

PTF

DWUMIESIĘCZNIK  
POŚWIĘCONY  
UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY  
FIZYCZNEJ

# POSTĘPY FIZYKI

TOM 48  
ZESZYT 1  
1997

---

# POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

## ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes:	Prof. dr HENRYK SZYMCZAK
Wiceprezysi:	Prof. dr STANISŁAW K. HOFFMANN Prof. dr JÓZEF SZUDY
Sekretarz Generalny:	Prof. dr IRENEUSZ STRZAŁKOWSKI
Skarbnik:	Dr EDMUND WESOŁOWSKI
Członkowie Zarządu:	Prof. dr EWA DOBIERZEWSKA-MOZRZYMAS Mgr WANDA DOBORZYŃSKA-GŁAZEK Prof. dr JERZY NIEWODNICZAŃSKI Prof. dr TADEUSZ REWAJ Mgr KRZYSZTOF STOCKI Dr EDMUND ŚNIADEK

## Redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI – <i>Postępy Fizyki</i>
Prof. dr JERZY PROCHOROW – <i>Acta Physica Polonica A</i>
Prof. dr WIESŁAW CZYŻ – <i>Acta Physica Polonica B</i>
Dr hab. MAREK KORDOS – <i>Delta</i>
Prof. dr ANDRZEJ JAMIOŁKOWSKI – <i>Reports on Mathematical Physics</i>

## Przewodniczący Oddziałów Towarzystwa

Prof. dr ANDRZEJ MAZIEWSKI (Białystok)	Prof. dr MARIA GILLER (Łódź)
Prof. dr BRONISŁAW GRZEGORZEWSKI (Bydgoszcz)	Dr STANISŁAW CHABIK (Opole)
Dr hab. JERZY J. WYSŁOCKI (Częstochowa)	Prof. dr JERZY DEMBCZYŃSKI (Poznań)
Dr hab. LEON MURAWSKI (Gdańsk)	<i>vacat</i> (Rzeszów)
Prof. dr ZYGMUNT KLESZCZEWSKI (Gliwice)	Prof. dr HENRYK WREMBEL (Słupsk)
Prof. dr JERZY WARCZEWSKI (Katowice)	Prof. dr TADEUSZ REWAJ (Szczecin)
Dr MAREK PAJEK (Kielce)	Prof. dr ANDRZEJ BIELSKI (Toruń)
Prof. dr WOJCIECH GAWLIK (Kraków)	Prof. dr BRONISŁAW ORŁOWSKI (Warszawa)
Prof. dr STANISŁAW HAŁAS (Lublin)	Prof. dr WŁADYSŁAWA NAWROCKA (Wrocław)

## ADRES ZARZĄDU

00-681 Warszawa, ul. Hoża 69  
tel./fax 621 26 68  
adres elektroniczny: ptf@fuw.edu.pl

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

# POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY FIZYCZNEJ

TOM 48, ZESZYT 1  
1997

Zeszyt dofinansowany  
przez Komitet Badań Naukowych

Wydano pod patronatem  
Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Warszawa 1997

## RADA REDAKCYJNA

Iwo Białynicki-Birula, Jerzy Czerwonko, Marek Demiański,  
Adam Kujawski, Tadeusz Skaliński, Maciej Suffczyński, Józef Szudy

## KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: Adam Sobiczewski  
Członkowie Redakcji: Tomasz Dietl, Jerzy Gronkowski, Mirosław Łukaszewski,  
Magdalena Staszal, Barbara Wojtowicz

Adres Redakcji: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa  
adres elektroniczny: [postepy@fuw.edu.pl](mailto:postepy@fuw.edu.pl)

### Korespondenci Oddziałów PTF:

Dr Maciej Horowski (Białystok)  
Dr Wanda Ciurzyńska (Częstochowa)  
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)  
Dr Roman Bukowski (Gliwice)  
Prof. dr Wiktor Zipper (Katowice)  
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)  
Dr Jacek Bieroń (Kraków)  
Mgr Tomasz Durakiewicz (Lublin)  
Prof. dr Leszek Wojtczak (Łódź)  
Dr Ryszard Czajka (Poznań)  
Mgr Danuta Ficek (Słupsk)  
Dr Ewa Weinert-Rączka (Szczecin)  
Dr Józefina Turło (Toruń)  
Dr Ewa Jędryka (Warszawa)  
Dr hab. Bernard Jancewicz (Wrocław)

**Wiesław A. Kamiński**

*Katedra Fizyki Teoretycznej  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej  
Lublin*

## **Podwójny rozpad beta: laboratorium fizyki niestandardowej\***

### **Double beta decay and non-standard physics**

*Abstract:* Double beta decay is a very rare nuclear process changing the nuclear charge by two units. It has been long recognized as a tool for the study of weak interaction symmetries in general and of neutrino properties in particular. In the article, the most recent experimental and theoretical research progress in this field are reviewed. Importance of such research for non-standard physics is also discussed.

#### **1. Wstęp**

Podwójny rozpad beta jest najrzadszym procesem z dotychczas zarejestrowanych laboratoryjnie; półokres rozpadu wynosi  $10^{20}$  lub więcej lat. Polega on na przemianie jądra atomowego o liczbie masowej  $A$  w izobar różniący się ładunkiem o dwie jednostki. Równocześnie emitowane są dwa elektrony (lub pozytony), co oznacza, iż mamy do czynienia z dwukrotnym rozpadem beta. Podobne zjawisko zmiany ładunku jądra o dwie jednostki występuje podczas kombinowanego procesu rozpadu beta i wychwytu elektronowego, bądź podwójnego wychwytu elektronowego. Sam rozpad beta zapisał się w dziejach fizyki prawie stuletnią już historią, obfitującą w nieoczekiwane odkrycia, do której wciąż dodawane są nowe rozdziały. Historia ta przeplata się z dziejami jednego z najbardziej nieuchwytnych fermionów – z historią odkrycia i badania neutrina.

---

\*Rozszerzona wersja wykładu wygłoszonego 24 stycznia 1995 r. na posiedzeniu Oddziału Lubelskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Badania kalorymetryczne rozpadu beta<sup>1</sup> przeprowadzone w 1914 r. przez JAMESA CHADWICKA (1891–1974) doprowadziły do odkrycia, że wyrzucany elektron nie unosi całej energii dostępnej w procesie, zaś widmo cząstek  $\beta$ , w odróżnieniu od widma cząstek  $\alpha$ , jest ciągle. Oznaczać to mogło, jak twierdził skłonny do radykalnych rozwiązań Niels Bohr (1885–1962), łamanie w procesach kwantowych prawa zachowania energii. Bardziej konserwatywny (w tym przypadku) Wolfgang Pauli (1900–1958) skłaniał się ku hipotezie słabo oddziałującej z materią, neutralnej cząstki towarzyszącej elektronowi, unoszącej część energii. Jej uwzględnienie w rozpadzie „ratowałoby” prawo zachowania energii i wyjaśniało ciągły charakter widma.

Pauli w liście z 17 lipca 1929 r. skierowanym do Bohra użył nazwy „neutron” na określenie takiej cząstki. Tak samo określił ją przedstawiając swoją hipotezę uczestnikom kongresu fizyki jądrowej<sup>2</sup>, odbytego w Tybindze. Jej masę oszacował na mniej niż 0.01 masy protonu. Enrico Fermi (1901–1954), twórca pierwszej teorii oddziaływania słabego odpowiedzialnego za rozpad beta<sup>3</sup>, założył, że neutrino w ogóle pozbawione jest masy spoczynkowej. Zaproponował również nazwać nieuchwytnego towarzysza elektronu neutrinem (neutronikiem)<sup>4</sup>.

Odkrycie rozpadu  $\beta^+$  przez Irenę (1897–1956) i Fryderyka (1900–1958) Joliot-Curie postawiło na porządku dziennym dodatkowo problem drugiego neutrina, o którym nie było wiadomo, czy różni się od cząstki emitowanej w przemianie  $\beta^-$ . Louis de Broglie (1892–1987) popierał swoim autorytetem hipotezę dwu różnych neutrin, co zgadzało się też z teorią Diraca: neutrino byłoby bezmasowym (lub o bardzo małej masie) fermionem o spinie 1/2, posiadającym antymaterial-

<sup>1</sup> Zidentyfikowanego w 1900 r. przez Marię Skłodowską (1867–1934) i Piotra (1859–1906) małżonków Curie, o czym donieśli na Międzynarodowym Kongresie Fizyki w Paryżu.

