernika, nie „imienia” Mikołaja Kopernika, jak niektórzy błędnie powtarzają, bo to Kopernik sprawił, że w Toruniu powstał uniwersytet, i taka jest nazwa tej uczelni w akcie erekcyjnym. Co prawda, Toruń podobno w końcu XVI w. zabiegał o uniwersytet, ale wtedy nie dało się tego zrealizować.

Główny transport, liczący około dwustu profesorów, docentów, asystentów i personelu administracyjnego przybył z Wilna do Torunia 14 lipca 1945 r. Profesor Dziewulski, senior tego zespołu, powołany na prorektora powstającego uniwersytetu, zajmował się głównie zdobywaniem pomieszczeń i organizowaniem kadry. Nie wszyscy bowiem przyjechali z Wilna do Torunia: już wspomniałam o fizykach, jak prof. Niewodniczański, który wyjechał do Krakowa, z matematyków — doc. Jeśmanowicz pojechał do Lublina, doc. Józef Marcinkiewicz zginął w Katyniu. Profesora Jabłońskiego też trzeba było namówić i ściągnąć z Warszawy do Torunia, zwrócono się również do szeregu profesorów z innych uniwersytetów, tym się zajmował prof. Dziewulski. Przybyła też spora grupa profesorów, głównie wydziału humanistycznego, ze Lwowa. Rektor Kolankowski załatwiał w Warszawie głównie sprawy organizacyjne Uniwersytetu: jakie wydziały mają być uruchomione, jakie katedry mają powstać (wówczas były katedry w uniwersytetach). Już wspomniałam, że prof. Dziewulski zadbał o to, aby w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika były dwie katedry: astronomii i astrofizyki, czego jeszcze nie było w innych uniwersytetach. No, i tak się to zaczęło.

**JSz** — A jak doszło do wyboru Piwnic jako siedziby Obserwatorium Toruńskiego?

**WI** — Ano więc, we troje jeździliśmy po okolicy: korzystniejszy dla nas byłby kierunek na południe, ponieważ mielibyśmy miasto z jego światłami i dymem niejako za plecami, niebo bowiem obserwuje się zwykle w kierunku południowym. Ale się nie dało: tam był teren wojskowy — nie do przeniesienia. Wschód — zachód to Wisła, która, oczywiście daje opary i też nie jest najlepszym miejscem dla obserwatoriów. Więc poszliśmy na północny zachód: po prostu zwiedzaliśmy różne okolice, miejscowi doradzali nam Piwnice. Są one oddzielone od miasta lasem, rezerwatem nawet. Mimo to, łuna nad lasem jest i powiększa się. No, teraz nie tak bardzo, ponieważ są oszczędności w oświetleniu. Natomiast osłona tego pasa lasu jest dobra również dla radioastronomii, a poza tym Toruń jest niewielkim stosunkowo i słabo uprzemysłowionym miastem, więc to, co byłoby niemożliwe w Warszawie, Krakowie, czy w innych większych miastach, w okolicach Torunia — było i jest możliwe. Szczególnie, jeżeli się jeszcze stworzy lokalny rezerwat, obsadzając teren przyszłego Obserwatorium drzewami i krzewami, nad czym szczególnie czuwał prof. Dziewulski. Uniwersytet postarał się o to, aby Piwnice były pod jego zarządem i tak jest do dziś. Początkowo nasz Zakład mieścił się w dawnym tzw. „pałacu” dworskim, od r. 1957 mieliśmy już własny budynek główny, zbudowany na terenie Obserwatorium — mówię wciąż o obserwatorium optycznym. Pierwszy teleskop, jaki stanął w pierwszej kopule w r. 1949, to był właśnie ten pożyczony z Harvard College Observatory astrograf Drapera o średnicy 20 cm z pryzmatami obiektywowymi.

**JSz** — Wydaje mi się, że czytelnikom *Postępów Fizyki* warto podać parę słów o tym instrumencie, bo o ile mi wiadomo, jest on historycznie ważny?

**WI** — Bardzo ważny: właśnie w spektroskopii ten instrument wykonał już dużo prac na początku XX w. Był darowany Obserwatorium Harvardzkiemu w r. 1890 przez wdowę po lekarzu-astronomie Henryku Draperze. Tym teleskopem z pryzmatem obiektywowym były robione zdjęcia nieba: wtedy na kliszy otrzymuje się nie punkty jako obrazy gwiazd, ale paski, czyli krótkie widma, wystarczające do tzw. klasyfikacji widmowej — do określenia jaka jest temperatura gwiazdy, no i też, czy to jest karzeł, czy olbrzym, czy też nadolbrzym — w przybliżeniu. Więc dzięki temu instrumentowi (i paru podobnym) powstał

9-tomowy katalog typów widmowych ponad 200 000 gwiazd (*Henry Draper Catalogue*). Tę olbrzymią pracę wykonała jedna osoba w Harvard College Observatory, Miss Annie Cannon, chodziło bowiem o to, by klasyfikacja była wykonana w sposób możliwie jednorodny.

**JSz** — Benedyktyńska praca.

**WI** — Benedyktyńska praca. Ale właśnie w Ameryce byli tacy ludzie, którzy potrafili utrzymać taką dyscyplinę pracy. Ona to musiała wykonać sama w przeciągu zaledwie kilku lat i to jest m. in. dorobek tego instrumentu.

**JSz** — Tak więc sam fakt istnienia tego instrumentu w Piwnicach jak gdyby dodatkowo wzbogaca tradycję.

**WI** — Niewątpliwie, ale też ta tradycja została w pewien sposób w Toruniu podtrzymana. Gdy w r. 1962 uzyskaliśmy własny „duży” teleskop Schmidta-Cassegraina o średnicy lustra 90 cm, z pryzmatami obiektywowymi, zaczęliśmy za jego pomocą również pokrywać niebo zdjęciami widmowymi, sięgającymi, oczywiście, znacznie dalej w przestrzeń niż to czynił 20 cm astrograf Drapera i w znacznie szerszym zakresie długości fali. Te zdjęcia wykonywano w chwilach wolnych od innych programów obserwacyjnych. Powstała w ten sposób kliszoteka, obejmująca ok. 2000 klisz ze zdjęciami widmowymi ok. 10 milionów gwiazd, jako bank informacji o temperaturach, jasnościach absolutnych i składzie chemicznym milionów gwiazd. Ten bank nazywamy SSS = Spectroscopic Sky Survey.

**JSz** — Pani Profesor, a potem przyszły lata pięćdziesiąte i okres wielkich odkryć w astronomii. Czy to miało wpływ na dalszy rozwój?

**WI** — Otóż muszę się cofnąć o te 60 lat do początków mojej pracy aby powiedzieć, od czego się zaczęło. W końcu lat dwudziestych owocowały wielkie teleskopy na Mt Wilson w Kalifornii: półtorametrowy reflektor i 2,5-metrowy. To były wtedy największe teleskopy na świecie. Miały spektrografy szczelinowe i mierzono już w widmach nie tylko gwiazd, ale i całych galaktyk przesunięcia dopplerowskie linii. I cóż się stało? — Okazało się, że w widmach galaktyk, im są one dalsze i słabsze, linie są przesunięte coraz bardziej ku czerwieni. Ale to nie tylko tak, że te przesunięcia można mierzyć na mikrometrze, ale są one widoczne gołym okiem: powiedzmy niebieska część widma znajduje się w czerwieni itd. Otóż w 1930 roku Edwin Hubble, amerykański astronom, definitywnie stwierdził na podstawie tych przesunięć, a więc prędkości radialnych galaktyk, że one uciekają od nas i to tym szybciej, im dalej się znajdują, czyli że Wszechświat się rozszerza. (W tej chwili zaczynamy mówić o Wszechświecie!) To znaczy, że wydarzył się kiedyś Wielki Wybuch Wszechświata. Kiedy to było? — W ciągu tych 60 lat toczyły się spory, ponieważ niezbyt dokładnie znamy odległości galaktyk. Jeszcze teraz, w tych ostatnich latach spierano się, czy Wielki Wybuch wydarzył się 20 czy 10 miliardów lat temu. Przyjęto na kongresie Międzynarodowej Unii Astronomicznej w r. 1982 (takie kongresy odbywają się co 3 lata) kompromisowo na wiek Wszechświata  $15 \cdot 10^9$  lat. Więc proszę sobie wyobrazić teraz, jaką sensacją dla nas, wówczas młodych astronomów, była wieść o wybuchu i rozszerzaniu się Wszechświata. Nawet Einstein się przeraził, gdy mu taki obraz się wyłonił z jego relatywistycznego modelu Wszechświata, zanim obserwacje to ukazały. Oczywiście, nasze wieleńskie teleskopy nie pozwalały otrzymywać widm galaktyk, ale na seminariach z zapalem referowaliśmy prace z *Astrophysical Journal* na ten temat. Na seminaria te przychodziło

kilkanaście osób: z profesorów — Dziewulski, który je prowadził i Kazimierz Jantzen astronom i meteorolog, z asystentów — Stanisław Szeligowski, Mieczysław Kowalczewski, Wiktor Ehrenfeucht, nasza trójka wileńska, wreszcie, ok. 5 studentów. Bibliotekę Obserwatorium prof. Dziewulski zaopatrzył dobrze i mieliśmy wszystkie ważniejsze ówczesne czasopisma.

Więc bardzo ciekawe czasy zaczynały się w astronomii, ale czy owocowały one w jakiś sposób w naszych pracach? — Wspomniałam już, że prof. Dziewulski zajmował się badaniem ruchów gwiazd w pobliżu Słońca i mnie do tych prac wprowadził. Wspomniałam również, że prof. Lindblad zajmował się strukturą i dynamiką Galaktyki i wykrył, że składa się ona z szeregu podukładów o różnym stopniu spłaszczenia i różnej prędkości rotacji. Tuż po wojnie ukazała się bardzo ciekawa praca W. Baade'go, który wykrył, że różne podukłady, które nazwał populacjami, mają różny skład chemiczny: szybko wirujące układy płaskie (Populacja I) są bogatsze w ciężkie pierwiastki. Te zagadnienia: badanie ruchów i składu chemicznego gwiazd różnych populacji pochłonęły mnie i niektórych moich współpracowników w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych. W szczególności mój pierwszy pobyt w USA — w McDonald Observatory (Texas) zaowocował wykryciem różnic populacyjnych wśród gwiazd pulsujących, co miało znaczenie dla skali odległości galaktyk.

No, ale wróćmy do wielkiego Wszechświata. W miarę jak się buduje coraz większe teleskopy optyczne, a obecnie — radioteleskopy, widzimy coraz dalej i historia badań astronomicznych jest pochodem w dal w przestrzeni. Ale to nie tylko chodzi o to, aby jak w geografii badać coraz dalsze obszary, w astronomii jest to jednocześnie pochod w czasie wstecz: to jest badanie ewolucji Wszechświata. Jeżeli bowiem od najdalszego znanego dziś kwazara światło i fale radiowe biegną 13,5 miliarda lat, to widzimy go takim, jakim był 13,5 miliarda lat temu, a więc „zaledwie” półtora miliarda lat po Wielkim Wybuchu.

Dodam tutaj, że ten pochod w dal w astronomii rozpoczął Mikołaj Kopernik, o czym nawet kopernikaniści nie zawsze pamiętają. Wprowadzając model heliocentryczny, Kopernik napotkał na najpoważniejszy zarzut ze strony astronomów w tym, że gwiazdy są nieruchome i niezmiennie, że nie wykazują ruchów paralaktycznych, które by odzwierciedlały ruch roczny Ziemi dokoła Słońca. I w tym jest największy geniusz Kopernika, w odwadze myślenia, która mu kazała powiedzieć, że gwiazdy również oscylują, że wykazują ruchy paralaktyczne, tylko są one tak daleko, że my tych ruchów nie możemy zaobserwować. I dopiero w trzysta lat później ruchy paralaktyczne gwiazd zostały zaobserwowane. No i teraz ten pochod w dal w badaniach astronomicznych trwa, z tym, że Wielki Wybuch i rozszerzanie się Wszechświata nie wszyscy astronomowie od razu zaakceptowali. Koronnym testem Wielkiego Wybuchu było odkrycie po wojnie, w r. 1965 przez Penziasa i Wilsona w zakresie fal radiowych — centymetrowych i milimetrycznych — tzw. promieniowania relikтового, czyli kosmicznego promieniowania tła. To znaczy, że cały Wszechświat jest wypełniony chłodnym promieniowaniem o temperaturze 2,7 K, którego maksimum leży w zakresie fal milimetrycznych. Gęstość tego promieniowania jest tak wielka, że tych chłodnych fotonów jest więcej niż elektronów w całym Wszechświecie, niż w ogóle jakichkolwiek cząstek. To było wielkie odkrycie: autorzy zresztą również otrzymali nagrodę Nobla (w r. 1978). Od razu powiedziano, że to promieniowanie jest pozostałością po Wielkim Wybuchu, że jest jego produktem. Nie tylko bowiem materia została wówczas wy-

rzucona i rozproszyła się, ale również wielkie ilości promieniowania musiały być wymiutowane i rozproszone. Zgadzało się to również czasowo: potrzeba było tych kilkunastu miliardów lat na to, aby to promieniowanie ostygło: mówiono, że Wielki Wybuch był gorący, co dziś zresztą wcale nie jest takie pewne.

**JSz** — Czy ta praca wywarła wielkie wrażenie na astronomach?

**WI** — Oczywiście, to odkrycie było niezwykle doniosłe, było to jedno z wielkich wojennych odkryć. I proszę zobaczyć: kiedy zaczynałam pracę, nastąpiło pierwsze odkrycie Wielkiego Wybuchu, teraz w r. 1965 jak gdyby jego potwierdzenie, no a prof. Gorgolewski opowie, co się dziś dzieje z kwazarami.

**S. Gorgolewski [SGo]** — Można powiedzieć tak, że cała historia astronomii daje się opisać jednym zdaniem: rozszerzania się horyzontu. Z tym, że rozpoczął ją Kopernik, a w pewnym sensie zamknęli Penzias i Wilson, odkrywając to promieniowanie reliktowe. I to są te ramy, to jest też interesujące dla fizyka, że Galileusz chciał, że w ogóle chciano dawniej mieć jakiś taki wspólny układ odniesienia. Fizyka relatywistyczna pozbawiła nas tego, a to w pewnym sensie wróciło, my możemy mierzyć nasz ruch względem tego promieniowania. A więc mamy takie ściany w każdym kierunku, względem których się oczywiście poruszamy. Zdumiewającą rzeczą jest to, że nasza szybkość, dokładnie Ziemi, a więc Układu Słonecznego, jest względem tego tła mierzalna, jest zaledwie rzędu 200 do 300 km/s, to jest porównywalna z szybkością obiegu Słońca w Galaktyce. Tak więc, w pewnym sensie znowu wracamy do takiego punktu, że jesteśmy prawie w spoczynku we Wszechświecie.

**JSz** — Jeśli można przerwać, to odkrycie to było pierwszym wielkim odkryciem w radioastronomii. A w Polsce w tym czasie radioastronomia dopiero stawiała pierwsze kroki i to właśnie w Toruniu.

**SGo** — Te pierwsze kroki stawiane były wcześniej. Pisze o tym Sir Francis Graham-Smith w *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* (vol. 32, London 1986). Mówi tam m. in., że „rodzicami radioastronomii w Polsce są: prof. Iwanowska i prof. Ryle.

**JSz** — No właśnie, czy pani Profesor mogłaby coś dorzucić do tego stwierdzenia profesora Gorgolewskiego?

**WI** — Z tym, że prof. Ryle był naprawdę wielki w radioastronomii, ja zaś — bardzo mała. No więc było tak: w połowie lat pięćdziesiątych zaczęliśmy się interesować radioastronomią. Radioastronomia powstała właściwie po II wojnie światowej na zasadzie radaru biernie stosowanego. Zaczęliśmy od seminarium i powstała grupa złożona z fizyków: mgra Stanisława Gorgolewskiego, inż. Kazimierza Grzesiaka, później mgra Zygmunta Turły i astronomów: mgra Henryka Iwaniszewskiego i mgra Jana Hanasza. Panowie zaczęli przemyślać nad budową radioteleskopu, chociaż wszystko było jeszcze otoczone jak gdyby wojskową tajemnicą. Zbudowali pierwszy radioteleskop do obserwacji Słońca na fali 2,37 m. Wiadomo było, że korona słoneczna silnie promieniuje radiowo i mało, jak dotąd, była obserwowana na falach metrowych.

**SGo** — Pani Profesor skromnie nie mówi, że jeszcze wcześniej zaczęła wykłady na temat radioastronomii i napisała książkę o radioastronomii.

**WI** — Popularną książeczkę.

**SGo** — No, ale wtedy to była pierwsza książeczka w Polsce, właściwie wprowadzenie do radioastronomii. No, ja zostałem tutaj zwerbowany przez pana Henryka Iwaniszewskie-



go, który przyszedł kiedyś do II Pracowni, kiedy byliśmy tam z panem inż. Grzesiakiem.

**JSz** — W tym czasie był Pan Profesor pracownikiem Katedry Fizyki Doświadczalnej?

**SGo** — Tak, i wtedy zapaliłem się, oczywiście, razem z panem-inż. Grzesiakiem i postanowiliśmy działać. Mielśmy odbitki prac Martina Ryle'a z Cambridge na temat radioteleskopów słonecznych, no i tak to właśnie wyglądało. Ja pamiętam, że jeszcze jako student z moim kolegą Przemysławem Kiszkowskiem z Poznania chcieliśmy tam zbudować radar na meteory, opierając się na pracach opublikowanych przez prof. Lovella w Jodrell Bank w Anglii. No, ale, niestety, nikt w Poznaniu tym się nie interesował i dopiero tutaj zaczęliśmy budować ten radioteleskop słoneczny, co, mimo wszystko, było zadaniem bardzo trudnym.

**JSz** — Pański wyjazd do Cambridge miał istotne znaczenie dla dalszego rozwoju radioastronomii. Jak doszło do tego wyjazdu?

**WI** — No więc to było wielkie szczęście z kolei dla Torunia. Mianowicie, udało nam się zdobyć stypendium British Council i właśnie do Cambridge wysłać Pana Profesora (wówczas magistra jeszcze). I naprawdę ten wyjazd można uważać za początek toruńskiej radioastronomii.

**JSz** — A czy Pani Profesor wcześniej osobiście znała Ryle'a, czy tylko z prac?

**WI** — Nie, Panowie znali z prac, a w ogóle, jak powiedziałam, jeszcze świat był co do radioastronomii dość zamknięty. Anglia, ojczyzna radaru, okazała się najbardziej otwarta, powstało w Warszawie przedstawicielstwo British Council, które zaczęło przydzielać stypendia na staże w Anglii. Udało nam się wysłać Pana Profesora na roczny staż do Cambridge w r. 1958. Wówczas miałam okazję zobaczyć po raz pierwszy Ryle'a, gdy pojechałam na paromiesięczny pobyt do Francji i stamtąd zrobiłam wyskok do Anglii, aby zobaczyć, jak tam ta radioastronomia wygląda. Później, oczywiście, spotykałam prof. Ryle'a na różnych zjazdach, w szczególności, gdy miał on przeglądowy referat o radioźródłach na kongresie Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Pradze w r. 1964. Był to człowiek nadzwyczajny, zresztą oddaję Panu Profesorowi głos.