<sup>2</sup> List datowany 4 grudnia 1930 r. w Zurychu, zatytułowany „List otwarty do grup radioaktywnych na spotkaniu w Tybindze”, Pauli rozpoczął od zwrotu „Radioaktywni Panie i Panowie!”, zaś w jego zakończeniu stwierdzał: „Niestety, nie mogę przybyć osobiście do Tybingi, gdyż jestem niezbędny tutaj z powodu organizacji balu, który odbędzie się w Zurychu w nocy z 6 na 7 grudnia.”

<sup>3</sup> Artykuł formułujący nową teorię został odrzucony przez redakcję *Nature*. Ukazał się dopiero w niemieckim tłumaczeniu w *Zeitschrift für Physik* [1].

<sup>4</sup> Nazwy tej Fermi zaczął używać między V Międzynarodową Konferencją Elektryczności w Paryżu (lipiec 1932 r.) a VII Kongresem Solvayowskim w Brukseli (październik 1933 r.). Określenie jest o tyle niepoprawne, iż mały neutron (neutronik) to po włosku „neutronino”. Giuseppe P.S. Occhialini (1907–1993) opowiadając w Cambridge o dyskusjach prowadzonych w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Rzymskiego przy via Panisperna 89A, gdzie brylowała grupa Fermiego, m.in. Eduardo Amaldi (1908–1989), Ettore Majorana (1906–1938), Emilio Segrè (1905–1989), Bruno Pontecorvo (1913–1993), Gian Carlo Wick (1909–1992), wspominał, że gdy Fermi opowiadał im o hipotezie Pauliego używając określeń „mały neutron”, „neutronik”, E. Amaldi dla odróżnienia tej cząstki od odkrytego właśnie neutronu Chadwicka zaproponował „śmieszna przeróbka” – neutrino [2].

nego partnera właśnie w postaci cząstki emitowanej w rozpadzie  $\beta^+$ . Tak więc, podobnie jak elektron i proton, neutrino miałyby różną od siebie antycząstkę. Możliwa jest jednak również hipoteza, iż taki neutralny fermion jak neutrino jest sam dla siebie antycząstką. Teorię tego typu fermionów sformułował E. Majorana. Stąd obecnie zwykło się mówić w pierwszym przypadku o cząstce Diraca, a w drugim – o cząstce Majorany.

Neutrino przez dziesiątki lat pozostało „nieuchwytnie”. Dopiero mozolne pomiary przekroju czynnego w tzw. odwrotnym rozpadzie  $\beta$



wykonane w latach 1953–56 przez Fredericka Reinesa (ur. 1918) i Clyde’a Cowana (1919–1974), namacalnie ujawniły obecność neutrin w przyrodzie<sup>5</sup>. Wielkość zmierzonego przekroju czynnego  $\sigma = (9.4 \pm 1.3) \times 10^{-44} \text{ cm}^2$  [3] wymownie potwierdziła, jak nieuchwytny to fermion. Niestety o masie nic pewnego w dalszym ciągu nie było wiadomo.

Poglądy na naturę neutrina były również podzielone. W końcu lat pięćdziesiątych i na początku sześćdziesiątych, przy okazji badań nad teorią oddziaływań słabych (tzw. teorią V–A), zakładano, iż neutrina są bezmasowymi fermionami. Pokazano wówczas, że w ramach teorii V–A ich opis jako cząstek Majorany jest w pełni równoważny opisowi Diraca, gdyż dla bezmasowych fermionów Majorany skrętność (helicity)  $\lambda$  identyfikuje jednoznacznie, czy mamy do czynienia z cząstką Diraca (Weyla) ( $\lambda = +1/2$ ), czy z odpowiednią antycząstką ( $\lambda = -1/2$ ). W ten sposób pytanie o naturę neutrina przestało być traktowane poważnie. Tworząc swoją teorię oddziaływania elektroslabego Abdus Salam (1926–1996) i Steven Weinberg (ur. 1933) w pełni nawiązali do tych koncepcji przyjmując, że neutrino jest bezmasowym fermionem Diraca.

Zainteresowanie masywnymi neutrinami odżyło w połowie lat siedemdziesiątych wraz z postępami w unifikacji oddziaływania elektroslabego i silnego (teorie wielkiej unifikacji). W modelach tych leptony i kwarki są traktowane równoważnie, nie ma więc głębszego uzasadnienia specjalne wyróżnianie neutrin jako fermionów bezmasowych, a kwestia ich charakteru nabiera nowego znaczenia (por. rozdz. 3.1). Może to wydawać się dziwne, ale nie było do tej pory możliwe doświadczone rozstrzygnięcie, jakim fermionem jest neutrino. Wynika to z faktu, iż wytwarzane w eksperymentach neutrina są zawsze spolaryzowane, a więc mają

---

<sup>5</sup> Komitet Noblowski dopiero w 1995 r. docenił wagę tych badań przyznając nagrodę F. Reinesowi (wspólnie z Martinem Perlem, którego nagrodzono za odkrycie cząstki  $\tau$ , należącej do trzeciej rodziny leptonów). C. Cowan nie doczekał już, niestety, tego zaszczytu. Por. F. Reines, *Postępy Fizyki* 47, 423 (1996).

dobrze określoną skrętność: cząstka, którą określamy jako neutrino jest zawsze lewoskrętna, zaś antyneutrino prawoskrętne. W rezultacie nie udało się ustalić do tej pory, czy różnią się oddziaływania z materią neutrina i antyneutrina tej samej skrętności. Sygnały dochodzące od pewnego czasu z laboratoriów badających procesy z udziałem neutrin, m.in. podwójny rozpad beta i oscylacje neutrin, zdają się potwierdzać, że sytuacja zmienia się i wątpliwości co do charakteru neutrina mogą być w niedługim czasie rozstrzygnięte.