**SGo** — Więc to było tak, najpierw w r. 1957 była korespondencja i już wstępnie wyjazd był zatwierdzony. Potem była cisza, bo został wystrzelony sputnik, pierwszy na świecie i radioastronomowie w Cambridge go obserwowali przez dłuższy czas, mając zresztą najdokładniejsze wyniki, bo akurat pasowały ich długości fal i już na pierwszym obiegu widzieli jego sygnał. Podstroili tylko trochę swój radioteleskop, a ponieważ jest to urządzenie do dokładnego pomiaru pozycji obiektu na niebie, wobec tego pomiary tych orbit były najdokładniejsze. Pierwszy mój wyjazd do Cambridge nastąpił dopiero w październiku 1958 r., co też chyba nie było źle, a może nawet lepiej. No i tam dano mi taki temat: „Badanie korony słonecznej metodą zakrycia radioźródeł”. To była praca wspólna z (wówczas) doktorem Hewishem, który był moim bezpośrednim opiekunem, a oczywiście wszystkim dyrygował i wszystkich inspirował — to wszyscy zresztą do dziś dnia podkreślają — właśnie Martin Ryle. I on nie tylko wtedy inspirował radioastronomów, ale jeszcze w czasie wojny był specjalistą od radarów niemieckich. A dlatego się interesował radarami niemieckimi, żeby je zwalczać (i bronić życia lotników, którzy latali do Niemiec, żeby zmylić te radary tak, aby bezpiecznie stamtąd wracali). Tam miał duże osiągnięcia i dał się poznać jako wybitny człowiek, który potrafił kierować zespołami i stosować oryginalne metody. Był przede

wszystkim wielkim człowiekiem, któremu zależało na życiu ludzkim i który szanował wszystkich.

**JSz** — Kim był z wykształcenia?

**SGo** — O, tego ja się dopiero dowiedziałem najbardziej szczegółowo dosłownie w ostatnich dniach. W młodości to on właściwie nie miał kontaktów z astronomią, ale Graham-Smith we wspomnianej wyżej książce pisze tak: „że on kiedyś jeszcze jako chłopiec chodzący do szkoły nie mógł w nocy spać i gdy pytano się go, co się stało, dlaczego nie śpi — mówił, że jest zaniepokojony jedną rzeczą: kiedy myśli o przestrzeni, to nie może sobie wyobrazić, żeby ona była bez końca, ale równocześnie nie może sobie wyobrazić, żeby była skończona. I to mu nie daje w ogóle spokoju i spać nie może”. To były prawdopodobnie pierwsze zadatki na późniejszego astronoma królewskiego (Astronomer Royal).

**JSz** — Rozumiem, że po powrocie Pana Profesora z Anglii już było jasne, że Pan będzie budował radioastronomię. No i sądzę, że Pani Profesor gorąco popierała tę ideę.

**WI** — Tak jest, oczywiście. Pan Profesor Gorgolewski pracował nad tym tematem zakryć radioźródła przez koronę słoneczną i przywiózł do Torunia nie tylko ogromną wiedzę, właśnie zdobytą w Cambridge, w tym pierwszorzędnym ośrodku radioastronomii, w którym później był jeszcze mgr Kus i który Panowie teraz ze wzruszeniem ponownie odwiedzają, ale przede wszystkim przejął ideę interferometrii i sami Panowie zaczęli budować interferometry, a ponadto, po powrocie prof. Gorgolewskiego przyjechało sześć skrzyń aparatury. Nie były to gotowe pudła, gdzie tylko się naciska białe lub czerwone guziki, ale elementy wyselekcjonowane ze znanstwem, wyszperane po różnych zakamarkach Londynu, pochodzące z demobilu i wysyłane do Polski, ale nie w tajemnicy, bo wszystko było okazywane odpowiednim władzom, a przede wszystkim — Ryle'owi i za ich zgodą wysyłane. A za co były kupowane? — Za własne oszczędzane stypendium British Council, które było umiarkowanym stypendium. Wiem, że zamieszkał jak najtaniej, sam sobie gotował i oszczędzał funty na zakup aparatury — najpotrzebniejszych elementów, z których można aparaturę budować. I to stanowiło pierwsze wyposażenie laboratorium elektronicznego toruńskiej radioastronomii.

**JSz** — Kiedy zaczął działać pierwszy instrument?

**SGo** — No właśnie, pierwszy instrument zaczął działać jeszcze przed wyjazdem do Anglii. Tuż, tuż, dosłownie parę tygodni wcześniej myśmy próbowali budować radioteleskop, to była trzecia wersja — trzecia, bo to nie było wcale łatwe. Udało nam się w 1958 r. jeszcze w lutym zaobserwować raz Słońce przez parę dni i potem zginęło.

**JSz** — Na jakiej długości fali?

**SGo** — 127 MHz, a to wynikało z tego, że ja kiedyś jeszcze jako taki amator, radioamatorskie miałem ciągoty i jeszcze zanim poszedłem na studia, miałem laboratorium w domu, poczynając od generatora sygnału, multimetru, oscyloskopu, wszystko zrobione we własnym zakresie ze sprzętu też z demobilu, ale niemieckiego. Tam natomiast miałem okazję położyć swoje ręce na demobilu angielskim i amerykańskim i to były urządzenia, które się właściwie nie psuły, najlepszy sprzęt wojskowy. I oni używali podobnych rzeczy w Cambridge w radioteleskopach. I potem nauczyłem się wiele rzeczy tam robić i dopiero miałem porównanie z tym, jak my robiliśmy u siebie.

**JSz** — O ile się nie mylę, to Pańska praca habilitacyjna była pierwszą w Polsce z radioastronomii?

**SGo** — Tak, i doktorska, i habilitacyjna, były pierwsze w Polsce.

**JSz** — Chciałbym teraz zapytać Panią Profesor o to, jakie wrażenie zrobiło na Pani odkrycie kwazarów?

**WI** — W tej chwili, mimo że ja radioastronomem nie byłam i nie jestem, cała moja uwaga koncentruje się wokół zjawiska kwazarów i nawet sama jeszcze próbuję coś zrobić w tym kierunku. Wspaniały wykład o kwazarach, jak wspomniałam, miał na jednym z kongresów Unii w Pradze sam Martin Ryle. On wcześniej już wiedział, że to są protogalaktyki. Tylko zaskoczenie polega na tym, że one promieniują setki i tysiące razy silniej niż galaktyki stare, takie jak nasza na przykład. Poza tym, są niezwykle dynamiczne: wyrzucają z prędkościami relatywistycznymi materię — miliony mas słonecznych — w przestrzeń i z reguły w dwóch przeciwnych kierunkach, jako tzw. bipolarne wyrzuty. Więc to, co ja obecnie myślę i próbuję, to szukać w naszej Galaktyce śladów jej kwazarowej przeszłości. My żyjemy w tzw. Lokalnym Układzie Galaktyk złożonym z naszej Galaktyki, galaktyki Andromedy i ok. 30 drobnych galaktyk, które prawdopodobnie kiedyś były wyrzucone z jednej lub drugiej dużej galaktyki. Ale to — na marginesie, jako dowód, jak jestem tym zafascynowana. O kwazarach najwięcej może, prócz Pana Profesora Gorgolewskiego, powiedzieć dr Kus, którego praca habilitacyjna i kilka innych prac są poświęcone kwazarom. Ale jeszcze trzeba powiedzieć parę słów o VLBI (Very Long Base Interferometry). Może jeszcze Pan Profesor o tym powie?

**SGo** — Wyjazd do Cambridge był o tyle szczęśliwy, że po pierwsze tam był właśnie Martin Ryle i właściwie był to najlepszy ośrodek — tak jak Pani Profesor kiedyś powiedziała: „jeżeli wyjeżdżać, to do najlepszych ośrodków, bo gdzie indziej to jest strata czasu”, więc to było wielkie szczęście. Po drugie, że tam właśnie rozwijano interferometrię. Interferometria stała się tak niesłychanie potężnym narzędziem właśnie dzięki Ryle'owi. Może posłużę się takimi określeniami, jakich używam, gdy mówię do studentów albo wycieczek, które nas odwiedzają, że Ryle przechytrył nawet pająka, który jest fantastycznym inżynierem i ma takie samo zadanie jak radioastronom: budować jak największą powierzchnię zbierającą. Na owady w tym pierwszym przypadku, a w drugim — na energię promieniowania radiowego, które jest niesłychanie słabe. Bo pająk robi najpierw te proste radialne odcinki, a potem zatacza te drugie, które przypominają okręgi, i robi to niesłychanie sprawnie i wydajnie z własnych materiałów, dochodząc do perfekcji. Natomiast Ryle nie zrobił całej pajęczyny w supersyntezie apertury, za którą otrzymał nagrodę Nobla w r. 1974. Wystarczy zrobić tylko dwa oczka. Jednomilowy radioteleskop miał trzy oczka i Ziemia zatacza okręgi przy pomocy ruchu obrotowego, który w pierwszych interferometrach właściwie zwalczano, a on to wykorzystał. Po co zwalczać przyrodę, z przyrodą jeszcze nikt nie wygrał! I wobec tego przesuwam później te oczka w inne miejsce i tworzy krok po kroku tę nigdy równocześnie nie istniejącą pajęczynę, jaką stanowi (w supersyntezie) syntetyzowany instrument. W tę pajęczynę dała się złapać przyroda. To jest wielka rzecz. My wiemy, jako fizycy, że żadne urządzenie, żaden przyrząd nigdy nie będzie działał, jeżeli jedno, najmniejsze prawo fizyki usiłowałibyśmy ominąć czy zlekceważyć. Zawsze musimy tylko znane prawa wykorzystywać, poznawać nowe, a wszystko, co człowiek zdobył, jest tylko w zgodzie z przyrodą. I tu właśnie Martin zrobił rzeczy niesłychanie proste, zgodne z przyrodą i dające wyniki zupełnie wykraczające poza inne możliwości. W połowie lat sześćdziesiątych zbudował radioteleskop jednomilowy, na którym nasz kolega Kus robił później swoją

pracę doktorską, i ten radioteleskop „widział” rzeczywiście tak samo, jak luneta Galileusza — trzy razy ostrzej niż nieuzbrojone oko ludzkie. Ale minęło niecałe 10 lat i był już w Cambridge 5-kilometrowy radioteleskop, który dorównał największym instrumentom optycznym, wówczas 5-metrowemu teleskopowi na Mount Palomar. Interferometria szła dalej, tym bardziej interferometria na bardzo wielkich bazach. Już nie starczyły bazy rzędu kilku km, ale anteny rozrzucone na całym kontynencie. I rzecz wydawać by się mogła niemożliwa, ale, jak widzieliśmy, Martin Ryle to właśnie nam pokazał, że nawet tylko przy pomocy dwóch oczek tej ogromnej pajęczyny można w zasadzie stworzyć sukcesywnie, wykorzystując rotację Ziemi, ogromne instrumenty. To zostało doprowadzone do granic możliwości. Bo kiedy zaczęły działać kontynentalne bazy, po raz pierwszy, to pomiary takie były robione (w połowie lat 60. w Kanadzie i USA) dwiema różnymi metodami. Zwyciężyła metoda cyfrowa, którą Amerykanie stosowali. Zaczęto również używać baz międzykontynentalnych, a w tej chwili doszło do tego, że Ziemia już jest za mała. Kiedyś nasz kolega, którego pan Andrzej Kus zaprosił ze Szwecji, pierwszą rzeczą, jaką w swoim odczycie tutaj pokazał, było przezrocze — zdjęcie Ziemi zrobione albo ze stacjonarnego satelity, albo w czasie lotu ludzi na Księżyc — cały glob, wspaniała, najpiękniejsza planeta w Układzie Słonecznym i powiedział: „To jest nasz radioteleskop”. I tak jest faktycznie: cały nasz glob jest radioteleskopem, a jednym z jego oczek jest nasz toruński radioteleskop o średnicy 15 m wraz z całą aparaturą odbiorczą wykonaną we własnym zakresie.

W najbliższych dniach pojadę do Moskwy na tzw. RADIOASTRON. Chodzi tu o stację VLBI na bardzo odległych bazach — już w kosmosie. Po prostu Ziemia jest za mała i są dwa projekty przedłużenia globalnej interferometrii za pomocą sztucznych satelitów Ziemi: RADIOASTRON radziecki i QUASAT — Zachodnia Europa i USA, które się do tego przymierzają. Globalna VLBI o blisko  $10^4$  razy lepszej zdolności rozdzielczej liniowej (czyli  $10^8$  razy lepszej zdolności rozdzielczej powierzchniowej) może dać obraz zawierający  $10^8$  punktów tam, gdzie największe teleskopy bazujące na Ziemi mogą uzyskać jeden punkt na obrazie — to jest rzeczywiście coś niebываłego i trzeba się szczytać, czy to nie sen! A okazuje się, że to rzeczywistość. No i kolega Kus, który jest najbardziej zaawansowany w naszej grupie w tych badaniach i uczestniczył w globalnym systemie (i to jeszcze wtedy zanim nasz radioteleskop mógł się włączyć do tej sieci i później — już z naszym radioteleskopem). Brałszy udział w globalnych obserwacjach niejednokrotnie. Kolega Kus sam robił prace badając kwazar 3C 309.1 i może najbardziej autorytatywnie w Polsce powiedzieć o tych sprawach.

A. Kus [AK] — Może nie najbardziej autorytatywnie, ale mogę dołożyć swój głos do głosu innych. Uważam, że prof. Iwanowska pierwsza w kraju zrozumiała znaczenie tych nowych metod i rozwoju tej nowej dziedziny astronomii. Radioastronomia to nie tylko inne okno widmowe, ale to również inna fizyka obiektów kosmicznych. Radioastronomowie nie widzą w zasadzie tak samo jak optycy tych samych warstw materii świecącej. Widzą plazmę o małej gęstości, ale o wysokiej energii cząstek. Właściwie cząstki elementarne, relatywistyczne w bardzo słabym polu magnetycznym. Oczywiście, koncentracja tej plazmy i pól magnetycznych jest różnorodna i to stanowi przedmiot badań. Pan prof. Gorgolewski mówił o niesamowitych osiągnięciach w kątowej zdolności rozdzielczej. To naturalnie wynika z instrumentu, ale przede wszystkim to się zrodziło z potrzeb. Po pierwszym odkryciu

kwazarów w latach 60. przy identyfikacji optycznej i stwierdzeniu, że to są inne obiekty, powstała bardzo pilna potrzeba badania tych obiektów. Metody optyczne mogły dostarczyć informacji jakościowej i ilościowej o widmach, natomiast astronomowie zawsze dążyli do tego, żeby poznać szczegóły budowy, strukturę rozkładu jasności. W wypadku kwazarów żadne metody optyczne do tego się nie nadawały, ponieważ rozdzielczości kątowe były znikome, a zwłaszcza przy tak słabych obiektach i długich czasach naświetleń klisz po prostu obrazy się rozmazywały na skutek drgań atmosfery. I dlatego radioastronomowie podążali w tym kierunku, żeby po pierwsze zmierzyć skąd dociera to promieniowanie, powiązać, o ile to jest możliwe, z obiektami optycznymi. No a później, kiedy te nowe metody VLBI pozwoliły zobaczyć obrazy radiowe (właśnie po to głównie były one skonstruowane i wprowadzone) to żeby wreszcie poznać mechanizm kwazarów odpowiedzialny za te wiele razy, czy kilkaset tysięcy razy, silniejszą emisję niż wysyła normalna galaktyka.

No właśnie, można bardzo długo mówić na temat kwazarów, ale zasadnicze rzeczy, które badania radioastronomiczne wniosły, to poznanie struktury części centralnych kwazarów w ostatnich latach — mechanizmu, czy w pewnym sensie mechanizmów odpowiedzialnych za powstanie tych bipolarnych wyrzutów, wpływów materii na odległości nawet do Mpc z centralnych obszarów galaktyk czy kwazarów i mechanizmu, który przyspiesza cząstki w jądrach kwazarów. Więc, przy tych dużych zdolnościach rozdzielczych kątowych, możemy obserwować zjawiska takie jak nadświetlną ekspansję składników w kwazarach. Oczywiście, to jest efekt obserwowany tylko w specjalnych przypadkach; wynik relatywistycznej projekcji na płaszczyznę nieba. Te fakty są znane i dobrze już w tej chwili zinterpretowane.

**JSz** — Liczba faktów obserwacyjnych jest w tej chwili ogromna, a jaki jest stan teorii?

**AK** — Można powiedzieć, że teoria w pewnym sensie nie nadąza w tej chwili za interpretacją tych faktów obserwacyjnych. Choć jest ich dużo, to jednocześnie za mało, aby dostatecznie zweryfikować np. teorię czarnego dołu i dysku akrecyjnego. Trzeba jeszcze poczekać parę lat na nowe fakty obserwacyjne, które potwierdzą „naocznie” obecność takiego tworzywa. Kosmiczne VLBI, być może, przyczyni się do tego, bo jak oceniamy w tej chwili, kątowa zdolność rozdzielcza pozwoli wówczas zaobserwować dysk akrecyjny w najbliższych galaktykach aktywnych. Jeśli będziemy mieli takie dowody, to wtedy można będzie powiedzieć, że obecnie przyjmowany model jądra kwazara lub jądra aktywnej galaktyki jest dobry. Istnieje przekonanie, że źródłem energii jest centralny obiekt zwany czarnym dołem o masie ok.  $10^8$ — $10^9 M_{\odot}$ , otoczony dyskiem akrecyjnym. Cały ten obszar wysoce aktywny ma rozmiary naszego układu planetarnego, a materia w nim ma niezmiernie wysoką temperaturę (do  $10^{12}$  K). Do tego obrazu trzeba oczywiście dodać „dżety”, które dominują w obserwowanych strukturach radiowych, jednakże mechanizm ich powstawania nie jest znany. Teoretycy mają tutaj bardzo dużo do powiedzenia i działania, ale generalnie można stwierdzić, że zjawiska aktywności w jądrach galaktyk są jeszcze nie poznane i chyba jeszcze przez jakiś czas nie będziemy dokładnie znali natury kwazarów.

**JSz** — I w tej dziedzinie granice między fizyką i astronomią właściwie się bardzo zatęrzyły. Wszeczeńświat tak rozumiany, jak w tej chwili patrzymy na niego, stanowi ogromne laboratorium fizyków. Pamiętam, że pani Profesor po raz pierwszy chyba zapoznała ogół fizyków polskich z problemem czarnych dołów (dziur), na Zjeździe Fizyków Polskich w Łodzi, o ile pamiętam dobrze, to był referat plenarny pani Profesor.

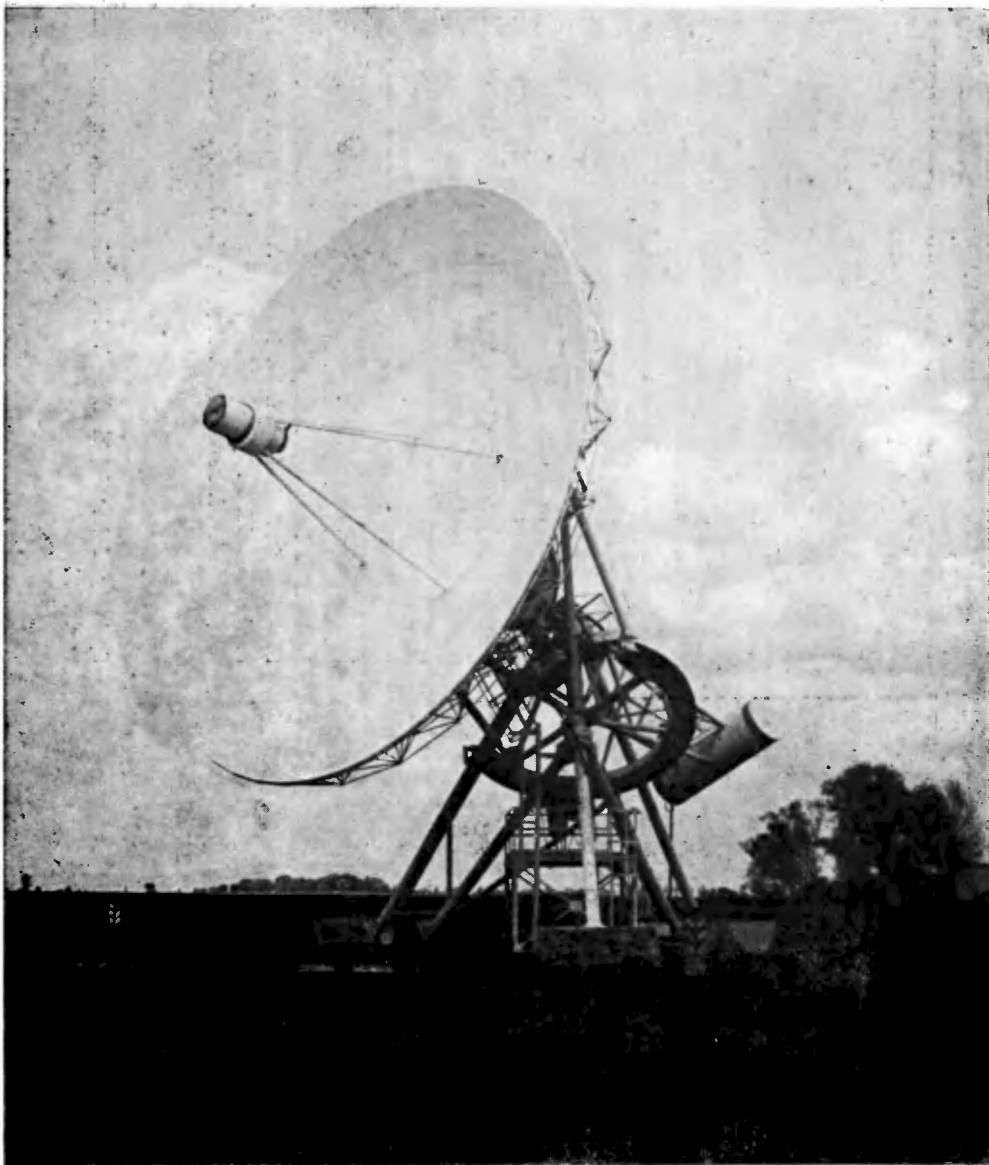
WI — Ja nie jestem kosmologiem-teoretykiem, ale pozwalam sobie powiedzieć, że uczestniczę w kosmologii obserwacyjnej, nawet w tym, o czym wspominałam, co robiłam. Kosmologia jest w tej chwili w stanie jakiegoś osłupienia: kwazary swoimi nieprzewidywanymi właściwościami uderzyły w te już jak gdyby uczesane teorie kosmologiczne, według których był Wielki Wybuch, gorący, wszystko się rozsypało, a później grawitacja musiała ciężko pracować nad skupianiem materii w gwiazdy, galaktyki, gromady i supergromady galaktyk. Musiały istnieć po Wielkim Wybuchu fluktuacje gęstości i w tych zgęszczeniach grawitacja zdołała skupić, skompymować materię. Otóż w tej chwili to wszystko jest zachwiane, bo skąd zaraz po Wielkim Wybuchu pojawiły się tak potężne, tak zgęszczone obiekty jak kwazary? Kiedy one miały powstać, jeżeli już istniały półtora miliarda lat po Wielkim Wybuchu? Mówi się o czarnych dziurach. Na pewno w jądrach kwazarów jest supergęsta materia. Tylko, czy tak bez cudzysłowu można stosować do niej, jak się to robi, nazwę czarnej dziury? Pojęcie czarnej dziury było przez fizyków wprowadzone do brych kilkadziesiąt lat temu, kiedy jeszcze nikomu nie śniły się kwazary. Mówiono, że czarna dziura to jest końcowy etap rozwoju materii, która już wyczerpała wszystkie możliwe źródła energii czy to jądrowej, czy jakiegokolwiek innej i jest wydana na pastwę samej grawitacji, która ją ściśnie do gęstości nuklearnych. Taki obraz czarnej dziury istniał w fizyce teoretycznej. Otóż ten obraz niezupełnie pasuje do kwazarów, w których mamy młodą materię, powstałą świeżo po Wielkim Wybuchu, supergętą, to prawda, no ale przed Wielkim Wybuchem wszystko było supergęste. Jest jedna niestandardowa idea, która mówi, że w jądrach kwazarów, a także galaktyk aktywnych, jest pierwotna supergęsta materia. Ewolucyjnie pomiędzy kwazarami i spokojnymi galaktykami jak nasza jest jeszcze obszar tzw. galaktyk o aktywnych jądrach, które też wyrzucają materię i silnie promieniują, ale o rząd wielkości, czy parę rzędów słabiej niż kwazary, a znacznie silniej niż takie niezupełnie zresztą spokojne galaktyki jak nasza. Otóż owa niestandardowa teoria, a może nie teoria jeszcze, to jest idea ormiańskiego astrofizyka Ambarcumiana, który już 40 lat temu powiedział że w obecnej fazie ewolucji Wszechświata niezapadanie grawitacyjne jest dominującym procesem, a przeciwnie, rozszerzanie się, eksplozja, fragmentacja. Ciekawe, że on to głosił, gdy w Związku Radzieckim o Wielkim Wybuchu nie wolno było w ogóle myśleć. On tę teorię dalej rozwija ze swymi współpracownikami opierając się na badaniach obserwacyjnych aktywnych galaktyk i gwiazd wybuchowych w prowadzonym przez siebie Obserwatorium Astrofizycznym w Biurakanie koło Erewania. W jądrach aktywnych galaktyk i młodych niestacjonarnych gwiazd jest pierwotna — pochodząca z Wielkiego Wybuchu — supergęsta materia eksplozywna. Proponowano nazwać ją materią hadronową, ponieważ, m. in. bardzo prosty związek, jaki zachodzi pomiędzy momentem obrotowym i masą hadronów, powtarza się w całym Wszechświecie od planet do gromad galaktyk z małą zmianą w wykładniku. Owa pierwotna materia z czasem przechodzi w zwykłą materię molekuł i atomów.

Ta idea Ambarcumiana nie jest ogólnie przyjęta, ale z biegiem lat — według mego rozeznania — zyskuje wciąż nowe argumenty. Na dzień dzisiejszy nie ma kosmologii, która by rozwiązywała wszystkie zagadki Wszechświata, jak zagadkę aktywności kwazarów. Pracują nad tym i astronomowie, i kosmologowie, i fizycy od strony wysokich energii i fizyki cząstek elementarnych. No, ale najpilniejszą w tej chwili sprawą są badania obserwacyjne najdalszych obiektów, w których na czoło wysunęła się radioastronomia dzięki



Astronomici i radioastronomici toruńscy. Siedzą od lewej: A. Burnicki, J. Smoliński, Z. Turło, B. Wikierski, A. Stawikowski, A. Woszczyk. Stoją od lewej: R. Tyłenda, L. Dybkowski, S. Kaspercuk, J. Strobel, A. Kaczor, A. Strobel, J. Sikorski, S. Krawczyk, J. Krelowski, N. Maron, J. Hanasz, S. Grudzińska, A. Wolszczan, S. Gorgolewski, H. Wełnowski, W. Iwanowska, A. Kus, C. Iwaniszewska, E. Basińska, J. Krempeć, B. Krygier, S. Gąska. Fot. J. Gardzielewska

Spektrograf kanadyjski dra E. H. Richardsona, zamontowany na teleskopie w r. 1974



Radioteleskop o średnicy 15 m (1977). Fot. A. Kępa

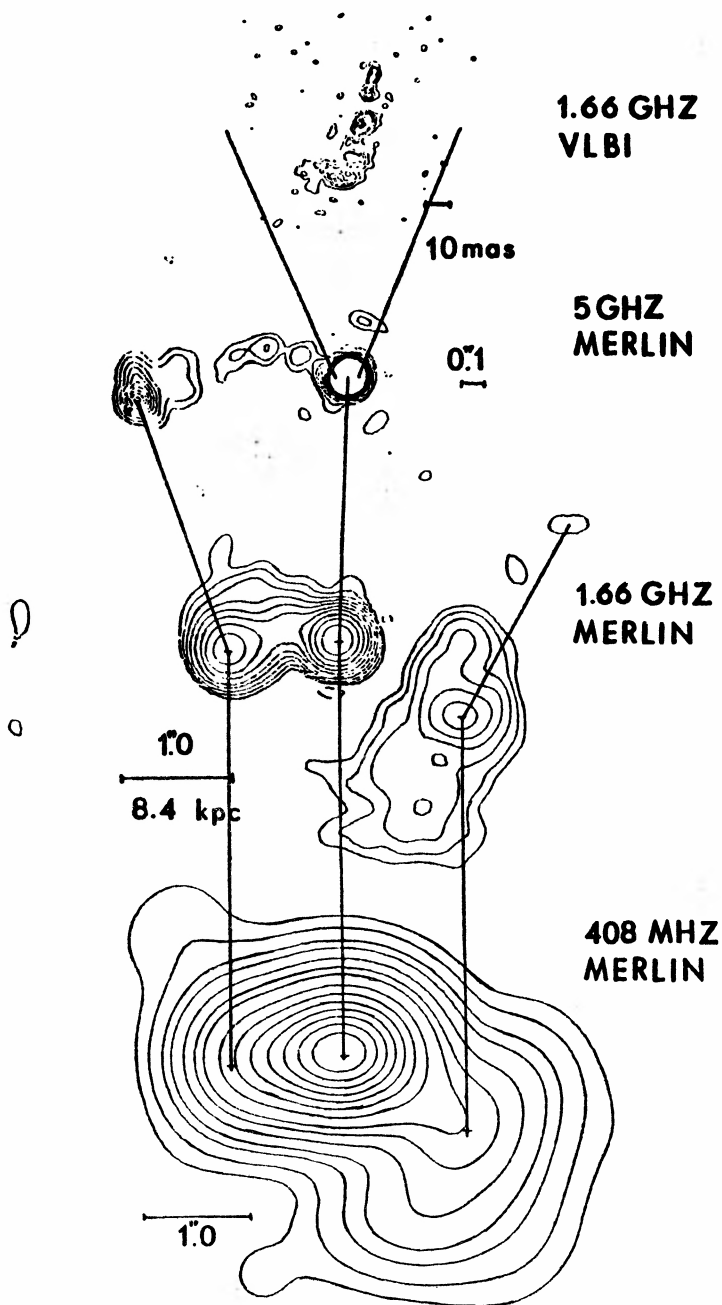




XX Zjazd YERAC (Young European Radio Astronomers Conference), Toruń 1987



Wilhelmina Iwanowska (ok. 1970). Fot. A. Czarnecki



Struktura kwazara 3C 309.1 obserwowana w różnych skalach (A. Kus, *Radiowe badania kwazara 3C 309,1*, Wyd. UMK, Toruń 1985)

uzyskaniu niezwyklej rozdzielczości, dochodzącej do tysięcznych części sekundy łuku. Przecież kwazar w największych teleskopach optycznych jest tylko punktem, w najlepszym razie — plamką. A jakże bogate i dynamiczne mapy kwazarów otrzymują radioastronomowie dzięki najpiękniejszej formie współpracy międzynarodowej, jaką jest VLBI, łączącej wschód i zachód, północ i południe w skali całego globu. I co w tym jest najbardziej zadziwiające, że przecież pięta achillesowa, zdawałoby się beznadziejnym upośledzeniem radioastronomii — wtedy gdy to drugie okno na Wszechświat zostało otwarte — jest straszliwe uginanie się fal radiowych, miliony razy dłuższych od fal świetlnych. I właśnie tę najsłabszą stronę radioastronomii pokonał Martin Ryle, stosując i rozwijając interferometrię. A gdy jeszcze zostanie umieszczony choćby jeden radioteleskop na dalekim sztucznym satelicie Ziemi, współpracujący z VLBI, to się jeszcze dalej pójdzie i jeszcze dokładniej zobaczy, kiedy i z czego rodziły się kwazary. To są rzeczy, od których się po prostu nawet kosmologom w głowie kręci.

Cudem dla Torunia jest to, że tu powstała i rozwinęła się placówka radioastronomii, która jak gdyby wskoczyła w bieżący pędzący pociąg kosmologii obserwacyjnej, tzn. do konsorcjum VLBI i bierze czynny udział w równoczesnych obserwacjach tych samych kwazarów. Stało się to dzięki ludziom tak zaangażowanym i uzdolnionym jak prof. Gorgolewski i cały jego zespół, który nazywam orkiestrą, a w tej orkiestrze pierwsze skrzypce gra właśnie dr Kus. Trzeba widzieć, jak oni pracują, gdy jest sesja VLBI. Każdy taki radioteleskop musi mieć czas dokładny do milionowych części sekundy, bo między nimi nie ma połączenia ani kablowego, ani nawet radiowego. Każdy ośrodek pracuje jak gdyby niezależnie ze swoim czasem, oczywiście porównywanym i cechowanym. Oczywiście, nasz ośrodek spotyka się z pomocą, uznaniem i poparciem wszystkich partnerów, a tych partnerów nie jest znowu tak dużo. W Europie jest to Anglia, która ma własny interferometr na całej swojej wyspie, a poza tym uczestniczy w VLBI, Holandia — ten mały kraj, który jest potężnym partnerem, RFN, gdzie jest olbrzymi radioteleskop o średnicy 100 m w pobliżu Bonn, następnie Szwecja (Onsala) i Włochy (Bologna), no i Krym, ZSRR. Zdarzało się, że tylko 2 radioteleskopy współpracowały interferometrycznie: nasz 15-metrowy i 100-metrowy w Bonn, to było tak, jak gdyby każdy miał po 40 m średnicy. Jest idea, aby ujednoczyć rozmiary radioteleskopów, przynajmniej w konsorcjum europejskim do 32 m. I to w tej chwili staje się aktualne. Ale lepiej niech Pan Profesor o tym powie.

**SGo** — Są uruchomione środki na budowę takiego radioteleskopu i nowej stacji, dokumentacja jest na ukończeniu i mam nadzieję, że jeszcze w tym roku rozpoczną się pierwsze prace w terenie. I ta antena będzie instrumentem, który co najmniej na ćwierć wieku zaspokoi potrzeby instrumentalne naszej radioastronomii. Jest wielkim szczęściem, że można jeszcze w radioastronomii pracować na Ziemi, i to takimi stosunkowo tanimi instrumentami. Bo jeżeli nawet taka antena będzie kosztowała pół miliarda czy więcej złotych, to gdy to się rozłoży na długi okres obserwacji, np. 25 lat, to średni koszt na rok jest właściwie niewielki — ok. 20 mln złotych. Tak że jednorazowa inwestycja jest tylko duża, ale jej działanie później jest długotrwałe.

Może ja tu jeszcze wrócę i powiem parę słów na temat tych ostatnich rzeczy, które teraz łączą nas coraz bardziej z fizyką cząstek elementarnych. Brałem w tym roku udział w szkole, która zajmowała się cząstkami elementarnymi w astronomii i kosmologii. Tu właściwie zagląda się dalej, nawet poza tę zasłonę, którą stworzyło promieniowanie relikt-

we 3 kelwinów. Wydawało się jeszcze niewiele lat temu, że poza nie nigdy nie zajrzimy. A jak my możemy w ogóle zajrzeć poza tło? Otóż, kiedy mamy do dyspozycji największe akceleratory, które zaczynają dochodzić do energii rzędu 1000 GeV, tj.  $10^{12}$  eV, to temperatury tych cząstek są  $10^4$  razy wyższe niż liczba eV (1 eV jest trochę więcej niż  $10^4$  K), wynoszą więc  $10^{16}$  K. Jeżeli na to popatrzymy w ten sposób, że w ciągu pierwszej sekundy temperatura była — operując rzędami wielkości —  $10^{10}$  K, to dla  $10^{16}$  K czas  $t = 10^{-3}$  s. I my możemy zobaczyć, co się dzieje z materią w tych wysokich temperaturach, co odpowiada tym bardzo wczesnym momentom rozszerzania się Wszechświata. Czyli, posługując się coraz to bardziej potężnymi akceleratorami, cofamy się właśnie w czasie, już daleko poza tę zasłonę, pozornie zakrywającą wcześniejszą historię Wszechświata. Tak że już kosmologia w tej chwili również ma swoją dziedzinę laboratoryjną w fizyce wielkich akceleratorów.

Wielkie teorie unifikacyjne, teoria strun kosmicznych, też zaczynają dawać pewne wyniki, które zaczynają pasować do pewnych faktów obserwacyjnych. Tak, że w tej chwili następuje zacieśnianie się współpracy z fizyką i tak być powinno, bo w końcu fizyka jest jedna. Potwierdzają to badania astronomiczne i radioastronomiczne, a właściwie to już chyba Kopernik o tym mówił, gdy przypisywał materii jakieś siły przyciągające, mając tylko trzy przykłady ciał utrzymujących się w postaci kulistej: Ziemi, Księżycą i Słońca. A skoro są różne centra przyciągania we Wszechświecie, gwiazdy również muszą być sferami. A wreszcie dochodzimy do samej istoty grawitacji przez te wielkie teorie unifikacyjne, które mają za zadanie połączenie wszystkich sił przyrody. W obszarze najwyższych energii, daleko poza granicami współczesnych najpotężniejszych akceleratorów, następuje łączenie się stopniowe czterech rodzajów sił występujących w przyrodzie. Albo, patrząc z drugiej strony, na początku była supergrawitacja i ona zaczynała na pewnych etapach czasowych i temperaturowych rozdzielać się i powstawały oddziaływania silne, siły elektromagnetyczne, oddziaływania słabe i z tej supergrawitacji pozostało to, co jest obecnie, sama grawitacja. A więc żyjemy teraz w niezwykle fascynującym okresie i widzimy rzeczy takie, jakie niedawno trudno było sobie wyobrazić.

**JSz** — Tak, jest oszałamiające, ile się zdarzyło w ciągu, no, jednego życia, a przecież w tym roku mija 300 lat od chwili, kiedy Newton napisał *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Ale może teraz zaproponowałbym, żebyśmy z Wszechświata wrócili z powrotem do Piwnic i do Torunia. No, bo jeszcze jest jedna placówka, o której do tej pory nie mówiliśmy, to jest Pracownia Astrofizyki PAN i powstanie tej placówki to też przecież dzieło Pani Profesor?

**WI** — Rzeczywiście, jesteśmy rozproszeni w trzech placówkach w Toruniu: to jest Instytut Astronomii UMK, który powstał z dwóch katedr na początku i ma Obserwatorium Astronomiczne optyczne w Piwnicach, jest też samodzielna Katedra Radioastronomii UMK, która prowadzi Obserwatorium Radioastronomiczne w Piwnicach. No i jest od r. 1957 placówka PAN-owska: to jest Pracownia Astrofizyki, która jest filią obecnego Centrum Astronomicznego PAN w Warszawie. Te trzy placówki toruńskie, jeśli chodzi o liczbę etatów naukowych i technicznych są prawie równe. Dlaczego trzy? No dlatego, że astronomia, jeśli chodzi o liczbę studentów, ma ich stosunkowo niewielu, a główny cel i sens uprawiania astronomii stanowią badania Wszechświata i tutaj placówka PAN ratuje w jakiś sposób sytuację, bo to są etaty niedydaktyczne, aczkolwiek wszyscy, przy-

najmniej samodzielni pracownicy tej Pracowni, biorą czynny udział w zajęciach dydaktycznych, wykładają i prowadzą seminaria. W tej chwili Pracownia ma w sumie ok. 20 etatów, kieruje nią doc. Jan Smoliński. Nie będę wchodzić w szczegóły historii, ale niezależnie od sprawy Pracowni, chcę prosić doc. Smolińskiego o wypowiedź, ponieważ ma on w swym dorobku ciekawe połączenia. W badaniach astronomicznych istnieje obecnie tendencja, aby badać obiekty, które w jakiś sposób nie są jeszcze zrozumiałe, możliwie w całym zakresie widma: a więc zarówno na Ziemi w dwóch zakresach: optycznym i radiowym, jak i na satelitach od promieni X i  $\gamma$  aż do najdłuższych fal radiowych. To jest zdrowa tendencja, aby zbierać informacje w możliwie szerokim zakresie widma i właśnie doc. Smoliński coś takiego przeprowadził. Więc chciałabym, aby nam o tym opowiedział, a przy okazji o ważnym dla nas terenie współpracy — o Kanadzie, o kanadyjskich ośrodkach, z którymi, jak wiem, współpracują blisko również fizycy toruńscy.