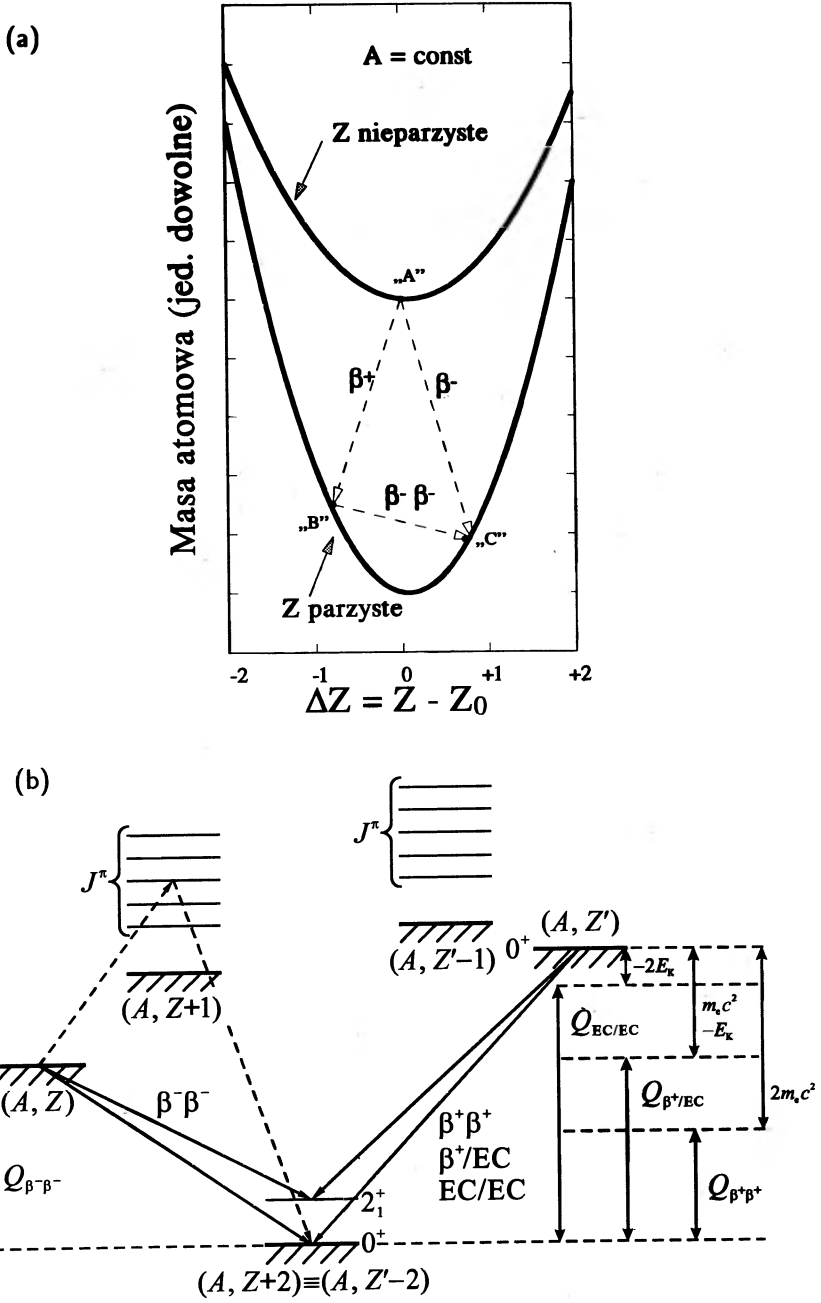
## 2. Podwójny rozpad beta

W podwójnym rozpadzie musi nastąpić, o ile ma być spełnione prawo zachowania liczby leptonowej, emisja dwu elektronów (zmiana liczby leptonowej o +2 jednostki) i dwu antyneutrin (zmiana liczby leptonowej o -2 jednostki). Rozpad taki ( $2\nu2\beta$ ) został zaproponowany ponad pół wieku temu przez Marię Goeppert-Mayer (1906–1972), podówczas doktorantkę Eugene'a P. Wignera (1902–1995). Warunkiem energetycznym jego zajścia jest, by dla kolejnych trzech izobarów masa drugiego z nich była większa od masy pozostałych nuklidów, zaś różnica mas nuklidów skrajnych przewyższała masę spoczynkową dwu elektronów  $2m_e c^2 \approx 1022$  keV (rys. 1). Wśród pierwiastków występujących w sposób naturalny w przyrodzie sytuacja ta nie należy do rzadkości. Analiza stosunków energetycznych pokazuje, że proces jest możliwy m.in. w cynku  $^{70}\text{Zn}$ , germanie  $^{76}\text{Ge}$ , selenie  $^{82}\text{Se}$ , tellurze  $^{128,130}\text{Te}$ , a nawet w uranie  $^{238}\text{U}$ . Łącznie we wszystkich odmianach procesu ( $\beta^-\beta^-$ ,  $\beta^+\beta^+$ ,  $\beta^+/\text{EC}$ ,  $\text{EC}/\text{EC}$ ) może rozpadać się ponad 60 izotopów (tab. 1).

Naprawdę podniecający jest jednak jeszcze inny wariant podwójnego rozpadu beta – zaproponowany w 1937 r. przez G. Racaha (1909–1967) i niezależnie w 1939 r. przez W.H. Furry'ego (ur. 1907) proces bezneutrinowy ( $0\nu2\beta$ ). W jego trakcie emitowane byłyby tylko elektrony, co prowadziłoby do złamania prawa zachowania liczby leptonowej. W dalszej części artykułu (rozdz. 3.1) wyjaśnię, dlaczego neutrino w takim rozpadzie powinno być fermionem Majorany obdarzonym masą spoczynkową, oraz dlaczego wskazane byłoby przywrócenie symetrii między kierunkami: lewym i prawym, łamanej w oddziaływaniach słabych<sup>6</sup>. Nic dziwnego, że od lat trwają łowy na podwójny rozpad beta bez emisji neutrin – jego odkrycie byłoby bezpośrednim sygnałem fizyki spoza modelu standardowego.

<sup>6</sup> Łamanie symetrii parzystości, zasugerowane przez T.D. Lee i C.N. Yanga, odkryte zostało przez Ch. Wu w eksperymencie przeprowadzonym w 1956 r. [5]. Było ono tak sprzeczne z powszechnymi przekonaniem fizyków, że Pauli w liście wysłanym 22 grudnia 1956 r. do Schafrotha nie wahał się pisać „Tak więc – mimo Yanga i Lee nie wierzę, by Bóg był »słabym mańkutom« (Denn – trotz Yang und Lee glaube ich nicht, dass Gott ein »schwacher Linkshänder« ist)”.





Rys. 1. Zależności energetyczne w podwójnym rozpadzie beta: a) nuklid „B” może rozpaść się jedynie w procesie  $\beta\beta$ ; b) energie rozpadu w procesie z emisją dwu elektronów ( $\beta^-\beta^-$ ) i dwu pozytonów ( $\beta^+\beta^+$ ), w podwójnym wychwycie elektronowym (EC/EC) oraz w rozpadzie mieszanym ( $\beta^+/\text{EC}$ ).

Tabela 1. Naturalne nuklidy  $\beta\beta$ -promieniotwórcze [4].

Rozpad	$Q$ [keV]	$E_{2_1^+}$ [keV] <sup>a</sup>	Rozpad	$Q$ [keV]	$E_{2_1^+}$ [keV] <sup>a</sup>
$\beta^-\beta^-$					
$^{46}\text{Ca} \rightarrow ^{46}\text{Ti}$	$990.4 \pm 2.4$	889.25	$^{130}\text{Te} \rightarrow ^{130}\text{Xe}$	$2528.1 \pm 2.1$	536.09
$^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Ti}^b$	$4272 \pm 4$	983.51	$^{134}\text{Xe} \rightarrow ^{134}\text{Ba}$	$830 \pm 3$	604.70
$^{70}\text{Zn} \rightarrow ^{70}\text{Ge}$	$1001 \pm 3$	—	$^{136}\text{Xe} \rightarrow ^{136}\text{Ba}$	$2467 \pm 7$	818.50
$^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se}$	$2038.7 \pm 0.5$	559.1	$^{142}\text{Ce} \rightarrow ^{142}\text{Nd}$	$1417.1 \pm 2.1$	—
$^{80}\text{Se} \rightarrow ^{80}\text{Kr}$	$134 \pm 4$	—	$^{146}\text{Nd} \rightarrow ^{146}\text{Sm}^c$	$70.0 \pm 2.9$	—
$^{82}\text{Se} \rightarrow ^{82}\text{Kr}$	$2995.0 \pm 2.0$	776.49	$^{148}\text{Nd} \rightarrow ^{148}\text{Sm}^c$	$1928.8 \pm 1.9$	550.1
$^{86}\text{Kr} \rightarrow ^{86}\text{Sr}$	$1258 \pm 5$	1076.6	$^{150}\text{Nd} \rightarrow ^{150}\text{Sm}$	$3367.5 \pm 2.2$	333.95
$^{94}\text{Zr} \rightarrow ^{94}\text{Mo}$	$1143.6 \pm 2.0$	871.10	$^{154}\text{Sm} \rightarrow ^{154}\text{Gd}$	$1251.4 \pm 1.3$	123.07
$^{96}\text{Zr} \rightarrow ^{96}\text{Mo}^b$	$3350.3 \pm 2.9$	778.22	$^{160}\text{Gd} \rightarrow ^{160}\text{Dy}$	$1729.7 \pm 1.3$	86.79
$^{98}\text{Mo} \rightarrow ^{98}\text{Ru}$	$112 \pm 6$	—	$^{170}\text{Er} \rightarrow ^{170}\text{Yb}$	$653.7 \pm 1.7$	84.26
$^{100}\text{Mo} \rightarrow ^{100}\text{Ru}$	$3034 \pm 6$	539.59	$^{176}\text{Yb} \rightarrow ^{176}\text{Hf}$	$1085.5 \pm 2.1$	88.35
$^{104}\text{Ru} \rightarrow ^{104}\text{Pd}$	$1300 \pm 4$	555.81	$^{186}\text{W} \rightarrow ^{186}\text{Os}^c$	$487.9 \pm 1.7$	137.15
$^{110}\text{Pd} \rightarrow ^{110}\text{Cd}$	$2000 \pm 11$	657.75	$^{192}\text{Os} \rightarrow ^{192}\text{Pt}^c$	$413.5 \pm 3.0$	317.51
$^{114}\text{Cd} \rightarrow ^{114}\text{Sn}$	$536 \pm 3$	—	$^{198}\text{Pt} \rightarrow ^{198}\text{Hg}$	$1047 \pm 3$	411.80
$^{116}\text{Cd} \rightarrow ^{116}\text{Sn}$	$2804 \pm 4$	1293.54	$^{204}\text{Hg} \rightarrow ^{204}\text{Pb}$	$416.4 \pm 1.5$	—
$^{122}\text{Sn} \rightarrow ^{122}\text{Te}$	$359 \pm 3$	—	$^{232}\text{Th}^c \rightarrow ^{232}\text{U}^c$	$841.7 \pm 2.6$	47.6
$^{124}\text{Sn} \rightarrow ^{124}\text{Te}$	$2287.5 \pm 1.5$	602.72	$^{238}\text{U}^c \rightarrow ^{238}\text{Pu}^c$	$1146.7 \pm 1.4$	44.08
$^{128}\text{Te} \rightarrow ^{128}\text{Xe}$	$867.2 \pm 1.5$	442.88			
$\beta^+\beta^+, \beta^+/\text{EC}, \text{EC}/\text{EC}^d$					
$^{78}\text{Kr} \rightarrow ^{78}\text{Se}$	$823 \pm 7$	613.6	$^{124}\text{Xe} \rightarrow ^{124}\text{Te}$	$825.9 \pm 2.2$	602.72
$^{96}\text{Ru} \rightarrow ^{96}\text{Mo}$	$681 \pm 8$	778.22 <sup>e</sup>	$^{130}\text{Ba} \rightarrow ^{130}\text{Xe}$	$566 \pm 7$	536.09
$^{106}\text{Cd} \rightarrow ^{106}\text{Pd}$	$727 \pm 8$	511.86	$^{136}\text{Ce} \rightarrow ^{136}\text{Ba}$	$356 \pm 50$	818.50 <sup>e</sup>
$\beta^+/\text{EC}, \text{EC}/\text{EC}^f$					
$^{50}\text{Cr} \rightarrow ^{50}\text{Ti}$	$143.3 \pm 1.2$	—	$^{120}\text{Te} \rightarrow ^{120}\text{Sn}$	$650 \pm 11$	1171.6 <sup>g</sup>
$^{58}\text{Ni} \rightarrow ^{58}\text{Fe}$	$895.6 \pm 0.7$	810.76	$^{144}\text{Sm} \rightarrow ^{144}\text{Nd}^c$	$712.8 \pm 1.9$	696.49
$^{64}\text{Zn} \rightarrow ^{64}\text{Ni}$	$64.6 \pm 0.9$	—	$^{156}\text{Dy} \rightarrow ^{156}\text{Gd}$	$935 \pm 6$	88.96
$^{74}\text{Se} \rightarrow ^{74}\text{Ge}$	$174.7 \pm 0.6$	595.88 <sup>g</sup>	$^{162}\text{Er} \rightarrow ^{162}\text{Dy}$	$765.2 \pm 2.8$	80.66
$^{84}\text{Sr} \rightarrow ^{84}\text{Kr}$	$749 \pm 4$	881.60 <sup>g</sup>	$^{168}\text{Yb} \rightarrow ^{168}\text{Er}$	$339 \pm 4$	79.80
$^{92}\text{Mo} \rightarrow ^{92}\text{Zr}$	$608 \pm 4$	934.5 <sup>g</sup>	$^{174}\text{Hf}^c \rightarrow ^{174}\text{Yb}$	$14.8 \pm 2.5$	76.47 <sup>g</sup>
$^{102}\text{Pd} \rightarrow ^{102}\text{Ru}$	$125.8 \pm 2.6$	475.06 <sup>g</sup>	$^{184}\text{Os} \rightarrow ^{184}\text{W}$	$355.6 \pm 1.4$	111.21
$^{112}\text{Sn} \rightarrow ^{112}\text{Cd}$	$872 \pm 4$	617.4	$^{190}\text{Pt}^c \rightarrow ^{190}\text{Os}$	$283 \pm 6$	186.68