**JSm** — Ja może kilka słów powiem na temat tych badań, głównie spektroskopowych, które prowadzę, jak również o tym, że w pewnym okresie mojego życia zajmowałem się również radioastronomią w tym sensie, że badałem promieniowanie radiowe poszczególnych gwiazd. Najpierw jednak chciałbym tu podkreślić pewne tło, które być może w naszej rozmowie nie zostało uwidocznione, i pewną cechę, którą właściwie przez całe swoje życie Pani Profesor się kierowała, to jest przede wszystkim uwaga na dalekosiężną współpracę z wiodącymi ośrodkami, a po drugie — inicjowanie nowych wiodących kierunków. Bo na początku swej pracy była Pani Profesor w zasadzie pionierem spektroskopii astrofizycznej w Polsce. W r. 1937 opublikowała Pani Profesor w wyniku swego pobytu w Szwecji znaczącą pracę, którą ja w swojej pracy doktorskiej wykorzystałem i w zasadzie te wyniki są nadal aktualne. Chodzi o gwiazdy o największych masach w naszej i w innych galaktykach. Mają one w widmach bardzo bogate linie absorpcyjne, które powstają w rozległych atmosferach tych gwiazd. Pani Profesor zwróciła na to uwagę i wykorzystwała jako kryterium rozpoznawcze gwiazd-nadolbrzymów. Ja zaś w swojej pracy doktorskiej wykorzystałem silną absorpcję linii w widmach gwiazd-nadolbrzymów jako kryterium turbulencji, czyli ruchu chaotycznego panującego w atmosferach tych gwiazd, dające się stosować do widm małej dyspersji.

**WI** — Jeśli można tu wtrącić, to była bardzo wartościowa praca Pana Docenta, w której pokazał Pan, że z widm niewielkiej dyspersji, które się łatwo i masowo otrzymuje nawet ze zdjęć z pryzmatem obiektywowym, można oszacować prędkość turbulencji i skład chemiczny atmosfery gwiazdy. Bez znajomości turbulencji otrzymamy fałszywy skład chemiczny, bazując tylko na absorpcjach całkowitych linii widmowych. To jest bardzo cenna metoda, za mało, uważam, wykorzystywana.

**JSm** — Jeśli chodzi o nowe kierunki badań, to słusznie zostało podkreślone poparcie, jakim się cieszy ze strony Pani Profesor radioastronomia. Jeśli chodzi o tę drugą cechę — powiązania z ośrodkami wiodącymi w świecie, to w zasadzie każdy, kto w Toruniu robił doktorat, niezależnie od tego, w której z trzech instytucji pracował, był przez Panią Profesor wysyłany na staż podoktorski do dobrego ośrodka, żeby zapoznać się z tematyką badań i metodami w tym ośrodku i tę tematykę w miarę możliwości adaptować tu u nas. Ja byłem wysyłany na stypendium podoktorskie do Instytutu Fizyki w Wiktorii (Kolumbia Brytyjska) w Kanadzie. Kierował nim wówczas prof. J. L. Climenhaga, fizyk i astronom. Moim zadaniem było badanie stosunku obfitości izotopów węgla  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  w gwia-

zdach węglowych. Prof. Climenhaga, który z tego zagadnienia zrobił doktorat, chciał je rozszerzyć możliwie na wszystkie gwiazdy węglowe i zebrał obfity materiał widm tych gwiazd w obserwatoriach w Kanadzie, Południowej Afryce i Japonii. Pracowaliśmy wspólnie z prof. Climenhagą nad tymi widmami i opublikowaliśmy kilka prac z takim wnioskiem ogólnym, że stosunek obfitości  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  w gwiazdach węglowych wynosi średnio ok. 10, a więc znacząco mniej niż na Ziemi. Drugim problemem, moim własnym, jaki chciałem podczas pobytu w Kanadzie realizować, było badanie widmowe gwiazd masywnych. Instytut Fizyki, w którym pracowałem, miał ścisłe powiązania z Dominion Astrophysical Observatory, którym kierował prof. K. O. Wright i w związku z tym miałem dobrą możliwość dojścia do dużych teleskopów i spektrografów kanadyjskich. Przez trzy dni w tygodniu pracowałem w Instytucie Fizyki, pozostałe cztery dni (raczej noce) spędzałem w Obserwatorium na fotografowaniu widm gwiazd masywnych. Wyselekcjonowałem listę 25 gwiazd — skrajnych nadolbrzymów o bardzo silnych liniach absorpcyjnych — i dla tych gwiazd powtarzałem zdjęcia widmowe co 10—20 dni, aby wykryć przypuszczalne zmiany w tych niestacjonarnych gwiazdach. Udało mi się zebrać bogaty materiał obserwacyjny, uzupełniany następnie wspólnie z Obserwatorium w Wiktorii i obejmujący obecnie ok. 1500 widm w dużej dyspersji gwiazd — skrajnych nadolbrzymów. Ponieważ są to obiekty dalekie, a więc pozornie słabe, musiałem bardzo dobrze znać sprawność tamtejszych spektrografów, bo każda pomyłka z czasem naświetlania, z braku doświadczenia powodowała zmarnowanie pogodnej nocy, nie do odzyskania już. W związku z tym opanowałem technikę obserwacji do perfekcji, wzbudzając podziw budowniczego tych spektrografów, dra E. H. Richardsona, że tak słabe obiekty mogą uzyskiwać. W tym czasie Pani Profesor zwróciła się do mnie z prośbą, abym zebrał informacje o spektrografach budowanych wówczas w świecie. Zbliżała się bowiem 500 rocznica urodzin Kopernika i były szanse na zakupienie spektrografu do naszego 90 cm teleskopu. Zwróciłem się do dra Richardsona, z którym miałem bardzo bliskie kontakty, a nawet się zaprzyjaźniłem, z prośbą o informacje. Powiedział mi wówczas, że oni mają najsprawniejsze spektrografy i mogliby zbudować taki spektrograf dla Torunia, jeżeli będzie błogosłowieństwo góry, tzn. National Research Council. Tak się szczęśliwie złożyło, że w tym czasie Polonia kanadyjska powzięła myśl ufundowania dla Polski jakiegoś instrumentu w związku z rocznicą kopernikowską. Z taką wiadomością zgłosił się doc. Bauer, fizyk z tutejszego Instytutu do Pani Profesor po swym powrocie z Kanady, gdzie miał rozmowy na ten temat z drem Blachutem. Pani Profesor z radością przyjęła tę wiadomość i zaproponowała, aby tym instrumentem był spektrograf zbudowany przez dra Richardsona. Polonia tę myśl zaakceptowała, a National Research Council zaprosiła Panią Profesor do wygłoszenia odczytów w Kanadzie. Ale może Pani Profesor opowie o tym sama.

WI — Mój objazd Kanady w styczniu 1973 r. miał na celu zapoczątkowanie obchodów kopernikowskich w tym kraju. Odwiedziłam 12 miast w Kanadzie od Atlantyku do Pacyfiku, wygłaszając w sumie ok. 26 odczytów o Koperniku lub na tematy astronomiczne, w połowie w języku angielskim dla ośrodków Royal Astronomical Society of Canada, w połowie po polsku dla ośrodków polonijnych. Wszystkie te uroczystości odbywały się bardzo pięknie, a szczególnie uroczystości w Ottawie, gdzie im przewodniczył prof. J. L. Locke, radioastronom patronujący wszystkim obserwatoriom podległym NRC, w tym Obserwatorium w Wiktorii, gdzie miał być budowany spektrograf. I został zbudowany pod kie-

runkiem dra Richardsona (bezpłatnie ze strony Obserwatorium w Wiktorii, dopłacony zaś od strony kosztu materiałów w wysokości ok. 30 tysięcy dolarów, zebranych przez Polonię kanadyjską) i ofiarowany naszemu Obserwatorium w dniu 15 maja 1974 r. przez delegację kanadyjską z prof. Locke'em, drem Richardsonem i drem Zdzisławem Przygodą na czele. Ten nowoczesny spektrograf, zaopatrzony w dzielnik obrazu (image slicer) i licznik fotonów jest podstawowym instrumentem do otrzymywania widm poszczególnych gwiazd w dużej, średniej i małej dyspersji. Jest obecnie najcenniejszym wyposażeniem naszego 90 cm teleskopu. Z Kanadą mamy w dalszym ciągu stałą współpracę, Doc. Smo-liński nam jeszcze o tym opowie, inni astronomowie polscy również tam jeżdżą.

**JSm** — Jak już powiedziałem, program obserwacyjny spektroskopii nadolbrzymów zrealizowałem przy życzliwej aprobacie w Obserwatorium w Wiktorii. Analiza tych bogatych materiałów jest kontynuowana do chwili obecnej. Ponieważ nadolbrzymy są to gwiazdy młode, ale ewolucyjnie zaawansowane, są niestabilne i widma ich wykazują duże zmiany czasowe. Celem badań widmowych tych gwiazd jest poznanie ich natury, procesów zachodzących w ich rozległych atmosferach, a w szczególności mechanizmów powodujących zmienne poszerzenia linii widmowych. A że są to najbardziej masywne gwiazdy, jakie natura stworzyła (masy ich wynoszą od 50 do 100 mas Słońca, promienie są tysiąckrotnie większe od promienia Słońca i gęstości są w atmosferach małe), badania spektroskopowe i teoretyczne nadolbrzymów mogą wnieść istotny wkład w poznanie ewolucji gwiazd. Dotychczasowe nasze badania widmowe pozwoliły na zaproponowanie modelu dla tego typu gwiazd. Zanim powiem o tym modelu, może powiem o liniach wodorowych, które nasunęły mi myśl o radiowych obserwacjach nadolbrzymów. Linie wodorowe miały kilka składników, z których wynikało, że wokół gwiazdy istniały strefy silnej jonizacji. Poza tym, utrata masy w tych gwiazdach, którą udało nam się oszacować, wynosiła bardzo dużo,  $5 \cdot 10^{-5}$  mas Słońca na rok — największe utraty, jakie spotykamy w gwiazdach. Ponieważ prędkości wypływu masy były znacznie niższe niż prędkości ucieczki z danego obiektu, wniosek był prosty, że w zasadzie materia jest skumulowana w postaci jakiejś otoczki. Jeżeli teraz jest jeszcze źródło jonizacji, a tak to przynajmniej żeśmy również z widm widzieli, to nasuwało się przypuszczenie, że ta strefa zjonizowanego wodoru może również promieniować radiowo. Wcześniej radioastronomem nie byłem, zajmowałem się spektroskopią optyczną, ale stosując istniejące teoretyczne modele promieniowania radiowego otoczek gwiazdowych, wyliczyłem strumień radiowy, jakiego należy się spodziewać w tak masywnych gwiazdach. Zachęcony ponadto przez Kanadyjczyków, taki projekt przedstawiłem i wspólnie z drem P. A. Feldmanem i drem L. A. Higgsem zrealizowałem program obserwacji radiowych gwiazd nadolbrzymów przy pomocy radioteleskopu o średnicy 46 m w Algonquin Radio Observatory we wschodniej części Kanady. Udało nam się zarejestrować promieniowanie radiowe dla trzech obiektów, w tym dla skrajnego nadolbrzyma HD 217476. Odkrycie promieniowania radiowego dla trzech obiektów uważałem za dobry prognostyk w tych badaniach i w modelu zaproponowanym dla skrajnego nadolbrzyma HD 217246 te obserwacje radiowe wykorzystałem. Krótko mówiąc, jest to układ podwójny, w którym jeden ze składników jest gwiazdą masywną i okres obrotu wynosi 620 dni. Całość znajduje się w rozszerzającej się otoczce złożonej z trzech warstw poruszających się z prędkościami 35, 54 i 84 km/s. Wszystko jest zanurzone w obłoku zjonizowanego wodoru. Ten model, obecnie zaakceptowany, jest wynikiem naszych badań spektroskopowych



i radiowych. Współpraca z Obserwatorium w Wiktorii jest kontynuowana w ten sposób, że tam się uzyskuje widma, a u nas następuje opracowanie. Temat „skrajne nadolbrzymy” zamierzamy wspólnie z Kanadą rozszerzyć na inne galaktyki, ponieważ zasięg teleskopów obecnie istniejących i udoskonalanych, oraz planowanych w najbliższej przyszłości wzrasta i pozwoli objąć takimi badaniami inne galaktyki.

**JSz** — Na zakończenie naszej rozmowy chciałbym zapytać panią Profesor, czy Pani jest spokojna o przyszłość?

**WI** — Jeśli chodzi o przyszłość astronomii światowej, zwłaszcza obserwacyjnej kosmologii, to moment jest bardzo ciekawy i myślę, że w szybkim tempie będzie dalej postępować zbliżanie się do momentu Wielkiego Wybuchu krok po kroku, chociaż te kroki są coraz trudniejsze. Jeżeli chodzi o tutejszy ośrodek, jestem dobrej myśli, aczkolwiek wszystko to jest również niełatwe. Ale, muszę powiedzieć, że mieliśmy to szczęście, że przyszli do nas i wyrosli ludzie bardzo uzdolnieni i bardzo zaangażowani, astronomowie i fizycy. No, a patronuje nam w tym wszystkim nikt inny, tylko Mikołaj Kopernik. Nie tylko przez to, że on naprawdę wiele rzeczy nam „ofiarowuje”, jak choćby to, że na rocznicę kopernikowską zostały wybudowane budynki radioastronomii, a później radioteleskop, ale również w sensie niewymiernym. Kult Kopernika obudził się we mnie i, sądzę, również wśród moich współpracowników, kiedy przed rocznicą kopernikowską powiedzieliśmy sobie: trudno, jesteśmy astronomami w Toruniu, musimy Kopernika poznać. Nie żeby czytać, co o Koperniku napisano, ale przestudiować jego dzieło. Odważyliśmy się na taką rzecz w postaci dobrowolnego seminarium, w którym średnio chyba sześć osób uczestniczyło i w którym nam pomagał prof. Jerzy Dobrzycki z Instytutu Historii Nauki i Techniki PAN w Warszawie, habilitowany zresztą w Toruniu. To jest astronom, który w porę zajął się historią astronomii i jeszcze przed rocznicą kopernikowską stał się kopernikanistą wysokiej rangi w kraju i na świecie. Z jego pomocą przestudiowaliśmy, jeśli tak można powiedzieć, *De revolutionibus* ksiąg sześć. Po prostu poszczególnymi rozdziałami dzieliliśmy się, jeden z nas czytał, oczywiście, w tłumaczeniu polskim, jakie już istniało, referował na zebraniu, dyskutowaliśmy.

I dopiero przedarcie się, przebrnięcie przez to jego dzieło oryginalne otwiera oczy na tę postać, na jego odwagę w myśleniu. Nie tylko bowiem „wstrzymał Słońce, ruszył Ziemię”, ale rozpoczął pochód w dal w przestrzeni, odrzucając gwiazdy na bardzo duże odległości, przez co wyprzedził swoją epokę prawie o trzysta lat. Zdumiewa fakt, że ten człowiek tyle osiągnął i taką śmiałą teorię postawił i testował ją obserwacjami, bo on również obserwował na „samodziałowych” prostych instrumentach, bez soczewek jeszcze! Kiedy? — Przecież był obarczony jako administrator dóbr kapitulnych i jako lekarz mnóstwem obowiązków. I wiemy też, że wykonywał je bardzo gorliwie i starannie w czasach przecież niełatwych. Więc kiedy i gdzie pracował nad swym dziełem? — We Fromborku, „w tym najdalszym zakątku ziemi”, pracując po nocach, w chwilach przeznaczonych na odpoczynek. Doczekał się tego, cudem niemal, że to dzieło zostało opublikowane jeszcze za jego życia. Nie wiemy, czy był świadomy, gdy mu przyniesiono te księgi, wydrukowane zresztą ze sfałszowaną przedmową. Obecnie, Towarzystwo Naukowe w Toruniu wydało z pomocą Ossolineum pierwszą księgę *O obrotach*, oczywiście w polskim tłumaczeniu, z prawdziwym wstępem i listem dedykacyjnym Kopernika i z komentarzem prof. Dobrzyckiego. Każdy może to czytać, bo to jest tylko opis teorii z jednym jedynym rysunkiem układu

heliocentrycznego i wszystkim Państwu tę książeczką skromną, ale autentyczną gorąco polecam.

A jeśli chodzi o działalność tych trzech placówek astronomicznych w Toruniu, to, oczywiście, Wszechświat pociąga wszystkich, Wszechświat fascynuje, ale na pewno jest też uświadomiona czy nieświadomiona dążność do tego, aby zasłużyć na to imię Mikołaja Kopernika, dla którego w Toruniu powstał ten Uniwersytet. I mam nadzieję, że już to, co teraz po tych czterdziestu latach powstało, co zdziałano, co opublikowano, co się robi, na co się liczy — szczególnie tu myślę o radioastronomii — że to faktycznie było i jest spłacaniem, powiedzmy, jak gdyby należnego długu tej niezwyklej postaci w historii nauki światowej.

**JSz** — Tak więc, tę rozmowę zaczęliśmy od Wilna, a potem przez Toruń dotarliśmy do Wszechświata i znowu wróciliśmy do Torunia. Musimy już — niestety — kończyć naszą rozmowę, dziękuję pani Profesor.

**WI** — My dziękujemy bardzo, stracili Panowie tyle cennego czasu, poświęcili przeszło trzy godziny.

**JSz** — To była dla nas ogromna przyjemność!

# ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH

*Stanisław Bednarek*

Studium Języka Polskiego dla Cudzoziemców  
Uniwersytet Łódzki

## Problemy nauczania fizyki studentów cudzoziemców Problems of Teaching Physics to Foreign Students in Poland

*Abstract:* Problems of physics teaching to foreign students are presented. The main difficulties are described and ways to overcome them and also to increase the effectiveness of teaching are discussed.

### 1. Wstęp

W polskich szkołach wyższych studiuje kilka tysięcy cudzoziemców. Efektywność ich studiów jest niestety niska. Zaledwie 40—60% tych studentów kończy studia [1]. Jedną z istotnych przyczyn tego stanu są trudności jakie mają cudzoziemcy podczas studiowania tzw. przedmiotów ścisłych. Zdecydowana większość studentów wybiera takie kierunki studiów, na których występuje fizyka. Trafiają oni prawie do wszystkich wyższych uczelni w Polsce. Dlatego w praktyce coraz więcej nauczycieli akademickich, prowadząc różne zajęcia z fizyki, może spotkać się z cudzoziemcami.

Wśród wielu nauczycieli mogą się wtedy pojawić niejasności i problemy, ponieważ znajomość procesu przygotowania cudzoziemców do studiów oraz zasad nauczania i możliwości tych studentów nie jest powszechna.

W istniejących publikacjach na temat kształcenia cudzoziemców bardzo niewiele mówi się o problemach związanych z nauczaniem fizyki. Ponadto prace te są rozproszone, trudno dostępne i pisane głównie przez polonistów, co czyni je mało przystępnymi i niewiele przydatnymi dla fizyka.

Dlatego wydaje się pożyteczne krótkie omówienie zasygnalizowanych zagadnień. Jest to tym bardziej uzasadnione, że liczba studiujących w Polsce cudzoziemców będzie wzrastać, a dotychczasowa efektywność studiowania nie może nikogo zadowalać.

### 2. Przygotowanie w zakresie fizyki

Cudzoziemcy przyjeżdżający do Polski na studia pochodzą z ponad 70 krajów. W zdecydowanej większości są to tzw. kraje rozwijające się. Łatwo wyróżnić następujące główne grupy państw: środkowoafrykańskie, arabskie, latynoamerykańskie i azjatyckie.

W wymienionych grupach krajów funkcjonują bardzo różne pod względem programów, czasu nauczania, form organizacyjnych i poziomu wymagań szkoły średnie. Powoduje to ogromne zróżnicowanie wyjściowego poziomu wiedzy i umiejętności z zakresu fizyki absolwentów tych szkół.

Przed zakwalifikowaniem do przyjazdu do Polski kandydaci poddawani są testowi wstępnemu z przedmiotów istotnych dla planowanego kierunku studiów. Test z fizyki obowiązuje m. in. kandydatów na studia techniczne i przyrodnicze. Testy te opracowane w Polsce i przetłumaczone na język angielski, francuski lub hiszpański przeprowadzane są w polskich placówkach dyplomatycznych. W wyniku testowania eliminowana jest część kandydatów, która nie osiągnęła tzw. minimum rekrutacyjnego, ale zakwalifikowane osoby i tak reprezentują bardzo zróżnicowany poziom. Między zakwalifikowaniem a rozpoczęciem w Polsce przygotowania do studiów upływa kilka miesięcy, a czasem parę lat. Okres ten przyczynia się do obniżenia poziomu wiadomości i umiejętności z fizyki w wyniku zapomnienia.