Tabela 1 – c.d.

Rozpad	$Q$ [keV]	$E_{2_1^+}$ [keV] <sup>a</sup>	Rozpad	$Q$ [keV]	$E_{2_1^+}$ [keV] <sup>a</sup>
EC/EC <sup>h</sup>					
<sup>36</sup> Ar→ <sup>36</sup> S	427.1 ± 0.3	—	<sup>132</sup> Ba→ <sup>132</sup> Xe	765 ± 3	667.7
<sup>40</sup> Ca→ <sup>40</sup> Ar	185.7 ± 0.2	—	<sup>138</sup> Ce→ <sup>138</sup> Ba	612 ± 11	—
<sup>54</sup> Fe→ <sup>54</sup> Cr	665.9 ± 0.6	—	<sup>158</sup> Dy→ <sup>158</sup> Gd	175.6 ± 2.4	79.51
<sup>108</sup> Cd→ <sup>108</sup> Pd	216 ± 6	—	<sup>180</sup> W <sup>c</sup> → <sup>180</sup> Hf	7 ± 5	—
<sup>126</sup> Xe→ <sup>126</sup> Te	828 ± 6	666.33	<sup>196</sup> Hg→ <sup>196</sup> Pt	653.7 ± 3.0	355.7

<sup>a</sup> Brak danych oznacza, że rozpad do stanu  $2_1^+$  jest kinematycznie wzbroniony.

<sup>b</sup> Rozpad  $\beta^-$  jest kinematycznie dozwolony, lecz silnie tłumiony.

<sup>c</sup> Nuklid niestabilny ze względu na rozpad  $\alpha$ .

<sup>d</sup>  $Q \equiv Q_{\beta+\beta+}$ ;  $Q_{\beta+/\text{EC}} = Q + 2m_e c^2 + E_K$ ,  $Q_{\text{EC}/\text{EC}} = Q + 4m_e c^2 + 2E_K$ .

<sup>e</sup> Rozpad  $\beta^+\beta^+$  do stanu  $2_1^+$  jest kinematycznie wzbroniony.

<sup>f</sup>  $Q \equiv Q_{\beta+/\text{EC}}$ ;  $Q_{\text{EC}/\text{EC}} = Q + 2m_e c^2 + E_K$ .

<sup>g</sup> Rozpad  $\beta^+/\text{EC}$  do stanu  $2_1^+$  jest kinematycznie wzbroniony.

<sup>h</sup>  $Q \equiv Q_{\text{EC}/\text{EC}}$ .

## 2.1. Co osiągnęli eksperymentatorzy?

Zainteresowanie tak rzadkimi procesami jak podwójny rozpad beta pociągnęło za sobą rozwój subtelnych technik pomiarowych obejmowanych wspólną nazwą URANUS (Ultra RARE-process NUClear Spectroscopy), zaś fizykę związaną z nimi (zresztą nie tylko fizykę neutrin, ale także innych niestandardowych procesów, takich jak rozpad protonu) zwykle się określać mianem „fizyki podziemnej”. Użyte w tym wypadku słowo „podziemny” (underground) nawiązuje do usytuowania laboratoriów pod ziemią (lub pod wodą). Pośrednio ma ono aluzyjne odniesienie do faktu, że wciąż wielu „ortodoksyjnych” fizyków odnosi się do takich badań z rezerwą.

Najwcześniej zastosowane techniki badania rozpadu opierały się na pomiarach geochemicznych, wykorzystujących fakt gromadzenia się produktu rozpadu nuklidu  $2\beta$ -promieniotwórczego w próbkach geologicznych. W porównaniu z sytuacją, gdy rozpad nie zachodzi, w badanym mineralu rośnie w miarę upływu czasu koncentracja pierwiastka potomnego. Zakłada się przy tym, że rozpad  $\beta\beta$  jest jedynym (ściślej: dominującym) mechanizmem produkcji pierwiastka potomnego. Jeżeli wiek próbki wynosi około  $10^9$  lat, a ponadto pozostawała ona w układzie zamkniętym przez cały czas, to obecne metody spektrometrii mas

są dostatecznie czułe, by wyznaczyć nadmiar izotopu potomnego. Najlepsze rezultaty osiąga się w przypadku detekcji gazów szlachetnych, charakteryzujących się bardzo niskimi naturalnymi koncentracjami w materiałach pochodzenia ziemskiego. Stąd prawie wszystkie pomiary tego typu dotyczą selenu i telluru, rozpadających się do kryptonu i ksenonu. Wyjątek stanowią przeprowadzone ostatnio pomiary w starych ( $1.7 \times 10^9$  lat) próbkach cyrkonu, w których nadmiar  $^{96}\text{Mo}$  został przypisany rozpadowi  $\beta\beta$  jądra  $^{96}\text{Zr}$  [6]. Jednak niepewność warunków odizolowania złóż, z których pobierane są próbki, oraz błędy metod wyznaczania wieku skał powodują, że w dalszym ciągu techniki geochemiczne traktowane są jako pomocnicze.