Przygotowanie cudzoziemców do studiów w Polsce realizowane jest w kilku ośrodkach: Gdańsku, Kielcach, Krakowie, Lublinie, Łodzi, Opolu, Wrocławiu i Warszawie. Wśród nich najstarszy (35 lat działalności) jest ośrodek łódzki — Studium Języka Polskiego dla Cudzoziemców w Uniwersytecie Łódzkim. Studium to przygotowuje rocznie ponad 500 studentów na wszystkie kierunki studiów w uczelniach całego kraju, a opracowane tu programy [2], formy organizacyjne, skrypty [3, 4] wykorzystywane są w innych ośrodkach.

Przygotowanie trwa ok. 10 miesięcy, podzielone jest na dwa semestry — zimowy i letni, obejmuje intensywny kurs polskiego (ok. 20 godzin tygodniowo) oraz równoległe naukę tzw. przedmiotów kierunkowych, potrzebnych do planowanych studiów. Zajęcia prowadzone są w 10—15-osobowych grupach studentów, którzy zamierzają studiować ten sam lub zbliżone kierunki studiów; np. dla studentów wybierających się na studia techniczne tworzy się grupy politechniczne, dla kandydatów do akademii medycznych — grupy medyczne. Zimowy semestr kończy się egzaminem z języka polskiego, a letni — również egzaminami z przedmiotów kierunkowych. Przystąpienie do egzaminów musi być poprzedzone uzyskaniem zaliczeń. Pozytywne wyniki egzaminów z semestru letniego uprawniają do skierowania na odpowiedni kierunek studiów bez egzaminów wstępnych w uczelniach.

Fizyka jest obowiązkowa dla grup politechnicznych, medycznych, rolniczych i sportowych (kandydaci do AWF). Zajęcia z fizyki rozpoczynają się po upływie 3—5 tygodni od początku nauki i prowadzone są przez wykładowców będących z wykształcenia fizykami. Kurs fizyki obejmuje 222 godziny w grupach politechnicznych, 162 w medycznych i sportowych oraz 124 w rolniczych. Daje to od 1 do 6 godzin zajęć z fizyki w tygodniu.

Programy nauczania zawierają podstawowe działy fizyki klasycznej: mechanikę, elementy fizyki cząsteczkowej i termodynamiki, elektryczność i optykę. Zakres ujęcia działów i haseł programowych zależy od profilu grupy, np. dla grup politechnicznych obszerniej ujęta jest mechanika i elektryczność, a dla grup medycznych — fizyka cząsteczkowa i optyka.

Główne cele nauczania fizyki stawiane przez programy są następujące:

- a) zapoznanie słuchaczy z terminologią języka polskiego w zakresie fizyki,
- b) skrótowe powtórzenie kursu fizyki realizowanego aktualnie w polskiej szkole średniej, ze szczególnym podkreśleniem zagadnień ważnych dla danego kierunku studiów,

c) ujednoczenie i wyrównanie poziomu wiadomości z fizyki wśród tej grupy słuchaczy, którzy realizowali w swoich krajach program fizyki w zmniejszonym zakresie,

d) przygotowanie przyszłych studentów do korzystania z polskiej literatury fizycznej, słuchania wykładów z fizyki i posługiwania się sprzętem laboratoryjnym, spotykanym w polskich pracowniach fizycznych.

### 3. Specyfika i trudności nauczania fizyki

W realizacji kursu przygotowawczego, a także podczas samych studiów, cudzoziemcy oraz prowadzący z nimi zajęcia nauczyciele akademicki napotykają szereg specyficznych problemów. Na początku zasób słów i struktur zdaniowych znanych studentom jest bardzo ograniczony. Powoduje to, że poprawne formułowanie definicji i precyzyjny opis zjawisk są trudne. Również w tym okresie niski jest poziom podstawowych umiejętności językowych, takich jak słuchanie i czytanie ze zrozumieniem. Jeszcze większe trudności mają studenci przy samodzielnym formułowaniu wypowiedzi mówionych i pisanych, ponieważ np. Arabowie dopiero co poznali alfabet łaciński. Prowadzi to do obniżenia szybkości przyswajania i rozumienia wiadomości oraz komunikowania się z nauczycielem. Bardzo zróżnicowany poziom wiadomości i umiejętności matematycznych uniemożliwia posługiwanie się bardziej zaawansowanymi metodami matematycznymi, np. rachunkiem różniczkowym i całkowym, a często utrudnia rozwiązywanie dłuższych zadań obliczeniowych.

Dla wielu studentów poznawanie polskiej terminologii fizycznej jest związane z jednoczesnym poznawaniem po raz pierwszy wielu pojęć fizycznych. Jest to konsekwencją omówionych zróżnicowań, z jakimi studenci rozpoczynają kurs przygotowawczy z fizyki. Z dydaktyki fizyki i psychologii wiadomo, że proces kształtowania pojęć jest wieloetapowy i długotrwały. Wskutek ograniczonej liczby godzin przeznaczonych na realizację wielu tematów, powoduje to często niedostateczne ukształtowanie niektórych pojęć, a w konsekwencji niewłaściwe posługiwanie się nimi mimo dobrego opanowania strony fonetycznej i gramatycznej. Na przykład student może poprawnie wymawiać i odmieniać przez przypadki termin „siła dośrodkowa”, jednocześnie nie umiając poprawnie zastosować tego pojęcia przy opisie określonego zjawiska. Z kolei liczby godzin nie można zwiększyć z uwagi na przeciążenie studentów, którzy obecnie i tak mają dziennie po 6—7 godzin zajęć przez 6 dni w tygodniu. Z powodu ograniczeń czasowych studenci nie wykonują samodzielnych ćwiczeń laboratoryjnych, a tylko korzystają z doświadczeń pokazowych. Dlatego bywają przypadki, że dopiero po skierowaniu na studia cudzoziemcowi przychodzi samodzielnie wykonać ćwiczenie laboratoryjne.

Sytuację komplikują różne terminy przyjazdu studentów — praktycznie od końca sierpnia do połowy listopada. W celu maksymalnego wykorzystania czasu na przygotowanie, który wskutek resortowych ustaleń nie może przekroczyć 1 roku akademickiego, grupy tworzone są z chwilą przybycia dostatecznej liczby osób, wybierających ten sam lub zbliżone kierunki studiów. Dlatego w tej samej grupie bywają studenci o różnym poziomie przygotowania z fizyki, różnych językach ojczystych i różnej znajomości tzw. języków kontaktowych, znanych również nauczycielowi (angielskiego, francuskiego, hiszpańskiego, rosyjskiego). W rezultacie porozumiewanie się nauczyciela ze studentami możliwe jest często

tylko w języku polskim. Trudno przecież żeby fizyk znał wszystkie języki kontaktowe, a oprócz tego np. arabski, perski, hindi i suahili. Likwidacja trudności i wyrównywanie poziomu następuje przez indywidualizację procesu dydaktycznego w postaci dodatkowych wyjaśnień, zróżnicowanych zadań domowych i konsultacji.

Znacznym obciążeniem dla studentów i wykładowców, szczególnie w początkowym okresie, jest proces adaptacji cudzoziemców do form organizacyjnych procesu dydaktycznego oraz warunków społecznych i kulturalnych panujących w Polsce. W późniejszym okresie daje także o sobie znać długotrwała rozłąka studentów z najbliższymi i ewentualne tragiczne wydarzenia w krajach rodzinnych (wojny, katastrofy, klęski żywiołowe). Odwraca to uwagę studentów od nauki, co w przypadku fizyki, której uczenie się wymaga dużej koncentracji i systematyczności, szybko przynosi negatywne skutki.

#### 4. Wnioski

Przedstawione zróżnicowania i trudności nie znikają z chwilą ukończenia studium i mają wpływ na dalsze studiowanie fizyki na wybranych przez cudzoziemców kierunkach. Nie może być to jednak przyczyną obniżenia wymagań stawianych cudzoziemcowi przy zaliczeniach i egzaminach z fizyki. Fizyka pełni zbyt ważną rolę dla wielu dyscyplin, a zagraniczni absolwenci studiów w Polsce zajmują zbyt odpowiedzialne stanowiska w swoich krajach, żeby można było pozwolić na obniżenie wymagań. Trzeba też pamiętać o tym, że reprezentują oni w pewien sposób polskie szkolnictwo wyższe za granicą. W okresie reformy gospodarczej nie bez znaczenia jest też fakt, że zdecydowana większość cudzoziemców to stypendyści polskiego Rządu lub Ministerstwa. Dlatego można i należy zróżnicować i ułatwiać tym studentom proces dochodzenia do założonego na danym kierunku poziomu wiadomości i umiejętności z fizyki bez obniżania tego poziomu.

Szczegółowe działania zależeć będą od indywidualnego przypadku i specyfiki określonego kierunku studiów. Uniwersalnymi i skutecznymi przedsięwzięciami mogą być: szybkie zorientowanie się w niedostatkach przygotowania, polecenie dodatkowej lektury łatwiejszego podręcznika, zezwolenie na dodatkowy termin zaliczania ćwiczenia lub kolokwium. W wielu uczelniach prowadzony jest lektorat języka polskiego dla cudzoziemców. Można więc zobowiązać studenta mającego kłopoty, głównie w zakresie terminologii i języka naukowego do udziału w tych zajęciach.

Również w łódzkim Studium w trosce o podniesienie i wyrównanie poziomu przygotowania z fizyki podjęto szereg działań. Przygotowane zostały nowe programy nauczania fizyki ze zwiększoną liczbą godzin w grupach politechnicznych, przeznaczono więcej czasu na utrwalanie zrealizowanego materiału nauczania i rozwiązywanie zadań. Wychodząc z założenia, że współczesna szkoła powinna nie tylko nauczyć ale też pokazać jak uczyć się samodzielnie, zwraca się studentom uwagę na racjonalny sposób organizowania nauki własnej. W opracowaniu znajduje się nowe wydanie skryptów, zbiorów zadań i ćwiczeń. Wprowadzono pisemny egzamin końcowy w grupach politechnicznych oraz egzaminy testowe w grupach medycznych. Egzaminy te sprawdzają zarówno poziom wiadomości

i umiejętności w zakresie fizyki jak też sprawność językową. Ocena prac egzaminacyjnych dokonywana jest komisyjnie.

Nauczanie fizyki cudzoziemców daje także okazję nauczycielom do ogólniejszych refleksji nad językiem fizyki i rolą języka w procesie poznawczym.

#### Literatura

- [1] J. Lewandowski, *Nauczanie języka polskiego jako obcego*, Monografia Glottodydaktyczna, Rozprawy UW, Wyd. UW 1985.
- [2] *Program nauczania fizyki w Studium Języka Polskiego dla Cudzoziemców (SJPdC)*, UŁ, Wyd. UŁ 1987.
- [3] *Fizyka*, część I, skrypt dla słuchaczy SJPdC, Wyd. UŁ 1985.
- [4] S. Janiszewski, J. Świątek, *Fizyka*, część II, skrypt dla słuchaczy SJPdC, Wyd. UŁ 1986.

## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

### Lubelskie Sympozjum „300 lat *Philosophiae Naturalis Principiorum Mathematicorum* Izaaka Newtona”

Dnia 5 lipca 1686 roku prezes Royal Society, Samuel Pepys, dał swe *Imprimatur* na wydanie fundamentalnych *Zasad matematycznych filozofii naturalnej*, ale drukiem ukazały się one równo rok później. W 1987 r. upłynęło więc 300 lat od wydania dzieła, co stało się okazją do zorganizowania sesji i konferencji naukowych przez wiele ośrodków fizyki i historii nauki w świecie, najczęściej z odpowiadającą jubileuszowi świetną obsadą prelegentów. Obchody rocznicowe odbyły się m. in. w macierzystym uniwersytecie Newtona, w Centrum Badań nad Renesansem i Barokiem Uniwersytetu Stanowego w Maryland, na Wydziale Filozofii Katolickiego Uniwersytetu w Nijmegen, w Papieskiej Akademii Teologicznej w Krakowie, w Castel Gandolfo pod auspicjami Papieskiej Akademii Nauk.

Sympozjum lubelskie zorganizowane przez Zakład Fizyki Teoretycznej UMCS w dniach 15—17 października 1987 r. zgromadziło ponad 30 zaproszonych wybitnych fizyków, metodologów i historyków nauki z Krakowa, Lublina, Poznania, Szczecina, Warszawy i Wrocławia. Szeroka reprezentacja specjalności i różnorodność filozoficznych punktów odniesienia pobudziły wszechstronną refleksję nad geniuszem i dziełem Newtona, w warunkach swobodnej wymiany poglądów, w żywych, gorących dyskusjach i polemikach. Nie bez znaczenia była atmosfera stylowych sal Pałacyku Lubelskiego Towarzystwa Naukowego (dawniej Pałac Czartoryskich), gdzie odbywała się konferencja.

Tematyka sympozjum została podzielona między 4 sesje:

- Tło intelektualne *Principiów*;
- *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*;
- Dzień dzictwo *Zasad*;
- Implikacje filozoficzne dzieła Newtona.

Prace bardziej przyczynkarskie zostały przedstawione na dodatkowym sobotnim seminarium.

Cykl trzech wystąpień („Styl myślenia XVII-wiecznej Europy, tło intelektualne powstania *Principiów* Newtona” Z. Cackowski, „Przednewtonowski podręcznik optyki — *Perspektywa* Witelona i prace nad jej edycją” P. Czartoryskiego oraz „Rozwój pojęć mechaniki od Arystotelesa do Newtona” G. Białkowskiego) rysował kontekst intelektualny rodzącej się Newtona koncepcji fizyki i świata. Nowa teoria powstawała, jak powiedział Cackowski „jako heresia, by po latach umrzeć jako przesąd”. Powstawała przeciw fizyce Arystotelesa, pogładowej i przemożnie władającej umysłami przez ponad 20 wieków. Tylko jej swoisty holizm, urok i moc nowych zasad, mogły obalić stary, zhierarchizowany system odbijający doskonałe uporządkowanie (kosmos) rzeczy na Ziemi i na niebie. Szczególnie wyraziście proces dochodzenia do nowego paradygmatu fizyki oraz jego recepcję przedstawił A. K. Wróblewski w referacie „Reakcja świata na *Zasady*”.

Ciekawe, że opór środowisk fizyków, szczególnie kontynentalnych będących pod wpływem Kartezjusza, trwał do lat czterdziestych XVIII w. To dopiero działalność Pembertona, Voltaire’a, Maclaurina, Eulera, d’Alemberta, Lagrange’a i Laplace’a popularyzująca, ale przede wszystkim rozwijająca idee Newtona, gruntowała pozycję *Principiów* jako dzieła podstawowego w nowożytnym przyrodoznawstwie.

W tym miejscu należy podkreślić, że według badań Karla A. Fischera (niestety przedstawionych skrótkowo ze względu na nieobecność chorego autora) będących plonem wieloletnich studiów archiwów kolegiów jezuitckich monarchii habsburskiej zgromadzonych w Bibliotece Watykańskiej, proces przyswajania teorii Samotnika z Trinity College rozpoczął się w szkołach prowadzonych przez jezuitów już w latach dwudziestych XVIII w.(!).



Newton oczywiście wykorzystywał to, co przed nim zrobili Kopernik, Gilbert, Galileusz, Kartezjusz, Kepler, Hooke, Huygens, choć nie zawsze był skłonny uznawać ich prekursorstwo. Nie umniejsza to jednak w żadnej mierze jego roli twórcy nowożytnej fizyki. Podstawowe koncepcje materii, przestrzeni, czasu, zasady mechaniki, prawo grawitacji, miały fundamentalne i inspirujące znaczenie nie tylko w fizyce. Były płodne także w astronomii, matematyce, kosmologii, ... — Analizę takich wpływów przedstawiło kilku prelegentów: J. Rayski — „Od Newtona do Einsteina”, K. Ziołkowski — „300 lat *Principiów* Newtona — 300 lat badań ruchu komety Halleya”, M. Suffczyński — „Prędkość światła”, R. Duda — „Wpływ *Principiów* Newtona na kształtowanie się matematycznego pojęcia przestrzeni”, ks. St. Mazierski — „Newtona pojęcie czasu i przestrzeni”.

Przedstawione referaty w wielu punktach analiz nie mogły odejść od sygnalizowania zagadnień metodologicznych i filozoficznych, rodzących się na marginesie rozważań znaczenia *Zasad* i ich recepcji. Sesja poświęcona implikacjom filozoficznym dzieła Newtona była okazją do bardziej szczegółowego podjęcia tych problemów.

Rzetelne analizy metodologiczne ks. Z. Hajduka w referacie „I. Newtona koncepcja filozofii przyrody” oraz W. Mejbauma w „Metodologicznych aspektach dzieła Newtona” pokazywały różnicę między zastaną filozofią przyrody a jej realizacją w III księdze *Zasad* pt.: „System świata”. Epistemologiczne tło sytuacji *Principia* między Kartezjuszem a Kantem, ale głębsze zrozumienie problemów postawionych przez Newtona lub tych, które możemy tam antycypować wprowadzając współczesnego metodologa w gąszcz problematyki, na biegunach której znajdują się prace Poppera oraz koncepcje matematycznego przyrodoznawstwa Heideggera. Zwracano także uwagę na istotne przesłanki platońskie w fizyce Newtona, mimo sławnej deklaracji autora *Zasad* „hypotheses non fingo”. Nowożytna fizyka odeszła zdecydowanie od pogładowości systemu Stagiryty, ale jednocześnie predestynując matematykę do rzędu naczelných narzędzi poznania (*Principia Mathematica!*) tworzyła warunki precyzyjniejszego testowania teorii, a więc dostarczała wiarygodniejszych metod konstruowania prawdziwych teorii.

W. Krajewski w wystąpieniu „Czy w okresie pomiędzy Newtonem a Einsteinem zachodziły w fizyce rewolucje naukowe?” odpowiedział twierdząco na postawione pytanie. Do takich przełomów należało odkrycie sił niecentralnych (Oersted, Ampère), odrzucenie mechanicyzmu w koncepcjach połowych (Maxwell) oraz dopuszczenie fizycznych praw statystycznych (Maxwell, Boltzmann). Dyskusja wskazała, że nie tylko to zagadnienie „mikrorewolucji”, ale i szersza teza Kühna wywołuje gorące spory i kontrargumenty, szczególnie ze strony fizyków, którzy sceptycznie odnoszą się do koncepcji paradygmatu w fizyce.

Na tym tle A. Motycka postawiła pytanie „Czy nauka może uwolnić się od newtonowskiego paradygmatu?” W błyskotliwej analizie pokazała, jak wbrew potocznym przekonaniom i odczuciom czołowych fizyków tworzących przełom kwantowy, język fizyki współczesnej jest uwikłany (uwięziony?) w kontekstach fizyki klasycznej. Co więcej, język fizyki Newtona zawsze będzie stanowił immanentną składową każdego późniejszego języka.

Symposium zakończyła dyskusja panelowa „Przełom newtonowski a problemy współczesnej nauki i filozofii nauki” pod przewodnictwem R. Dudy, W. Krajewskiego, J. Rayskiego, M. Suffczyńskiego i S. Szpikowskiego.

Nie jest możliwe przedstawienie jej różnorodnych kierunków i choćby rejestru podjętych zagadnień w ramach tej lakonicznej informacji. Zaznaczę tylko, że w opinii uczestników, spotkania tego typu są bardzo potrzebne. Sugerowano organizowanie cyklicznych konwersatoriów (co 2—3 lata) pod nazwą „Lubelskie spotkania fizyków i filozofów”. Propozycja ta, wykorzystując dobrą współpracę fizyków z Instytutu Fizyki UMCS oraz metodologów i filozofów z KUL-u, ma szansę stać się trwałym elementem aktywności środowiska lubelskiego.