Metodę geochemiczną zastosowali w 1949 r. M.G. Inghram i J.H. Reynolds [7] do badań tellurku bizmutu  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  pochodzącego z kopalni Boliden w Szwecji. Oszacowali oni czas połowicznego rozpadu telluru na  $1.4 \times 10^{21}$  lat. Pomiary przeprowadzone przez N. Takaokę i K. Ogate w 1966 roku na porfirytowych żyłach kwarcu z kopalni złota Oya (Japonia), zawierających  $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ , pozwoliły określić jedynie stosunek czasów rozpadu w dwu naturalnie występujących izotopach telluru  $^{128}\text{Te}$  i  $^{130}\text{Te}$  [8]. Najdokładniejszy tego typu pomiar wykonali w 1991 r. J.T. Lee i O.K. Manuel na krennerycie z Kalgoorie (Zachodnia Australia) oraz altaicie z Mattgani (Kanada), zawierających odpowiednio tellurki złota  $\text{AuTe}_2$  i ołowiu  $\text{PbTe}$  [9]. Do otrzymanych czasów życia należało dodatkowo wprowadzić poprawki na wpływ różnych czynników, m.in. na efekt oddziaływania minerałów z mionami atmosferycznymi. Po zastosowaniu takich procedur otrzymano okresy połowicznego rozpadu  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (2.7 \pm 0.1) \times 10^{21}$  lat dla  $^{130}\text{Te}$  i  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (7.7 \pm 0.4) \times 10^{24}$  lat dla  $^{128}\text{Te}$  [10].

Postępy techniki rejestracji śladowych ilości pierwiastków metodami radiochemicznymi uczyniły z nich kolejny, ważny sposób badania podwójnego rozpadu beta. Przewaga tej techniki nad geochemiczną polega na tym, że w metodzie radiochemicznej mamy możliwość laboratoryjnego kontrolowania czystości próbki zawierającej promieniotwórczy izotop oraz czasu zachodzenia procesu, wynoszącego w typowym doświadczeniu około 10 lat. Badania dotyczą przede wszystkim pierwiastków, dla których produkt rozpadu jest krótkożyłowym izotopem  $\alpha$ -promieniotwórczym. Zapewnia to jego znikomą naturalną koncentrację i umożliwia prostą detekcję. Jeszcze lepsze wyniki osiąga się dla nuklidów wytwarzanych sztucznie, stąd zainteresowania radiochemików ograniczają się obecnie przede wszystkim do radu  $^{226}\text{Ra}$ , plutonu  $^{244}\text{Pu}$  i kiuru  $^{248}\text{Cm}$  [11].

Pierwsi wdrożyli metodę w 1950 r. C.A. Levine, A. Ghiorso i G.T. Seaborg badających rozpad uranu  $^{238}\text{U}$  w jego trójtlenku. Zmierzony półokres rozpadu oszacowano na dłuższy niż  $6 \times 10^{18}$  lat [12]. W 1991 r. A.L. Turkevich,

T.E. Economu i G.A. Cowan opublikowali wyniki 33-letniej obserwacji bryły 8.47 kg azotanu uranylu  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  określające czas połowicznego rozpadu  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (1.42 \pm 0.03^{\text{statyst.}} \pm 0.13^{\text{syst.}}) \times 10^{21}$  lat [13], a więc ponad 1000 razy więcej niż granica wynikająca z pomiarów w 1950 r.

Bezpośredniego dowodu na rozpad, wobec wpływu wielu czynników trudnych do wyeliminowania w obu wyżej opisanych metodach, może dostarczyć jedynie bezpośrednia obserwacja laboratoryjna. Jednak eksperymetatorzy musieli uporać się wcześniej z licznymi trudnościami, które spowodowały, iż dopiero w końcu lat osiemdziesiątych bezspornie zarejestrowano taki proces.

Podwójny rozpad beta, polegający na przemianie w oddziaływaniu słabym dwu nukleonów (kwarków), jest procesem drugiego rzędu i jako taki jest bardzo powolny. Proste oszacowania pokazują, że czas życia nie powinien być krótszy niż  $10^{18}$  lat (por. rozdz. 3.2). Nie dziwi więc, że pomiary muszą być długotrwałe i sięgają nawet kilkudziesięciu tysięcy godzin pracy aparatury pomiarowej. Od próbek, które poddajemy doświadczeniu, wymaga się najwyższej dostępnej technologicznie czystości radiochemicznej. Ten sam wymóg dotyczy materiałów, z których budowana jest aparatura pomiarowa, np. miedzi w kriostatach. Osiąga się to m.in. pobierając minerały z głębokich złóż, a także składując elementy aparatury i detektory głęboko pod ziemią, dzięki czemu minimalizowany jest wpływ „brudzącego” promieniowania kosmicznego. Jak wszechstronne musi być zabezpieczenie przed niekorzystnym oddziaływaniem tego czynnika, niech świadczy transport materiałów i próbek tylko drogą lądową lub morską, a nie z wykorzystaniem transportu lotniczego.

Do standardowych technik należy również wzbogacanie próbek w badany izotop promieniotwórczy. Na przykład w eksperymencie IGEX (International Germanium EXperiment) używa się detektorów germanowych o masie 1 kg każdy i stopniu wzbogacenia sięgającym 89%. Trzeba jednak podkreślić, że procedury wzbogacania bardzo podnoszą koszty badań.

Nie mniej ważne jest zminimalizowanie wpływu tła. Pomagają w tym specjalne układy antykoincydencyjne typu VETO i detektory z projekcją czasu (time projection chamber), a także izolacja układu doświadczalnego od wpływu promieniowania kosmicznego, wszechobecnego radonu i zanieczyszczeń promieniotwórczymi substancjami (np. kryptonem), wydostającymi się do atmosfery z działających instalacji jądrowych. Stąd powszechna praktyka umieszczania laboratoriów pod ziemią w tunelach (pod Mont Blanc, ConFranc w Pirenejach, Fréjus w pld. Francji, pod przełęczą św. Gotharda w Alpach Szwajcarskich czy pod masywem Gran Sasso w Apeninach) lub w kopalniach (Homestake w Górach Sierra w Pld. Dakocie, Avan w armeńskim Kaukazie, Kamioka w Japonii) na głębokości sięgającej nawet 2000 m, jak to ma miejsce w pracowni Sudbury Neutrino Observatory

(Ontario), znajdującej się w czynnej kopalni cynku. Z kolei uczeni z Uniwersytetu Hawajskiego zbudowali układ pomiarowy, który będzie umieszczany na głębokości kilku tysięcy metrów pod powierzchnią Pacyfiku.

Wymienione zabiegi powodują, że badania podwójnego rozpadu beta kosztują coraz więcej, a to wymusza szeroką współpracę międzynarodową. Wspólne projekty obejmują uniwersytety i laboratoria nawet z różnych części świata. Na przykład we wspomnianym programie IGEX uczestniczą: Pacific Northwest Laboratory (Richland, USA), Uniwersytet Południowej Karoliny (Columbia, USA), Uniwersytet Stanu Minnesota (Minneapolis, USA), Instytut Fizyki Teoretycznej i Doświadczalnej (Moskwa, Rosja), Bakszańskie Laboratorium Neutrinowe (Wioska Neutrinowa, Rosja), Instytut Fizyki (Erewan, Armenia) oraz Uniwersytet w Saragossie (Hiszpania). Bardzo żywa jest współpraca europejska, umiejętnie stymulowana przez Komisariat Badań Wspólnoty Europejskiej. Dzięki niej uniwersytety w Mediolanie, Saragossie, Moskwie i Strasburgu realizują jeden z ważniejszych projektów nazwany NEMO (Neutrino Experiment on MOlybdenum).

## 2.2. Cierpliwość nagrodzona

W 1980 r. M.K. Moe i D.D. Lowenthal po raz pierwszy donieśli o bezpośredniej obserwacji podwójnego rozpadu beta w selenie  $^{82}\text{Se}$  [14]. W eksperymencie użyli komory Wilsona wyzwalanej wielodrutowym licznikiem proporcjonalnym i zarejestrowali 15 zdarzeń o parametrach kinematycznych charakterystycznych dla rozpadu  $2\nu 2\beta$ . Zmierzony półokres rozpadu  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (1.0 \pm 0.4) \times 10^{19}$  lat był o rząd wielkości mniejszy niż otrzymany metodą geochemiczną i z tego względu „podejrzany”. Wysiłki trwające przez kolejne 7 lat doprowadziły ostatecznie do pierwszej bezpośredniej i nie budzącej już zastrzeżeń obserwacji rozpadu [15]. Tym razem S.R. Elliot, A.A. Hahn i M.K. Moe użyli komory z projekcją czasu, zaś aparatura spoczywała w tunelu Tamy Hoovera (na pograniczu Newady i Arizony). Eksperyment prowadzony był łącznie przez 20 244 godziny. W ciągu tego czasu zarejestrowano 34 bezsporne przypadki rozpadu selenu. Na tej podstawie wyznaczony został półokres rozpadu  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (1.08_{-0.3}^{+0.8}) \times 10^{20}$  lat.