Materiały sympozjum w postaci oddzielnych tomów ukażą się w języku angielskim wydane przez World Scientific Publishing Company i w języku polskim nakładem Lubelskiego Towarzystwa Naukowego.

Wiesław A. Kamiński

Instytut Fizyki UMCS  
Lublin

# Kawa

## filtr systemu REPTELA

do zapobiegania zatorom zakrzepowym  
tętnicy płucnej.

# Kawa

## filtr SYSTEMU REPTELA

wszczepiany jest do żyły głównej  
dolnej metodą cewnikowa-  
nia poprzekskórnego.

## SYSTEM REPTELA

zapewnia łatwe i szybkie umiesz-  
czenie KAWA-FILTRU w żyłę  
głównej dolnej. Dzięki swojej  
konstrukcji KAWA-FILTR jest  
mocno przytwierdzony do ścia-  
nek żyły głównej dolnej nie na-  
ruszając jej drożności.

## SYSTEM REPTELA

umożliwia przywracanie droż-  
ności zakrzepowych odcinków  
łożyska żylnego u 95%  
chorych.

*Eksporter: V/O „Techsnabexport”*

*ZSRR, 121200, Moskwa*

*Smolenskaja-*

*Siennaja pl. 32/34*

*Telefon: 244 32 85*

*Teleks: 411328 TSE SU*

TENEX



*25 lat działalności handlowej  
V/O „Techsnabekspport”  
na światowym rynku.*



### XIX Konferencja EGAS w Dublinie

Dziewiętnasta Konferencja EGAS (European Group for Atomic Spectroscopy) odbyła się w dniach 14—17 lipca 1987 r. w stolicy Irlandii. Organizatorem był National Institute for Higher Education, a przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego prof. Eugene T. Kennedy.

Do Dublina przyjechało 106 fizyków z Europy, Australii, Stanów Zjednoczonych, Kanady i Japonii. Najliczniej reprezentowana była RFN — 25, Francja — 11 i Holandia — 9 uczestników. Niewielka, pięcioosobowa grupa z Polski, na czele z prof. S. Łęgowskim (UMK w Toruniu), członkiem Rady Wykonawczej EGAS, była szóstą pod względem liczebności i jedyną reprezentującą kraje socjalistyczne.

W ciągu 4 dni trwania konferencji odbyło się 12 sesji, na których wygłoszono 9 wykładów przez zaproszonych referantów i 27 krótkich, ustnych komunikatów, a na dwóch sesjach plakatowych przedstawiono łącznie 65 prac [1]. Warto podkreślić, że 2/3 ogółu stanowiły prace doświadczalne, natomiast 1/3 — prace teoretyczne. Potwierdziła się panująca od kilku lat tendencja do przeprowadzania coraz bardziej złożonych i precyzyjnych pomiarów spektroskopowych (np. wyznaczanie czasów życia, stałych struktur atomowych), angażujących skomplikowaną aparaturę z najnowszymi wersjami impulsowych i ciągłych laserów barwnikowych.

Podobna tendencja panuje również obecnie w dziedzinie obliczeń numerycznych. W wielu ośrodkach wykonuje się obliczenia stałych atomowych dla bardzo zróżnicowanych układów. Wysoko zjonizowane ciężkie jony służą jako materiał do testowania elektrodynamiki kwantowej. Precyzyjne rachunki, uwzględniające wiele skomplikowanych poprawek, prowadzi się dla dowolnie ciężkich atomów i jonów za pomocą komputerów, od mini- do superkomputerów.

Z kilku referowanych prac teoretycznych największe wrażenie zrobił wykład prof. Wunnera z Tybingi poświęcony atomom rydbergowskim (wysoko wzbudzonym) w stałym polu magnetycznym. Diagonalizacja dużych macierzy (o wymiarach rzędu 10 000) umożliwiła znalezienie poziomów energetycznych układu oraz mocy oscylatora dla przejść do stanów rydbergowskich. Interpretując widmo poniżej progu jonizacji znaleziono nowe serie rezonansów quasi-cyklotronowych. Dostępne w laboratorium pole magnetyczne rzędu kilku Testli wystarcza, aby siła Lorenza działająca na wysoko wzbudzony elektron była porównywalna z siłą Coulomba, co sprawia, iż ruch elektronu (w sensie mechaniki klasycznej) staje się chaotyczny. Dlatego też zagadnienie atomów rydbergowskich w stałym polu magnetycznym dostarcza atrakcyjnej możliwości teoretycznej i doświadczalnej analizy aktualnej problematyki kwantowego chaosu.

Niewątpliwie jednym z najciekawszych wykładów wygłoszonych w Dublinie był przeglądowy referat prof. S. Penselina z Uniwersytetu w Bonn na temat spowalniania atomów. Obecne osiągnięcia jego grupy, to otrzymywanie strumienia powolnych atomów (w milikelwinowym obszarze energii termicznych, co odpowiada prędkości rzędu 5 m/s), hamowanych przeciwbieżną wiązką laserową oraz manipulowanie takim strumieniem w dowolny sposób (odchylanie, kompresja, redukcja poprzecznego „rozmycia” prędkości itp.). Z uwagi na bardzo mały stosunek  $\Delta v/v$ , pewne wybrane przejścia optyczne i mikrofalowe w powolnych atomach mogą być wykorzystane jako wzorce częstości. Kilka ustnych komunikatów dotyczyło właśnie bardzo dokładnych badań spektroskopowych z użyciem wiązki powolnych atomów i jonów w pułapkach.

Z innych nurtów doświadczalnych należy odnotować osiągnięcia w projektowaniu i wytwarzaniu wysokiej jakości aparatury przeznaczonej do spektroskopii w dalekim ultrafiolecie (wykład prof. T. Namioki z Uniwersytetu w Tohoku w Japonii). Omówiono także wykorzystywanie promieniowania synchrotronowego do spektroskopii o wysokiej zdolności rozdzielczej (wykład prof. J. Hormesa z Uniwersytetu w Bonn) oraz badania spektroskopowe w dalekiej podczerwieni (wykład prof. M. Inguscio z Uniwersytetu w Neapolu).

W czasie trwania konferencji odbyło się otwarte posiedzenie Rady Wykonawczej EGAS, której przewodniczący, prof. S. Penselin, przedstawił m. in. przyszłych gospodarzy konferencji. W 1988 r. będą nimi fizycy z Grazu. W 1989 konferencja odbędzie się w Bordeaux (w połączeniu z III konferencją ECAMP), w 1990 w Uppsali a w 1991 w Wilnie.

W pozanaukowej części programu organizatorzy przygotowali liczne imprezy towarzyskie i turystyczne (m. in. popołudniowa wycieczka autokarem do „Ogrodów Irlandii”) dla uczestników oraz dla osób towarzyszących.

## Literatura

[1] *19th EGAS Abstracts*, Dublin 14—17 July 1987, Europhysics Conference Abstracts, red. J. T. Costello, E. T. Kennedy, J. P. Mosnier, G. O'Sullivan, EPS 1987.

Jarosław Koperski  
Jacek Bieroń  
Karol Życzkowski

Instytut Fizyki UJ  
Kraków

## Międzynarodowa konferencja momentów jądrowych w Melbourne

Tematyką drugiej w historii Australii międzynarodowej konferencji fizyki jądra atomowego była struktura i metody pomiaru statycznych i dynamicznych momentów jąder atomowych. Konferencja ta pt. „Nuclear structure through static and dynamic moments” odbyła się w Melbourne w dniach 25—28 sierpnia 1987 r. i była jedną z imprez towarzyszących 200 rocznicy utworzenia Federacji Australijskiej, przypadającej w 1988 r. Organizatorami były: Uniwersytet w Melbourne — Australijskie Laboratorium Narodowe w Canberrze, Uniwersytet w Auckland (Nowa Zelandia) oraz Australijski Instytut Fizyki. Miejscem konferencji był Uniwersytet w Melbourne.

Wysokie koszty podróży nie odstraszyły licznych uczestników. W konferencji wzięło udział ok. 90 fizyków jądra atomowego z 19 krajów. Najliczniej reprezentowane były: Australia (20 uczestników), USA (16), RFN (11) i Japonia (9). Polska, podobnie jak Szwecja i Włochy, reprezentowana była przez cztery osoby. Wypada nadmienić, że trzech polskich uczestników reprezentowało laboratoria zagraniczne (RFN i USA), a udział jedyne „krajowca” był możliwy wyłącznie dzięki znacznej pomocy finansowej przyznanej przez organizatorów. Stosunkowo liczny udział Polaków jest odzwierciedleniem naszej niezłej pozycji w strukturze jądra atomowego. Uczestnicy polscy wygłosili 3 referaty, w tym dwa plenarne (*invited talks*). Dla porównania: fizycy z USA wygłosili w sumie 8 referatów, z czego 7 plenarnych.

W trakcie konferencji wygłoszono 21 referatów plenarnych 40-minutowych oraz 30 komunikatów 15- i 20-minutowych specjalnie wyselekcjonowanych przez komitet organizacyjny spośród nadesłanych komunikatów krótkich. Przeważały prace typu eksperymentalnego. Większość referatów dotyczyła pomiarów jądrowych momentów elektrycznych i magnetycznych za pomocą reakcji wzbudzenia kulombowskiego, reakcji rozpraszania elektronów, hadronów, reakcji z udziałem ciężkich jonów, oraz metod fizyki atomowej wykorzystujących efekt rozszczepienia nadształnego. Najnowsze techniki doświadczalne (np. metoda obróconych folii, metoda czasu przelotu) umożliwiają pomiar momentów jądrowych w stanach wysoko-wzbudzonych niejednokrotnie o bardzo krótkich czasach życia. Wyniki eksperymentów pozwalają na (bardzo często jednoznaczna) interpretację wzbudzeń jądrowych a tym samym umożliwiają selekcję teoretycznych modeli struktury jądra.

Widoczny jest renesans metody wzbudzenia kulombowskiego. T. Czosnyka (Rochester/Warszawa) omówił metodę niezależną od modelu analizy danych doświadczalnych przy pomocy programu GOSIA. H. J. Wollersheim (Darmstadt) przedstawił wyniki eksperymentów nad  $^{226}\text{Ra}$ , w których udało się zmierzyć deformację kwadripolową, oktopolową i heksadekapolową w tym jądrze. C. Fahlander (Uppsala) omówił dane doświadczalne dla jąder z otoczenia cyny opracowane przy pomocy programu GOSIA. H. Emling (Darmstadt) przedyskutował efekty nieosiowości w izotopach wolframu.

N. Takahashi (Osaka) pracujący w grupie z Berkeley (zdominowanej przez fizyków japońskich) omówił doświadczenia nad bardzo egzotycznymi neutrono-nadmiarowymi lekkimi jądrami, będącymi produktami reakcji ciężkojonowych. Jądra te, po uprzedniej selekcji w separatorze, są następnie przyspieszane i, już

jako wiązki wtórne, wprowadzane do ośrodka zawierającego nadprzewodnik — ciekły hel. Dodatkowo naładowane jony otaczane są przez atomy helu tworząc makroskopowe „kule śnieżne”. Oczekuje się, że wewnątrz tych kul mamy do czynienia ze stałą fazą nadprzewodzącą. Kule jonowo-helowe mogą być następnie przenoszone za pomocą skrzyżowanych pól elektromagnetycznych. Wydaje się, że tego typu metoda może być w przyszłości użyta do pomiaru momentów jądrowych.

Pomiary atomowe momentów jądrowych i przesunięć izotopowych były omawiane przez kilku mówców. G. Huber (Moguncja) przedstawił bardzo bogate wyniki otrzymane przez europejską współpracę ISOLDE w CERN-ie. E. B. Spera (Los Alamos) pokazał, w jaki sposób można zmierzyć tzw. poprawkę Sternheimera przy pomocy techniki atomów mionowych.

Sporo uwagi poświęcono analizie stanów superzdeformowanych. T. Rząca-Urban (Jülich/Warszawa) przedstawiła najnowsze wyniki doświadczeń nad jądrem  $^{146}\text{Gd}$ , w którym obserwuje się kilka rotacyjnych pasm superzdeformowanych. D. Ward (Chalk River) omówił wyniki doświadczeń dla jądra  $^{148}\text{Gd}$ , w którym zmierzono stan rotacyjny o rekordowym momencie pędu  $129/2$  jednostek Plancka.

Oczywiście nie mogło zabraknąć prac nawiązujących do algebraicznego modelu oddziałujących bozonów (IBM). I. Talmi (Rehovot) przedstawił osiągnięcia modelu IBM zastosowanego do opisu nisko leżących wzbudzeń kwadrupolowych. Przestrzegł on jednocześnie przed bezkrytycznym użyciem tego modelu do analizy magnetycznych momentów jądrowych. A. Leviatan (Yale) pokazał, jak wychodząc z hamiltonianu IBM można przejść do układu wewnętrznego opisywanego za pomocą kwadrupolowych parametrów kształtu. Zbliżone podejście, z tym, że w zastosowaniu do oktopolowych stopni swobody, przedstawił T. Otsuka (Tokio).

Z innych referatów na uwagę zasługują wystąpienia D. A. Meyera (Livermore) na temat przejść monopolowych i mieszania konfiguracji, F. T. Bakera (Athens, Georgia) na temat deformacji heksadekapolowej, J. L. Wooda (Atlanta) na temat współlistnienia kształtów, oraz E. Dafnigo (Rehovot) — o metodach pomiaru momentów kwadrupolowych w stanach wysokospinowych przy użyciu metody obróconych folii. W. Korten (Heidelberg) omówił wyniki doświadczeń nad  $^{232}\text{Th}$  otrzymane za pomocą spektrometru „kryształowej kuli” (*crystal ball*). Dane doświadczenia wskazują na obecność w tym jądrze dwu- oraz trójfononowych stanów wibracyjnych typu gamma o nadszpiewanie wysokości harmoniczności. Kilku mówców dyskutowało zagadnienie wystąpienia stabilnej deformacji oktopolowej (kształt gruszkowaty) w jądrach atomowych z obszaru lekkich aktywności i neutrono-nadmiarowych izotopów baru.

Po zakończeniu konferencji odbyły się trzy jednodniowe sympozja towarzyszące: sympozjum na temat związku modelu oddziałujących bozonów z modelem powłokowym (Melbourne, 31 sierpnia), sympozjum na temat pomiarów jądrowych momentów magnetycznych (Melbourne, 1 września), oraz sympozjum dotyczące struktury jąder atomowych w obecności wysokich momentów pędu (ANL Canberra, 2 września). Szczególnie interesujące — zdaniem autora — było spotkanie w Canberrze. Wygłoszono na nim 9 referatów (w tym dwa „polskie”) dotyczących izomerii kształtu, przejść elektromagnetycznych w obecności wysokiego spinu, modelu powłokowego i rozwoju bazy aparaturowej. Duże zainteresowanie wywołała informacja dotycząca projektowanego amerykańskiego układu wielolicznikowego do rejestracji promieniowania gamma składającego się z ok. 120 liczników germanowych z osłoną antykomptonowską. Dotychczas największym urządzeniem tego typu był układ ESSA 30 (współpraca W. Brytania—RFN—Skandynawia—Włochy) zawierający 30 takich liczników.

Organizatorzy przygotowali bardzo interesujący program kulturalno-rozrywkowy: koktajl, uroczysta kolacja, wycieczka do kopalni złota z ubiegłego stulecia w Ballarat, zwiedzanie centrum satelitarnego koło Canberry, piknik wśród kangurów w parku narodowym. Koledzy australijscy bardzo ciepło zaopiekowali się zamorskimi uczestnikami konferencji. Materiały konferencji będą wydane, po uprzednim zrecenzowaniu, jako oddzielny numer „Hyperfine Interactions” (North-Holland Publ.).

Byliśmy zaskoczeni małą liczbą osób pracujących w Komitecie organizacyjnym. Pomimo to, organizacja była — zdaniem autora — bez zarzutu. Ogromnie w tym pomogło sprawne wykorzystanie elektronicznej poczty komputerowej (BITNET), dzięki której rozwiązano znakomitą większość problemów jeszcze przed rozpoczęciem imprezy. Chciałoby się w tym miejscu pomarzyć: a kiedy EARN (BITNET) u nas?

Witold Nazarewicz

Instytut Fizyki PW  
Warszawa

## R E C E N Z J E

Kacper Zalewski: *Wykłady o grupie obrotów*, Biblioteka Fizyki, tom 12, PWN, Warszawa 1987, s. 116, wyd. I, nakład 1700 egz., cena zł 150.—

Tytuł książki *Wykłady o grupie obrotów* trafnie określa jej charakter. Są to typowe *Lecture Notes* ze wszystkimi zaletami i wadami tego gatunku. Nic w tym dziwnego, gdyż, jak w pierwszych słowach stwierdza sam Autor (profesor fizyki teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego), książka powstała na podstawie fragmentu prowadzonego przez niego wykładu zaawansowanej mechaniki kwantowej. Taki charakter książki jest dodatkowo uwypuklony przez umieszczenie w niej ćwiczeń, zadań i problemów (nazwy są związane ze stopniem trudności i zakresem potrzebnej wiedzy) przeznaczonych do rozwiązania przez czytelnika. Książka ma więc być pomocą przy studiowaniu mechaniki kwantowej układów niezmienniczych względem obrotów. Ta jej rola wyznacza krąg odbiorców. Będą nimi fizycy pragnący zapoznać się z podstawami metod teoretycznego opisu układów atomowych, molekularnych, jądrowych i subjądrowych (układów cząstek elementarnych), a więc magistranci i doktoranci specjalizujący się w chemii kwantowej, teorii jądra atomowego, teorii cząstek elementarnych lub innych pokrewnych specjalnościach.

Wracając do wspomnianych na wstępie zalet i wad opracowań typu wykładów, ich główną zaletą jest zwykle pewna oryginalność podejścia do referowanych zagadnień i łącząca je myśl przewodnia. Ceną jest zwykle skrótowość i niekompletność ujęcia tematu. Zalewskiego *Wykłady o grupie obrotów* posiadają tę zaletę i są obarczone tą wadą.

Poza bogatą literaturą dotyczącą teorii grup, wydano na Wschodzie i Zachodzie szereg podręczników, monografii bądź poradników encyklopedycznych poświęconych metodom opisu układów kwantowych o symetrii obrotowej i zawierających zwykle w tytule hasło „moment pędu”. Można tu dla przykładu wymienić następujące:

- L. C. Biedenharn, J. D. Louck, *Angular Momentum in Quantum Physics. Theory and Applications*
- L. C. Biedenharn, H. van Dam, *Quantum Theory of Angular Momentum*
- D. M. Brink, G. R. Satchler, *Angular Momentum*
- A. R. Edmonds, *Angular Momentum in Quantum Mechanics*
- A. P. Jucys, A. A. Bandzajtis, *Teoriya momenta kolichestva dvizheniya v kvantovoi mekhanike*
- A. P. Jucys, J. Levinsonas, V. Vanagas, *Matematicheskii apparat teorii momenta kolichestva dvizheniya*
- M. E. Rose, *Elementary Theory of Angular Momentum*
- D. A. Varsalovich, A. N. Moskalev, V. K. Khersonskii, *Kvantovaya teoriya uglovogo momenta*

Żadna z powyższych książek nie została dotychczas przetłumaczona na język polski!

Wykłady Zalewskiego są pierwszą polską pozycją o podobnej tematyce. Brak hasła „moment pędu” w ich tytule sugeruje, że w książce jest głównie mowa o samej grupie obrotów a nie o algebrze jej generatorów. W istocie takie przeniesienie akcentu w tematyce jest zrealizowane tylko w niewielkim stopniu.

Książka składa się z sześciu rozdziałów. W rozdz. 1 podana jest definicja obrotów w przestrzeni trójwymiarowej jako elementów grupy ciągłej. Podstawowe wiadomości z teorii grup Liego i teorii reprezentacji grup są przedstawione w rozdz. 2 i 3. Nieprzywiedlne reprezentacje grupy obrotów (funkcje Wignera) są znalezione i dyskutowane w rozdz. 4. Rozdział 5 jest poświęcony wprowadzeniu pojęcia tensorów nieprzywiedlnych jedno- i wielowskaźnikowych, problemowi sprzęgania tensorów, współczynnikiem Clebscha-Gordana i Wignera, ich symetriom i graficznemu przedstawieniu. Twierdzenie Wignera-Eckarta, problem przesprzęgania tensorów, symbole  $3nj$  są omówione w rozdz. 6. Wprowadzenie pojęcia tensorów niezmienniczych pozwoliło Autorowi na jednolite i zwarte przedstawienie zagadnień tego ostatniego rozdziału. To pojęcie, rzadko wykorzystywane, jest szczególnie przydatne przy konstrukcji różnych wielkości fizycznych, takich jak hamiltoniany bądź lagranżjany, operatory multipolowe itp. Nawiasem mówiąc termin „tensor niezmienniczy”, choć używany w teorii grup, nie jest zbyt fortunny. Lepszym terminem byłby chyba

„tensor uniwersalny” lub „tensor liczbowy (numeryczny)”. Ta uniwersalność jest chyba zbyt słabo podkreślona w książce. Jej lektura może pozostawić u czytelnika wrażenie, że własności układów fizycznych, takie jak elementy macierzowe obserwabli, stałe sprzężenia, są opisane przez tensory niezmiennicze. Tymczasem tensory niezmiennicze nie opisują żadnych właściwości konkretnego układu poza jego niezmienniczością obrotową, gdyż są uniwersalne dla wszystkich układów. Cała informacja o własnościach fizycznych danego układu tkwi w skalarach, takich jak zredukowane elementy macierzowe.

Wykłady są napisane charakterystycznym dla Autora zwięzłym i klarownym językiem. Jest zrozumiałe, że książka tego typu nie wyczerpuje całości zagadnienia i nie można jej z tego robić zarzutu. Styl wykładowy powoduje, że podawane są tylko informacje potrzebne w dalszym ciągu. Pojęcia elementarne nie są wyjaśnione, gdyż zakłada się, że zostały omówione wcześniej w toku studiów. To dotyczy np. kątów Eulera. Brak nawet rysunku przedstawiającego ich geometryczny sens. Z kolei, problemy zbyt techniczne lub wymagające zbyt wielu dodatkowych informacji nie mieszczą się w toku wykładu. Z tych względów bardzo pomocna dla czytelnika byłaby obszerna bibliografia tematu. Tymczasem *Wykłady* nie zawierają spisu literatury a tylko nieliczne cytowania w tekście, dotyczące zresztą głównie problemów przeznaczonych do rozwiązywania przez czytelnika.

Przy okazji pojawienia się pierwszej polskiej książki o grupie obrotów warto poświęcić jeszcze kilka słów polskiej terminologii zagadnienia. Centralnymi wielkościami są tu generatory grupy obrotów. Najczęściej używanym terminem polskim dla zbudowanego z nich wektora jest „moment pędu”. Równoważnym mu, ale nie używanym w literaturze polskiej terminem byłby „pęd kątowy” lub „pęd sprzężony z kątem”, który jest dosłownym tłumaczeniem angielskiego „angular momentum”. Również w innych językach używa się terminów o podobnym znaczeniu, np. niemieckiego „Drehimpuls”, rosyjskiego „moment kolichestva dvizheniya” lub „uglovoi moment”, francuskiego „moment angulaire”. Dosłowne znaczenie żadnego z tych terminów nie obejmuje wewnętrznych momentów pędu cząstek elementarnych, czyli spinów. Pomimo to są one wszystkie używane do określenia nie tylko orbitalnych ale i spinowych momentów pędu. Tymczasem ze względu na swoje zbyt wąskie znaczenie dosłowne termin „moment pędu” wydaje się Autorowi nie do przyjęcia. Używany przez niego termin „kręt” był pierwotnie wprowadzony właśnie jako polski odpowiednik angielskiego „spinu” i używanie go tylko w tym znaczeniu byłoby w pełni uzasadnione. Jednak Autor używa nadal terminu spin, a nie kręt, dla określenia wewnętrznych momentów pędu. Czy w analogii do terminu „kręt orbitalny” należałoby mówić kręt spinowy, czyli kręt krętowy? Terminologia nie jest nigdy do końca logiczna! Wydaje się, że przyjął się w języku polskim jednowyrazowy, trafny termin „przesprężenie”. Po co więc zastępować go dłuższym, opisowym terminem „zmiana sprzężenia”. W końcu sformułowanie „sprężenie  $j_1$  i  $j_2$  na  $j_3$ ” zamiast „do  $j_3$ ” wydaje się z kolei recenzentowi nie do przyjęcia.

Redakcja książki jest staranna. Natomiast szata graficzna uboga: żółty papier, szary druk, miękka, nieplastikowana oprawa. Układ graficzny jest typowy dla książek z Biblioteki Fizyki.

Reasumując, należy powitać z zadowoleniem pojawienie się na polskim rynku księgarskim *Wykładów o grupie obrotów*. Nie zaspokoją one jednak potrzeb czytelników w tej dziedzinie. Krąg odbiorców znacznie by się poszerzył gdyby zastąpić wykłady monografią zagadnienia. Z takiej monografii korzystaliby nie tylko zapoznający się z teorią grupy obrotów, ale także posługujący się nią w różnych dziedzinach fizyki. W następnym wydaniu można by *Wykłady o grupie obrotów* rozszerzyć do *Grupy obrotów*. Wydaje się, że należałoby także pomyśleć o przetłumaczeniu którejs z cytowanych wyżej książek.

Stanisław G. Rozhoziński

Instytut Fizyki Teoretycznej UW  
Warszawa

## KRONIKA

## Komisje PTF

Zarząd Główny PTF powołał na okres swojej kadencji następujące komisje (w nawiasach podajemy nazwiska przewodniczących komisji):

- Komisja Legislacyjna (Ewa Skrzypczak, Warszawa),
- Komisja ds. Nagród i Odznaczeń (Tadeusz Skaliński, Warszawa),
- Komisja ds. Nagród Dydaktycznych (Teresa Białecka, Warszawa),
- Komisja Historii Fizyki (Roman S. Ingarden, Toruń),
- Komisja ds. Fizyki w Przemysle (Andrzej Oleś, Kraków),
- Komisja ds. Nauczania Fizyki w Wyższych Uczelniach Technicznych (Lidia Maksymowicz, Kraków),
- Komisja ds. Nauczania Fizyki w Akademiach Medycznych i Akademiach Rolniczych (Józef Terlecki, Gdańsk),
- Komisja ds. Programów, Podręczników i Pomocy Dydaktycznych (Tadeusz Pniewski, Warszawa),
- Komisja Nazewnictwa (Ireneusz Wilk, Wrocław),
- Komisja ds. Stypendiów (Stanisław G. Rohoziński, Warszawa),
- Komisja ds. Wydawnictw i Bibliotek (Kazimierz Rządowski, Warszawa),
- Komisja ds. Zatrudnienia Fizyków (Stanisław Michałak, Łódź),
- Komitet Główny Olimpiady Fizycznej (Henryk Szymczak, Warszawa).

## Ewa Skrzypczak wiceprezesem EPS

W marcu 1988 odbyło się w Dreźnie zebranie Rady Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. Wybrano nowy skład Komitetu Wykonawczego EPS na kadencję 1988—89:

prezes — R. A. Ricci (Padwa),  
wiceprezes — E. Skrzypczak (Warszawa),

sekretarz — M. Jacob (Genewa),  
wicesekretarz — L. Cohen (Londyn),  
skarbnik — E. W. A. Lingeman (Amsterdam),  
wiceskarbnik — J.-M. Gilles (Namur).  
członkowie — P. Choquard (Lozanna), O. Folberth (Stuttgart), J. Pożela (Wilno), H. Ryde (Lund), I. Ślaus (Zagrzeb).

*B. W.*

## Nominacje profesorskie

Rada Państwa nadała tytuł naukowy profesora zwyczajnego nauk fizycznych Ryszardowi Męclewskiemu (Uniwersytet Wrocławski) i Krzysztofowi Rybickiemu (Instytut Fizyki i Jądrowej, Kraków). Wręczenie nominacji odbyło się 11 marca 1988.

## Nagroda Fundacji Jurzykowskiego

Nagrodę Fundacji Alfreda Jurzykowskiego za rok 1988 otrzymał Marian Mięśowicz (emerytowany profesor Akademii Górniczo-Hutniczej, członek rzeczywisty PAN, członek honorowy PTF) za całokształt działalności twórczej z zakresu fizyki.

Jak wiadomo, Fundacja Alfreda Jurzykowskiego przyznaje corocznie naukowcom, pisarzom i artystom narodowości polskiej, bez względu na ich miejsce zamieszkania i obywatelstwo, nagrody za wybitne osiągnięcia twórcze. Fundacja powstała z darowizny Alfreda Jurzykowskiego (1899—1966), Polaka działającego w Brazylii i Stanach Zjednoczonych. Siedzibą Fundacji jest Nowy Jork.

*Andrzej Oleś*

## Wykład im. Mariana Smoluchowskiego

Tegoroczny wykład im. Mariana Smoluchowskiego pt. „Some recent developments in the theory of pattern formation; dendrites and viscous fingers” wygłosił prof. James S. Langer z Instytutu Fizyki



Teoretycznej Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Barbara.

Wykład odbył się 17 marca w Warszawie, na Hożej, a gospodarzami, podobnie jak w latach ubiegłych, były: Zakład Fizyki Teoretycznej PAN, Instytut Fizyki Teoretycznej i Wydział Fizyki UW oraz Oddział Warszawski PTF.

B. W.

### Nowy dyrektor generalny CERN-u

Od 1 stycznia 1989 dyrektorem generalnym CERN-u zostanie Carlo Rubbia (Nagroda Nobla 1984) w miejsce Herwiga Schoppera, którego kadencja upływa z końcem bieżącego roku.

Rubbia przejmie kierownictwo CERN-u w dość trudnym okresie. Według zaleceń tzw. grupy Abragama (patrz Kronika 1/88) CERN będzie musiał ograniczyć swój budżet i znacznie zmniejszyć liczbę pracowników. Nie jest również wykluczone, że Wielka Brytania wycofa się z tej organizacji.

Nature 331, No 6151 (1988)

B. W.

### Rozproszenie i odbicie fal materii przez promieniowanie

Jak wiadomo, dualizm korpuskularno-falowy dotyczy zarówno promieniowania, jak tego co fizycy potocznie nazywają materią.

Promieniowanie ukazuje swoją naturę falową oddziałując z obiektami „materialnymi”, w takich zjawiskach jak rozproszenie, odbicie, dyfrakcja, interferencja. Należałoby oczekiwać, że podobnie wiązka atomowa lub elektronowa powinna również ulegać rozproszeniu, odbiciu itd. w oddziaływaniu z promieniowaniem. Ujmując rzecz w popularnym uproszczeniu, można by powiedzieć, że między kryształem zbudowanym z regularnie rozmieszczonych atomów i siatką dyfrakcyjną z jednej strony, a stojącą falą promieniowania z drugiej, istnieje wyraźna analogia.

Jednakże dopiero niedawno udało się doświadczalnie stwierdzić występowanie wyżej wspomnianych zjawisk. Grupa fizyków z Massachusetts Institute of Technology uzyskała rozproszenie wiązki atomów sodu na fali stojącej promieniowania lasera. Podobne wyniki otrzymał zespół fizyków z Ecole Normale Supérieure i Collège de France. *Żurnal Eksperymentalnej i Teoretycznej*

*Fizyki* przynosi publikację grupy pracowników Instytutu Spektroskopii o odbiciu wiązki atomowej od „zwierciadła” wytworzonego z promieniowania elektromagnetycznego. Zwierciadłem tym był gradient pola elektrycznego rozchodzącego się nieco poza granice płytki kwarcowej, w której następowało wewnętrzne odbicie światła lasera. Fizycy radzieccy chcą skonstruować wklęsłe zwierciadło, które mogłoby skupić wiązkę atomów w ognisku o wymiarach porównywalnych z długością fali wiązki.

Grupa z MIT twierdzi, że stojąca fala świetlna zachowuje fazę fal materii wiązki atomowej, rozpraszając ją w kilku kierunkach. Skupiając z powrotem rozproszone wiązki „materialne” można wytworzyć ich interferencję i mierzyć małe przesunięcia fazy.

Grupa francuska sugeruje zbudowanie „kryształu” świetlnego (trzech wzajemnie prostopadłych fal stojących świetlnych) i pułapowanie atomów w węzłach takiej sieci.

Sci. Am. 258, No 2 (1988)

B. W.

### XX Sympozjum Fizyki Matematycznej w Toruniu

W dniach 8—11 grudnia 1987 odbyło się w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu jubileuszowe XX Sympozjum Fizyki Matematycznej. Toruńskie sympozja fizyki matematycznej od początku związane były z czasopismem *Reports on Mathematical Physics*, którego inicjatorem, a także redaktorem naczelnym jest prof. Roman S. Ingarden. Pierwotnie nieformalne sympozja towarzyszyły posiedzeniom Rady Redakcyjnej, w skład której wchodził i wchodzi obecnie fizycy i matematycy z wielu ośrodków zagranicznych i krajowych. Szybko jednak posiedzenia Rady Redakcyjnej stały się imprezą towarzyszącą właściwemu sympozjum. Pozostało jednak to, co odróżnia toruńską konferencję od innych: jej kameralny i nieformalny charakter oraz fakt, że jej uczestnicy są w większości jeśli nie członkami Rady Redakcyjnej, to autorami publikującymi w *Reports on Mathematical Physics*.

W XX Sympozjum uczestniczyło 47 fizyków i matematyków (w tym 24 z zagranicy). Z ośrodków zagranicznych reprezentowane były ośrodki naukowe Czechosłowacji, Danii, Holandii, Grecji, Japonii, Meksyku, NRD, RFN, Stanów Zjednoczonych, Szwajcarii, Włoch i ZSRR. Na zaproszenie organizatorów, jednogodzinne referaty wygłosili:

J. M. Berezanski (Kijów), F. Calogero (Rzym), A. Jadczyk (Wrocław), J. Łopuszański (Wrocław), M. Ohya (Tokio), C. Piron (Genewa), A. J. van der Schaft (Enschede), S. L. Woronowicz (Warszawa). Oprócz tego wylosowano 28 komunikatów. Tematyka zarówno referatów, jak i komunikatów stanowiła jak zwykle bardzo szeroki przegląd różnorodnych zagadnień fizyki matematycznej i teoretycznej, dlatego też nie sposób nawet wymienić tutaj wszystkie przedstawiane zagadnienia. Można jedynie powiedzieć, że reprezentowane były następujące dziedziny: teoria pola, teoria klasycznych układów dynamicznych, metody geometryczne w fizyce (w szczególności w termodynamice), matematyczne podstawy mechaniki kwantowej i fizyki statystycznej, kwantowa teoria informacji. Podkreślić należy, że to zróżnicowanie tematyczne jest traktowane przez uczestników toruńskich sympozjów jako zaleta: daje ono bowiem możliwość przyjrzenia się innym zagadnieniom, spoza własnej tematyki.

Jak zawsze, tak i w trakcie XX Sympozjum, odbyło się posiedzenie Rady Redakcyjnej *Reports on Mathematical Physics* i niestety (jak stale, od pewnego już czasu) głównym problemem były opóźnienia w cyklu wydawniczym, spowodowane przez czynniki niezależne ani od Redakcji ani od Rady Redakcyjnej.

W pierwszym dniu Sympozjum jego uczestników podjął symboliczną lampką wina J. M. Rektor Uniwersytetu Mikołaja Kopernika prof. J. Kopcewicz. Uczestnicy Sympozjum spotkali się również na tradycyjnym bankiecie.

Na koniec trzeba podkreślić, że zorganizowanie Sympozjum było możliwe dzięki finansowemu wsparciu ze strony Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Koordynatora Problemu Badawczego MR 17, Komitetu Fizyki PAN oraz Towarzystwa Naukowego w Toruniu.

Wojciech Daniel

#### Perspektywy nowoczesnej akustyki — kształcenie i rozwój

W dniach 19—21 maja 1987 r. odbyła się w Jastrzębiej Górze, pod patronatem Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP), konferencja na temat metod nauczania akustyki jako dyscypliny naukowej o szerokich możliwościach

zastosowania w technice, biologii, medycynie, muzyce i innych dziedzinach działalności ludzkiej. Przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego był prof. Antoni Śliwiński.

Wygłoszono 26 referatów przygotowanych przez zaproszonych specjalistów i 7 referatów zgłoszonych przez innych uczestników. Swoją tematyką obejmowały one programy i metody nauczania stosowane w różnych ośrodkach na świecie, zastosowania nowych technik filmowych, komputerowych, metod analizy matematycznej, demonstrowania i modelowania zjawisk.

W sesji plakatowej przedstawiono kilka oryginalnych nowych osiągnięć z akustyki molekularnej i stosowanej. Odbyła się także dyskusja okrągłego stołu. Wnioski z konferencji zostały sformułowane i przesłane prezesowi Międzynarodowej Komisji Akustyki (ICA).

Powierzenie przez IUPAP akustykom gdańskim zorganizowania tej konferencji było niewątpliwie wyrazem uznania dla osiągnięć naukowych tego środowiska.

Materiały konferencji *Prospects in Modern Acoustics — Education and Development*, pod redakcją A. Śliwińskiego i G. K. E. Budzyńskiego, zostały wydane bardzo szybko, bo jeszcze w r. 1987, przez firmę World Scientific.

Jerzy Dera

#### Europejskie Źródło Promieniowania Synchrotronowego

Przedstawiciele rządów Danii, Finlandii, Francji, Hiszpanii, Norwegii, RFN, Szwajcarii, Szwecji, Wielkiej Brytanii i Włoch podpisali 22 grudnia 1987 porozumienie, w myśl którego zostanie zbudowane w Grenoble Europejskie Źródło Promieniowania Synchrotronowego (EŹPS). Budżet na rok 1988 wyniesie 108 mln franków franc. Urządzenie będzie umieszczone obok Instytutu Lauego-Langevina, gdzie badania materiałowe mają już długą i doskonałą tradycję.

Elementami EŹPS będą: pierścień magazynujący o średnicy 850 m, połączony z przedwzmacniaczem i akcelerator liniowy przyspieszający elektrony do energii 200 MeV. Przypuszcza się, że budowa urządzenia i związanych z nim laboratoriów potrwa ok. 6 lat. Pierwsze eksperymenty

będzie można przeprowadzić prawdopodobnie w 1994 r.

*CERN Courier* 28, No 2 (1988)

B. W.

### Czy uczelnie (angielskie) dobrze przygotowują fizyków do pracy w przemyśle?

W październiku 1987 zebrało się w Portsmouth ok. 40 przedstawicieli angielskiego przemysłu i szkół wyższych na seminarium „Przygotowanie absolwentów szkół wyższych do pracy w przemyśle”, aby przedyskutować problem czy absolwenci szkół wyższych są właściwie przygotowani do podejmowania pracy w przemyśle i czy kandydaci do tej pracy muszą mieć dodatkowe umiejętności w porównaniu z innymi absolwentami.

Dla absolwentów fizyki istnieją 3 typy zatrudnienia w przemyśle: prace badawcze, prace nad doskonaleniem danego produktu i wreszcie rutynowe prace kontrolne i techniczne. Wyrażano wątpliwość, czy obecny tok studiów przygotowuje dostatecznie dobrze w zakresie metod obliczeniowych, umiejętności stosowania właściwych przybliżeń, pisania raportów, przewidywania kosztów i czasu wykonania danego projektu, a przede wszystkim umiejętności pracy w zespole i przekazywania informacji.