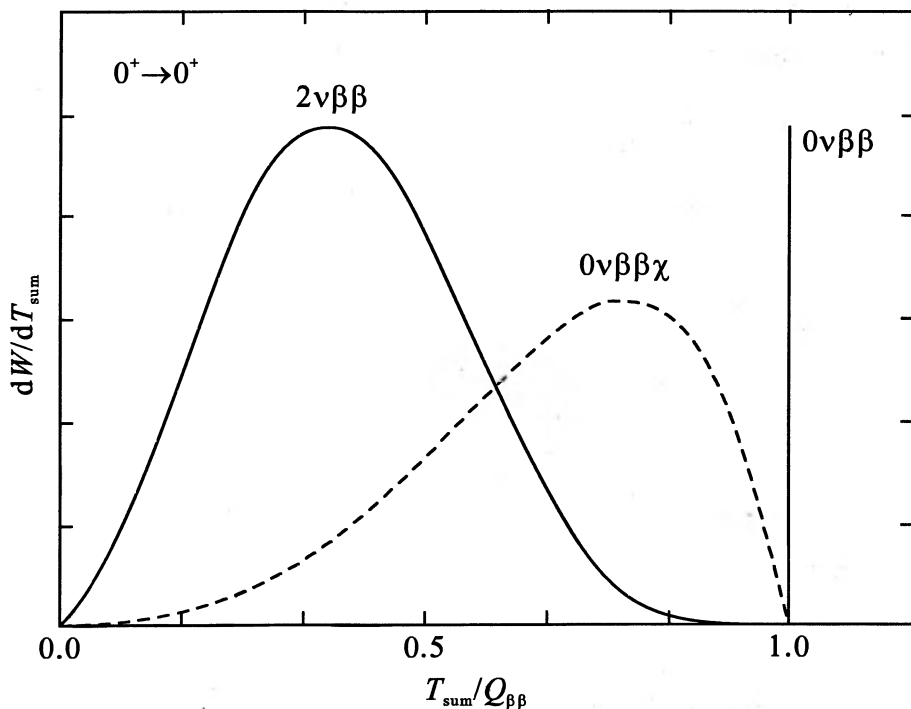
Od tamtego czasu odkryto rozpad  $2\nu 2\beta$  w kolejnych pierwiastkach: germanie  $^{76}\text{Ge}$ :  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (1.42 \pm 0.03^{\text{statyst.}} \pm 0.13^{\text{syst.}}) \times 10^{21}$  lat [16], molibdenie  $^{100}\text{Mo}$ :  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (1.15 \pm 0.30^{\text{statyst.}} \pm 0.20^{\text{syst.}}) \times 10^{19}$  lat [17], kadmie  $^{116}\text{Cd}$ :  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (2.20 \pm \pm 0.7^{\text{statyst.}} \pm 0.4^{\text{syst.}}) \times 10^{19}$  lat [18] i neodymie  $^{150}\text{Nd}$ :  $T_{1/2}^{\beta\beta} = (1.70 \pm 0.50^{\text{statyst.}} \pm \pm 0.35^{\text{syst.}}) \times 10^{19}$  lat [19].

Spśród propozycji nowych technik na uwagę zasługuje idea wykorzystania detektorów termicznych [20], zwłaszcza detektorów kalorymetrycznych. Zaletą metody jest możliwość stosowania źródeł o dużych masach i dobrej rozdzielczo-

ści energetycznej. Używając kriogenicznego detektora bolometrycznego o temperaturze 10 mK grupa Alessandrella z laboratorium Gran Sasso potwierdziła występowanie rozpadu w tellurze  $^{128}\text{Te}$  oraz kadmie  $^{116}\text{Cd}$  [21].

Istotny przełom może spowodować detekcja rozpadu za pomocą wielkoskalowych detektorów z ciekłym scyntylatorem organicznym. R.S. Raghavan zasugerował użycie w pomiarach dużych ilości  $2\beta$ -promieniotwórczego ksenonu (setki do tysiąca kilogramów), rozpuszczonego w takim scyntylatorze [22]. Wydajność detektora powinna znacznie wzrosnąć dzięki skuteczności rejestracji sięgającej 100%, w porównaniu z ok. 20% w detektorach gazowych, przy czym koszty są nieporównywalnie mniejsze.

Osiągnięta czułość aparatury nie pozwala na razie rozstrzygnąć, czy rozpad  $0\nu2\beta$  rzeczywiście występuje, ale wystarczy, by wyznaczać dolną granicę czasu życia w nuklidach podejrzewanych o taki rozpad. Technika obserwacyjna wykorzystuje zasadniczą różnicę między widmem ciągłym rozpadu  $2\nu2\beta$  a spodziewanym widmem liniowym w przypadku rozpadu  $0\nu2\beta$ , o ile mierzona jest suma energii emitowanych elektronów (rys. 2). W procesie bez emisji neutrin suma



Rys. 2. Widma energetyczne elektronów emitowanych w różnych typach rozpadu  $\beta\beta$ ; szczególnie w tekście.

ta powinna być dokładnie równa energii rozpadu, czyli różnicy mas nuklidu wyjściowego i końcowego. Łowcy bezneutrinowego podwójnego rozpadu beta są pełni optymizmu i zapowiadają rozstrzygnięcia w ciągu paru najbliższych lat.

### 3. Teoretyczny opis podwójnego rozpadu beta

Podwójny rozpad beta, jak już mówiliśmy, może przebiegać bez naruszenia lub z naruszeniem zasady zachowania elektronowej liczby leptonowej. W tym drugim przypadku uważa się go za jedno ze zjawisk umożliwiających sprawdzenie zakresu stosowalności modelu Glashowa-Salama-Weinberga. W szczególności może on być użytecznym narzędziem badania własności neutrina. Wydaje się, że szanse na istotne informacje w tej dziedzinie są nie mniejsze niż na podstawie eksperymentów z wykorzystaniem horrendalnie drogich zderzaczy.

W dalszej części artykułu skoncentrujemy się na trzech typach rozpadu wybranych tak, by pokazać zasadnicze związki umożliwiające uzyskiwanie informacji użytecznych zarówno dla ilościowych ocen zakresu stosowalności modelu standardowego oddziaływań, jak również dla falsyfikacji różnych propozycji teoretycznych wychodzących poza model. Będą to:

1) Podwójny rozpad beta z emisją (anty)neutrin (rys. 3a)

$$X(A, Z) \rightarrow Y(A, Z + 2) + e_1^- + e_2^- + \bar{\nu}_{e_1} + \bar{\nu}_{e_2}, \quad (2a)$$

$$X(A, Z) \rightarrow Y(A, Z - 2) + e_1^+ + e_2^+ + \nu_{e_1} + \nu_{e_2}, \quad (2b)$$

w którym zachowuje się ładunek elektryczny i liczba leptonowa. Proces taki jest dozwolony w standardowym modelu oddziaływań.

2) Podwójny rozpad beta z emisją tylko elektronów (lub pozytonów) (rys. 3b)

$$X(A, Z) \rightarrow Y(A, Z \pm 2) + e_1^\mp + e_2^\mp, \quad (3)$$

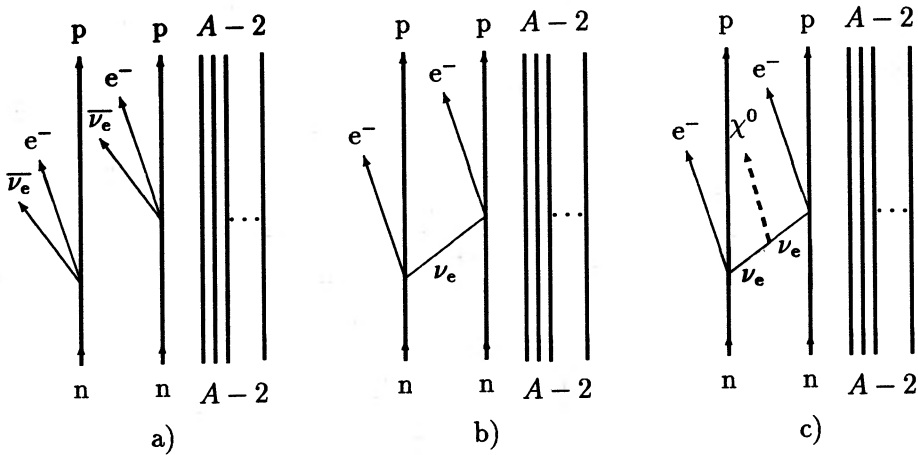
łamający prawo zachowania liczby leptonowej i z tego powodu zabroniony.