Przedstawiciel Rolls-Royce'a powiedział, że wśród przyjmowanych do pracy fizyków, 10% to absolwenci, którzy uzyskali najlepsze wyniki na uczelniach. Stanowią oni ryzyko, które firma podejmuje zupełnie świadomie — wyniki ich prac innowacyjnych u Rolls-Royce'a mogą przynieść olbrzymie korzyści lub też nie doprowadzą do żadnych rezultatów praktycznych. Pozostałe 90% fizyków pracuje nad doskonaleniem poszczególnych technologii lub wykonuje rutynowe prace kontrolne i firma ma pewność, że zatrudnianie ich jest opłacalne. Kandydatów do pracy zdobywa się przez fundowanie stypendiów, praktyki wakacyjne, specjalne kursy wprowadzające. Dobrą współpracę z uczelniami zapewnia finansowanie niektórych katedr i wspólne projekty badawcze.

Zebrani doszli do wniosku, że konieczna jest ściślejsza współpraca przemysłu z wyższymi uczelniami, realizowana przez zatrudnianie w uczelniach ludzi mających doświadczenie pracy w przemyśle, bądź przez czasowe „wypożyczanie” uczelniom specjalistów z przemysłu. Rozważa się możliwość

wprowadzenia rocznego studium podyplomowego dla chcących podjąć pracę w przemyśle. Rola przygotowawczą spełniałoby także podejmowanie przez dyplomantów udziału w badaniach interdyscyplinarnych. Wreszcie zwrócono uwagę na to, że zarówno przemysł, jak uczelnie powinny nawiązać kontakt ze szkołami średnimi i podstawowymi, aby rozwijać zainteresowanie uczniów fizyką.

*Phys. Bull.* 39, No 1 (1988)

B. W.

### Międzynarodowe Centrum Technologii Nadprzewodników

Z inicjatywy japońskiego Ministerstwa Międzynarodowego Handlu i Przemysłu (MMHiP) w styczniu 1988 zostało otwarte w Japonii Międzynarodowe Centrum Technologii Nadprzewodników.

Komisja uczonych i przemysłowców, powołana przez MMHiP rekomendowała utworzenie takiego ośrodka wobec eksplozji zainteresowania nowymi wysokotemperaturowymi nadprzewodnikami. Centrum będzie zbierać i rozpowszechniać informacje, a także utworzy laboratorium badawcze.

Ponad 50 firm z różnych gałęzi przemysłu zgłosiło akces do Centrum, mimo że wymaga to od każdego udziałowca wkładu w wysokości 2 milionów jenów (ok. 16 000 dol.) oraz opłacania rocznej subskrypcji w takiej samej wysokości. Centrum będzie organizować międzynarodowe sympozja, seminaria, szkoły, zapraszać naukowców z innych krajów do wygłaszania wykładów w Japonii oraz prowadzić kampanię kształcenia społeczeństwa.

Budżet laboratorium jest niepomiarowo większy: 40 firm wpłaci po 100 mln jenów na założenie laboratorium i 12 mln jenów rocznie na koszty utrzymania laboratorium. Laboratorium zostanie otwarte w październiku 1988 w Tokio. Będzie miało 5 wydziałów zajmujących się badaniami materiałów tlenkowych i beztlenkowych, technologią wytwarzania, własnościami fizycznymi nadprzewodników i teorią. Ponadto oddział w Nagoi prowadzi badania materiałów ceramicznych.

Firmy-udziałowcy mogą kierować do laboratorium po 2 pracowników naukowych. Prawa patentowe będą własnością wspólną Centrum i firmy, której pracownikiem jest dany wynalazca. Również firmy zagraniczne mogą zostać członkami Centrum, o ile oczywiście wnieść będą należne wkłady finansowe.

*Nature* 331, No 6152 (1988)

B. W.

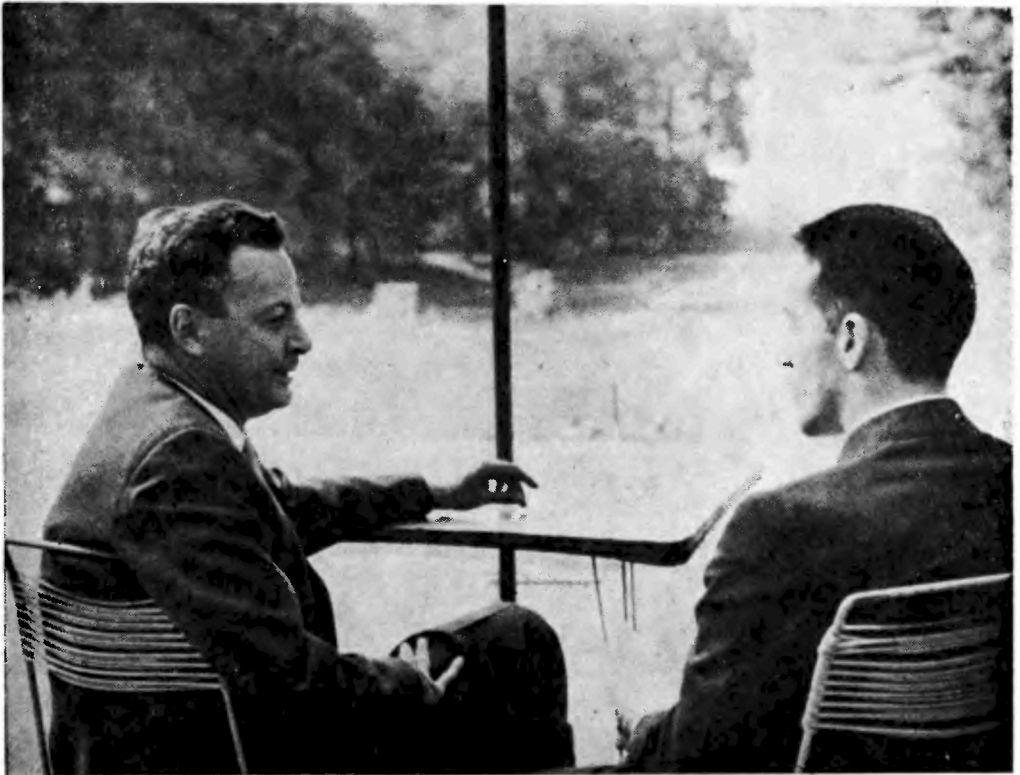
**Richard P. Feynman**  
(1919—1988)

15 lutego 1988 zmarł w Los Angeles Richard Phillips Feynman, jeden z najwybitniejszych i najbardziej oryginalnie myślących fizyków wszystkich czasów.

Richard Feynman urodził się 11 maja 1919 w dzielnicy Queens Nowego Jorku w rodzinie żydowskich imigrantów z Rosji. Tam też spędził dzieciństwo uczęszczając do szkoły średniej w Far Rockaway (obecnie znajduje się tam główne lotnisko nowojorskie im. J. F. Kennedy'ego). W 1939 r. ukończył fizykę w Massachusetts Institute of Technology. Studia te zakończył w ciągu trzech (zamiast przepisowych czterech) lat i jego dyplomowa praca pt. „Forces in Molecules” napisana pod kierunkiem znanego fizyka teoretyka Johna C. Slatera została opublikowana w *Physical Review*. Mimo otrzymanych ofert z MIT i z Harvardu, Feynman zdecydował się opuścić Boston i kontynuować studia w Princeton. Opiekunem jego zostaje

John Archibald Wheeler, który wywarł znaczny wpływ na rozwój naukowy Feynmana. Rozprawa doktorska przedstawiona w r. 1942 miała tytuł „The Principle of Least Action in Quantum Mechanics” i zawierała (choć jeszcze w niedoskonałej postaci) sformułowanie mechaniki kwantowej zwane dzisiaj metodą całek Feynmana po trajektoriach. W latach wojny Feynman był członkiem zespołu pracującego nad bombą atomową, początkowo w Princeton, a potem w Los Alamos. W 1945 r. zostaje profesorem Uniwersytetu Cornella w Itace w stanie Nowy Jork, w 1950 r. zaś przenosi się do Pasadeny w Kalifornii, gdzie zostaje profesorem w California Institute of Technology.

Do największych osiągnięć Feynmana należą: sformułowanie teorii cząstek elementarnych, a szczególnie elektrodynamiki kwantowej, w języku całek po trajektoriach i diagramów Feynmana, teoria ciekłego helu, teoria słabych oddziaływań uwzględniająca maksymalne łamanie symetrii względem odbić i teoria zderzeń cząstek elementarnych oparta na założeniu, że cząstki te są zło-



Richard Feynman i Iwo Białynicki-Birula podczas Konferencji w Jabłonie w 1962 r.

Fot. M. Holzman

żonymi obiektami zbudowanymi z punktowych składników (partonów).

Stosunek Feynmana do fizyki można określić jako głęboko intuicyjny. Wszystkie jego wybitne osiągnięcia można właściwie scharakteryzować jako będące wynikiem dążenia do zrozumienia Przyrody w sposób jak najprostszy. Prace Feynmana cechuje zawsze dążenie do przedstawienia wyników w postaci pogładowej. Taki sam stosunek miał Feynman także do matematyki. Cenił ją i uważał, że jest ona jedynym językiem, jakim przemawia do nas Przyroda, ale też i wierzył, że całą matematykę można doskonale zrozumieć intuicyjnie. W czasie studiów w Princeton rzucił wyzwanie swoim kolegom matematykom, iż potrafi o każdym twierdzeniu matematycznym powiedzieć czy jest

prawdziwe, czy nie, pod warunkiem, że zostanie ono przedstawione w zrozumiałym dla niego języku. Z takiego też tłumaczenia zawiloci teorii na zrozumiały język powstały całki po trajektoriach, diagramy Feynmana i partony. Dążenie do przedstawienia fizyki w prosty sposób legło także u podstaw podręcznika *Feynmana wykłady z fizyki*.

W 1954 r. Feynman otrzymał nagrodę im. Alberta Einsteina, zaś w 1965 Nagrodę Nobla z fizyki (wspólnie z J. S. Schwingerem i S. Tomonagą) za prace z elektrodynamiki kwantowej. W 1962 r. przebywał w Polsce, biorąc udział w konferencji na temat ogólnej teorii względności zorganizowanej przez Leopolda Infelda.

*Iwo Białynicki-Birula*

żonymi obiektami zbudowanymi z punktowych składników (partonów).

Stosunek Feynmana do fizyki można określić jako głęboko intuicyjny. Wszystkie jego wybitne osiągnięcia można właściwie scharakteryzować jako będące wynikiem dążenia do zrozumienia Przyrody w sposób jak najprostszy. Prace Feynmana cechuje zawsze dążenie do przedstawienia wyników w postaci poglądowej. Taki sam stosunek miał Feynman także do matematyki. Cenił ją i uważał, że jest ona jedynym językiem, jakim przemawia do nas Przyroda, ale też i wierzył, że całą matematykę można doskonale zrozumieć intuicyjnie. W czasie studiów w Princeton rzucił wyzwanie swoim kolegom matematykom, iż potrafi o każdym twierdzeniu matematycznym powiedzieć czy jest

prawdziwe, czy nie, pod warunkiem, że zostanie ono przedstawione w zrozumiałym dla niego języku. Z takiego też tłumaczenia zawziętości teorii na zrozumiały język powstały całki po trajektoriach, diagramy Feynmana i partony. Dążenie do przedstawienia fizyki w prosty sposób legło także u podstaw podręcznika *Feynmana wykłady z fizyki*.

W 1954 r. Feynman otrzymał nagrodę im. Alberta Einsteina, zaś w 1965 Nagrodę Nobla z fizyki (wspólnie z J. S. Schwingerem i S. Tomonagą) za prace z elektrodynamiki kwantowej. W 1962 r. przebywał w Polsce, biorąc udział w konferencji na temat ogólnej teorii względności zorganizowanej przez Leopolda Infelda.

*Iwo Białynicki-Birula*

## KALENDARZ IMPREZ

Informacje podajemy w następującej kolejności: data i miejsce imprezy, organizator, adres, pod który należy nadsyłać zgłoszenia i ewentualne streszczenia prac, Z — termin zgłoszeń, A — termin nadsyłania streszczeń, P — przewidywane wydanie materiałów, U — przewidywana liczba uczestników, język (jeżeli inny niż polski), O — wysokość opłaty konferencyjnej.

### KONFERENCJE 1988

3—8 października 1988, Wrocław

**9th Internat. Symposium on Exoelectron Emission and Applications.** Inst. Fizyki Doświadczalnej Uniw. Wrocławskiego, Dr J. Lesz, IFD UW, Cybulskiego 36, 50-205 Wrocław.

18—22 października 1988, Mrągowo

**High Pressure Chemical Synthesis and Physical Transformations.** Instytut Chemii Organicznej PAN, Dr J. Jurczak, IChO PAN, Kasprzaka 44, 01-224 Warszawa.  
U: 200, ang.

### KONFERENCJE 1989

21—24 lutego 1989, Warszawa

**5th Symposium on Optical Fibres and Their Applications.** Komitet Elektroniki i Telekomunikacji PAN, Instytut Telekomunikacji, Politechnika Warszawska. Dr R. S. Romaniuk, Inst. Podstaw Elektroniki, PW, Nowowiejska 19, 00-665 Warszawa.

Z: grudzień 88, A: grudzień 88, ang.

8—12 maja 1989, Warszawa

**Interferometry '89 — 109 years Michelson: state of art and applications.** Sekcja Optyki SIMP i Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP. Małgorzata Sochacka. Centralne Laboratorium Optyki, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa.

22—27 maja 1989, Piechowice

**13th Internat. Seminar on Surface Physics.** Inst. Fizyki Doświadczalnej Uniw. Wrocławskiego. Dr Antoni Ciszewski, IFD UW, Cybulskiego 36, 50-205 Wrocław, tel. 22-66-71 w. 30, tlx 071 2791 uwr.

Z: 15. 3. 89, A: 15. 3. 89, P, U: 120, ang., O: ok. 20 000 zł.

28 sierpnia — 1 września 1989, Kraków

**12th Internat. Congress of X-ray Optics and Microanalysis (12 XCOM).** Instytut Metalurgii AGH, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. 33-76-13.

ang.

11—15 września 1989, Warszawa

**XXV Jubileuszowy Zjazd Fizyków Polskich.** Polskie Towarzystwo Fizyczne, Oddział Warszawski. Prof. M. Grynberg, IFD UW, Hoża 69, 00-681 Warszawa, tel. 28-30-31 w. 134 lub 28-76-49, tlx 81 55 48 uwphy.

Z: 31. 12. 88, O: 2600 zł (dla członków PTF 1900.— zł).

20—22 września 1989, Łódź

**Internat. Symposium on Electromagnetic Fields in Electrical Engineering (ISEF).**

Inst. Maszyn Elektrycznych i Transfornatorów Pol. Łódzkiej, Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź.

ang.

## SZKOŁY 1989

26 lutego — 5 marca 1989, Karpacz

**XXV Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej: Całkowanie funkcjonalne, geometria i struny.** Inst. Fizyki Teoret. Uniw. Wrocławskiego. Doc. Zbigniew Haba, IFT UW, Cybulskiego 36, 50-205 Wrocław.

Z: 30. 11. 1988, P, U: 100, ang.

23—27 maja 1989, Gdańsk

**4th Spring School on Acousto-Optics and its Applications.** Uniwersytet Gdański, Prof. A. Sliwiński, IFD UG, Witą Stwosza 57, 80-952 Gdańsk.

A: 31. 3. 89, U: 80, ang.



## NOWE KSIĄŻKI

Eugeniusz Tyrkiel, *Termodynamiczne podstawy materiałoznawstwa*, PWN, Warszawa 1987, s. 268, nakł. 1200 egz., cena zł 250.—

Józef Żmija, *Podstawy teorii wzrostu monokryształów*, PWN, Warszawa 1987, s. 239, nakł. 1000 egz., cena zł 360.—

*Eksploatacja elektrowni jądrowych*, praca zbiorowa pod red. G. Ackermanna, z jęz. niemieckiego tłum. W. Hellmann i C. Dąbrowski, WNT, Warszawa 1987, s. 412, nakład 820 egz., cena zł 630.—

Frank Close, *Kosmiczna cebula*, z jęz. angielskiego tłum. Wanda Stępień-Rudzka, PWN, Warszawa 1988, wyd. I, s. 212, cena zł 340.—

A. L. Fetter, J. D. Walecka, *Kwantowa teoria układów wielu cząstek*, PWN, Warszawa 1988, wyd. II, s. 555, cena zł 660.—

Romuald Józwicki, *Teoria odwzorowania optycznego*, PWN, Warszawa 1988, wyd. I, s. 294, nakład 1300 egz., cena zł 400.—

Wacław Jakubowski, *Przewodniki superjonowe, właściwości fizyczne i zastosowania*, seria Fizyka dla Przemysłu, WNT, Warszawa 1988, s. 163, nakład 800 egz., cena zł 180.—

## INFORMACJE DLA AUTORÓW

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

1. Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Bardziej szczegółowe wskazówki co do ich charakteru przedstawione są w *Postęпах Fizyki*, **24**, 701 (1973); **33**, 299 (1982).

2. Maszynopis pracy (oryginał i jedną pełną — z rysunkami, tablicami itd. — kopię) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać: dokładne adresy, zarówno prywatny jak i instytucji, z zaznaczeniem, na który przesyłać korespondencję, korektę i honorarium autorskie. O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.

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

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

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

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

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

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

9. Spis literatury winien być sporządzony według wzoru:

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

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

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

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

10. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej, którą należy zwrócić w ciągu 3 dni pod adresem: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Dział Czasopism, ul. Sławkowska 14, 31-014 Kraków. Przetrzymanie korekty może spowodować przesunięcie artykułu do następnego zeszytu.

11. Autor otrzymuje bezpłatnie 25 egz. odbitek pracy. Dodatkowe odbitki można zamówić odpłatnie przy przysyłaniu korekty autorskiej. Cena za 1 egz. odbitki o objętości 1—16 s. wynosi zł 80.—

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

## POSTĘPY FIZYKI

(dwumiesięcznik)

*Warunki prenumeraty czasopisma na rok 1989:*

Cena prenumeraty: półrocznie zł 600.—  
rocznie zł 1200.—

Prenumeratę krajową i za granicę przyjmuje się:

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

Prenumeratę krajową przyjmują i informacji o cenach udzielają urzędy pocztowe i doręzyciele na wsiach oraz Oddziały RSW „Prasa—Książka—Ruch” w miastach.

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 PKO BP XV OM Warszawa, nr 1658-201045-139-11.

Bieżące numery można nabywać lub zamówić we Wzorcowni Ośrodka Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN, Pałac Kultury i Nauki (wysoki parter), 00-901 Warszawa.

### PRENUMERATA DLA CZŁONKÓW PTF

Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w Oddziałach PTF do 15 października każdego roku na cały rok następny, otrzymują 25% zniżki.

### INFORMATIONS 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.

Tylko prenumerata zapewnia regularne otrzymywanie czasopisma.

## SPIS TREŚCI

S. Szpikowski — Symetrie i supersymetria w fizyce jądrowej . . . . .	295
Z. Szklarski, S. Komornicki — Półprzewodnikowe czujniki gazowe . . . . .	305
P. Bicchi — Wpływ pompowania optycznego atomów alkalicznych na tworzenie się cząsteczek (tłum. A. Kopystowska) . . . . .	327
ROZMOWY	
O Wilnie, Toruniu i... Wszechświecie — rozmowa z Wilhelminą Iwanowską . . . . .	339
ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH	
S. Bednarek — Problemy nauczania fizyki studentów cudzoziemców . . . . .	365
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI . . . . .	
RECENZJE . . . . .	377
KRONIKA . . . . .	379

## CONTENTS

S. Szpikowski — Symmetries and Supersymmetry in Nuclear Physics . . . . .	295
Z. Szklarski, S. Komornicki — Semiconducting Gas Sensors . . . . .	305
P. Bicchi — Effect of the Optical Pumping of Alkali Atoms on Molecule Formation . . . . .	327
DEBATES	
On Vilna, Toruń and... the Universe: an Interview with Professor Wilhelmina Iwanowska . . . . .	339
PROBLEMS OF TEACHING PHYSICS IN ACADEMIC SCHOOLS	
S. Bednarek — Problems of Teaching Physics to Foreign Students in Poland . . . . .	365
MEETINGS AND CONFERENCES . . . . .	
REVIEWS . . . . .	377
CHRONICLE . . . . .	379