3) Bezneutrinowy podwójny rozpad beta z emisją niestandardowych cząstek pojawiających się w różnych modelach wychodzących poza model Salama-Weinberga (rys. 3c)

$$X(A, Z) \rightarrow Y(A, Z \pm 2) + e_1^\mp + e_2^\mp + \chi, \quad (4)$$

gdzie  $\chi$  oznacza właśnie taką egzotyczną cząstkę. Najprostszą realizacją rozpadu jest proces z emisją nienaładowanego bozonu Nambu-Goldstone'a, zwanego w tym przypadku majoronem [23]. Obecność majoronu związana jest ze spontanicznym złamaniem globalnej symetrii zachowującej różnicę między liczbą barionową i liczbą mezonową  $B - L$ . Zgodnie z twierdzeniem Goldstone'a jest on bozonem bezmasowym i może być emitowany w bezneutrinowym podwójnym rozpadzie beta w wyniku „anihilacji” wirtualnego neutrina i antyneutrina.





Rys. 3. Podwójny rozpad beta w mechanizmie dwunukleonowym: a) rozpad z emisją dwu (anty)neutrino; b) rozpad z emisją tylko elektronów; c) rozpad z emisją elektronów i majoronu ( $\chi$ ).

Powszechnie uważa się, że odkrycie rozpadów (3) i (4) będzie bezpośrednim sygnałem fizyki spoza modelu standardowego i to właśnie podtrzymuje trwające wciąż zainteresowanie procesem  $\beta\beta$ .

### 3.1. Mechanizm rozpadu $0\nu 2\beta$

Proces bezneutrinowy (rys. 3b) opisuje się jako wymianę wirtualnego neutrina między dwoma nukleonami (kwarkami) uczestniczącymi w rozpadzie [23-25]. Jest to możliwe wtedy, gdy cząstka (antycząstka) emitowana w pierwszym wierzchołku zostanie zaabsorbowana jako antycząstka (cząstka) w drugim. Oznacza to jednak, iż neutrino musiałoby być, jak pierwszy zauważył G. Racah, fermionem Majorany ( $\nu = \bar{\nu}$ ). Warunek ten nie jest jednak wystarczający, gdyż absorbowana w drugim wierzchołku cząstka powinna mieć przeciwną skrętność. W przypadku bezmasowego neutrina prawo zachowania skrętności na to nie zezwala. Jeżeli proces ma zachodzić, należałoby poszukać mechanizmu dopuszczającego zmianę skrętności w trakcie propagacji neutrina między wierzchołkami. Najbardziej naturalną propozycją jest przypuszczenie, że neutrino jest cząstką obdarzoną masą. W takim przypadku wirtualne neutrino może nabyć domieszkę „złej” skrętności, ponieważ wielkość ta nie jest dla cząstek o niezerowej masie dobrą liczbą kwantową (nie zachowuje się). Dzięki domieszce skrętności, proporcjonalnej do stosunku masy cząstki i jej energii całkowitej  $m_\nu/E_\nu$ , absorpcja neutrina w drugim wierzchołku staje się możliwa. Mówimy wtedy, że mamy do czynienia z mechanizmem masy.

Istnieje również inna możliwość, gdyby dopuścić występowanie oddziaływań typu  $V+A$  (w terminologii Fermiego), nieobecnych w modelu standardowym. W takiej sytuacji prawoskrętne wirtualne neutrino mogłoby zostać również zaabsorbowane w drugim wierzchołku. Sytuację taką nazywa się w literaturze mechanizmem prądów prawoskrętnych.

Przy przejściu od tego fenomenologicznego obrazu do współczesnych teorii oddziaływania słabego pojawia się naturalne pytanie, w jaki sposób mogą zaistnieć neutrino obdarzone masą, lub w jaki sposób poradzić sobie z prawoskrętnymi prądami słabymi. Interesującą kwestią jest również problem, czy można wskazać inne mechanizmy prowadzące do podwójnego rozpadu beta, a także podstawowe pytanie, w jakim sensie pozytywne odpowiedzi na powyższe pytania wymagają rozszerzenia lub wręcz wyjścia poza obecnie akceptowany standardowy model oddziaływania elektroslabego.

Model standardowy<sup>7</sup> wyrósł z prowadzonych w drugiej połowie lat sześćdziesiątych przez A. Salama i S. Weinberga prac nad możliwością zbudowania teorii oddziaływań słabych jako teorii Yanga-Millsa. Zaproponowali oni wówczas jako lokalną symetrię takich oddziaływań grupę  $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ . Z punktu widzenia dalszych rozważań ważne jest jakie cząstki występują w tej propozycji, zwanej często w obecnie przyjmowanej wersji minimalnym modelem standardowym<sup>8</sup>. Występujące tu fermiony zgromadzone są w trzech rodzinach (pokoleniach), z których każda zawiera po lewoskrętnym dublecie kwarków i leptonów:  $(q_1, q_2)_L$ ,  $(l, \nu)_L$  oraz prawoskrętne singlety kwarków i leptonów naładowanych. Wyjątkiem są więc neutrino, nie występujące w postaci singletowej i traktowane tu, w zasadzie *ad hoc*, jako bezmasowe fermiony Diraca.

W minimalnym modelu standardowym rozpad  $0\nu 2\beta$  nie jest możliwy. Naturalnym jego rozszerzeniem, dopuszczającym taki proces, jest przyjęcie tezy, iż obok neutrino lewoskrętnych  $\nu_{lL}$  ( $l = e, \mu, \nu, \dots$ ) występują również neutrino prawoskrętne  $\nu_{lR}$  ( $l = e, \mu, \nu, \dots$ ). Ponadto, kierując się prostotą teorii, należy założyć, że neutrino, jak wszystkie inne fermiony, powinny być cząstkami obdarzonymi masą. W lagranżjanie takiej teorii muszą więc pojawić się człony masowe, w najogólniejszym przypadku dwu typów [23-25]: człony Majorany

$$\mathcal{L}_{m_L} = -\frac{1}{2} \sum_{l,l'} \overline{(\nu_{lL})^c} (\mathcal{M}_L)_{ll'} \nu_{l'L} + \text{h.c.} , \quad (5)$$

$$\mathcal{L}_{m_R} = -\frac{1}{2} \sum_{l,l'} \overline{(\nu_{lR})^c} (\mathcal{M}_R)_{ll'} \nu_{l'R} + \text{h.c.} \quad (6)$$

<sup>7</sup> Szersze omówienia tła i podstaw modelu można znaleźć w artykułach publikowanych od lat w *Postęпах Fizyki*, m.in. w wykładzie noblowskim A. Salama [26].

<sup>8</sup> W chwili obecnej żadne znane testy doświadczalne nie wskazują na potrzebę wyjścia poza ten model.

oraz człon Diraca

$$\mathcal{L}_{m_D} = -\frac{1}{2} \sum_{\Pi'} \overline{(\nu_{L})^c} (\mathcal{M}_D)_{\Pi'} \nu_{R'} + \text{h.c.} \quad (7)$$

Symetryczna macierz masy

$$\mathcal{M} = \begin{pmatrix} \mathcal{M}_L & \mathcal{M}_D^T \\ \mathcal{M}_D & \mathcal{M}_R \end{pmatrix} \quad (8)$$

zawiera zarówno element  $\mathcal{M}_D$ , zachowujący sumę liczb leptonowych poszczególnych zapachów, jak też elementy  $\mathcal{M}_L$  i  $\mathcal{M}_R$ , łamiące to prawo zachowania. Z kształtu członów masowych (5-7) wynika, iż dla  $\mathcal{L}_{m_L}$  nie istnieje cechowanie zachowujące niezmienniczość lagranżjanu oddziaływania. W ogólnym przypadku wykluczone jest zatem występowanie w minimalnym modelu standardowym prawa zachowania jakiejś liczby leptonowej, odróżniającej neutrino od antyneutrino. Inaczej mówiąc, neutrino obdarzone masą muszą być konsekwentnie cząstkami Majorany.

Wartości własne macierzy (8) są rzeczywiste, ale niekoniecznie wszystkie dodatnie, można więc wprowadzić dodatkową fazę  $\epsilon_j = \pm 1$ , która zapewnia dobrze uzasadniony fizycznie warunek dodatniej określoności masy neutrin:  $m_j \geq 0$ . Faza ta ma znaczenie wewnętrznej parzystości CP neutrin. Odpowiadające masom  $m_j$  stany własne  $N_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 2n$ ) opisują cząstki Majorany [23]. Nie sprzęgają się one, a dokładniej ich chiralne rzuty  $N_{jL}$  i  $N_{jR}$ , bezpośrednio z bozonami pośredniczącymi  $W_L^\pm$  lub ich hipotetycznymi prawoskrętnymi partnerami  $W_R^\pm$ , gdyż w oddziaływaniu słabym uczestniczą stany własne oddziaływania  $\nu_{L}$  i  $\nu_{R}$ , zwane neutrinami prądowymi. Obie reprezentacje neutrin związane są (hipoteza mieszania neutrin) unitarną macierzą mieszania, analogiczną do macierzy Kobayashiego-Maskawy dla kwarków

$$\nu_L = U N_L, \quad (9a)$$

$$\nu_R = V N_R. \quad (9b)$$

Macierz mieszania pozwala zdefiniować różne parametry efektywne wykorzystywane przy wyprowadzaniu wzorów na amplitudę rozpadu  $\beta\beta$  [23,24], np. masę efektywną lekkiego neutrina

$$\langle m_\nu \rangle = \sum_j' \epsilon_j m_j U_{ej}^2, \quad (10a)$$

efektywne wkłady od naładowanych prądów prawoskrętnych

$$\langle \lambda \rangle = \lambda \sum_j' \epsilon_j U_{ej} V_{ej}, \quad (10b)$$

$$\langle \eta \rangle = \lambda \sum_j' \epsilon_j U_{ej} V_{ej} , \quad (10c)$$

czy efektywne sprzężenie neutrino z majoronem

$$\langle g_{\nu\chi} \rangle = \sum_{ij}' \frac{1}{2} (g_{ij}\epsilon_i + g_{ji}\epsilon_j) U_{ei} U_{ej} . \quad (10d)$$

Symbol  $\sum'$  oznacza sumowanie tylko po lekkich neutrinach ( $m_j \leq 10$  MeV). Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie włączeniu do teorii ciężkich neutrin ( $m_j > 10$  MeV), ale mają one dla procesu podwójnego rozpadu beta mniejsze znaczenie. Bezwymiarowe stałe<sup>9</sup>  $\lambda$  i  $\eta$  pojawiają się bezpośrednio w definicji efektywnego oddziaływania odpowiedzialnego za rozpad  $\beta\beta$  (por. (11)), zaś  $g_{ij}$  określają natężenie oddziaływania neutrino z niestandardowymi cząstkami typu bozonu Nambu-Goldstone'a.

Z zależności (10a) widać, iż w przypadku, gdy neutrino elektronowe jest jednocześnie stanem własnym macierzy masy, efektywny parametr  $\langle m_\nu \rangle$  równa się po prostu masie takiego neutrino. W teoriach zawierających ponadto neutrino innych rodzajów (zapachów) może wystąpić wzajemne znoszenie się wkładów poszczególnych stanów  $N_j$ . Wtedy rzeczywiste masy neutrin mogą być większe niż masa efektywna. W szczególności  $\langle m_\nu \rangle$  znika dla neutrino Diraca  $\nu_e$ , gdyż można je przedstawić jako kombinację dwu zdegenerowanych stanów masowych Majorany z przeciwną parzystością CP. Oczywiście rozpad  $0\nu 2\beta$  w takim przypadku nie może zachodzić (o ile ograniczamy się tylko do mechanizmu masy). Również w modelach zawierających jedynie bezmasowe neutrino znika efektywna masa  $\langle m_\nu \rangle$ . Można wykazać, że wtedy zerują się również parametry efektywne  $\langle \lambda \rangle$  i  $\langle \eta \rangle$ , a to prowadzi ponownie do całkowitego zakazu rozpadu  $0\nu 2\beta$  [27]. Z powyższej dyskusji wynika zatem jednoznacznie, że zaobserwowanie bezneutrinowego rozpadu  $\beta\beta$  oznaczać będzie występowanie w przyrodzie przynajmniej jednej generacji neutrin Majorany obdarzonych masą. Stąd powszechnie uważa się go za jedyny test występowania takich neutrin możliwy obecnie do przeprowadzenia [27,28]<sup>10</sup>.

Sięgając poza fenomenologię macierzy masy można zastanawiać się, w jaki sposób mechanizm spontanicznego łamania symetrii może prowadzić do nadania

<sup>9</sup> Stałe te można powiązać bezpośrednio z fizyką niestandardową. Na przykład stałą  $\lambda$  daje się wyrazić jako stosunek masy standardowego bozonu pośredniczącego  $W_L$  i masy jego hipotetycznego partnera  $W_R$ .

<sup>10</sup> I to niezależnie od tego, czy inne procesy z udziałem higgsonów, cząstek supersymetrycznych lub prawoskrętnych neutrin wnoszą wkład do amplitudy rozpadu  $0\nu 2\beta$ . Por. rozdz. 11.6 w *Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics* [25].

masy neutrinom oraz jak to się dzieje, iż neutrino mają w porównaniu z naładowanymi leptonami tak małą masę. Tematy te przekraczają jednak przyjęte ramy artykułu, a dobrą okazją do ich omówienia może być np. ewentualne potwierdzenie występowania oscylacji neutrin. W tym miejscu zaznaczę jedynie, że człony masowe typu Majorany mogą pojawić się po spontanicznym złamaniu symetrii, o ile skomplikujemy sektor Higgosa dopuszczając także naładowane higgsy [27,29]. Małą wartość masy neutrina elektronowego tłumaczy natomiast tzw. mechanizm huśtawki (see-saw mechanism) [30], w którym wykorzystujemy fakt, iż lewo- i prawoskrętne neutrino Majorany zamiast utworzyć neutrino Diraca mogą, każde z osobna, nabyć odpowiednio bardzo małą i bardzo dużą masę. Wymaga się przy tym, by oddziaływanie miało przynajmniej symetrię cechowania  $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)$  [31].

### 3.2. Czasy życia

Rozpad  $0\nu 2\beta$  mógłby zachodzić dzięki wskazanym wyżej mechanizmom masy i/lub naładowanych słabych prądów prawoskrętnych. Najogólniejszy hamiltonian opisujący proces zawierać powinien wszystkie sprzężenia lewo- i prawoskrętnych prądów hadronowych  $J_{L(R)}$  i słabych  $j_{L(R)}$  [23]:

$$H_W = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \left[ j_L^\alpha \left( J_{L\alpha}^\dagger + \kappa J_{R\alpha}^\dagger \right) + j_R^\alpha \left( \eta J_{L\alpha}^\dagger + \lambda J_{R\alpha}^\dagger \right) \right]. \quad (11)$$

Stałe  $\kappa$ ,  $\eta$  i  $\lambda$ , jak widać z postaci (11), mierzą bezpośrednio odstępstwa od minimalnego modelu standardowego, kładąc bowiem  $\kappa = \eta = \lambda = 0$  otrzymuje się teorię Salama-Weinberga oddziaływania słabego.

Amplitudę rozpadu z emisją neutrin można otrzymać zakładając, że proces przebiega w jądrze atomowym dzięki wirtualnym przejściom typu (głównie) Gamowa-Tellera, odbywającym się poprzez wzbudzone stany  $1^+$  jądra pośredniego. Prosty w tym wypadku operator jądrowy ma postać  $\sum_i \sigma_i \tau_{i+}$ , gdzie  $\sigma_i$  jest macierzą Pauliego, zaś  $\tau_{i+}$  operatorem izospinu zmieniającym pojedynczy neutron w proton. Ze względu na izospin stanów jądra pośredniego, w ogólności różny od izospinu stanu podstawowego jądra ulegającego rozpadowi, zanedbywalną rolę odgrywają przejścia typu Fermiego, za które jest odpowiedzialny operator  $\sum_{i,j} \tau_i \tau_j$ . Po dodatkowych uproszczeniach związanych z uśrednieniem energii leptonów uczestniczących w procesie, wyrażenie na okres połowicznego zaniku daje się sprowadzić do iloczynu trzech czynników: zależnego tylko od przestrzeni fazowej dostępnej leptonom (część kinematyczna), związanego ze strukturą jąder uczestniczących w reakcji (część jądrowa) oraz zależnego od parametrów efektywnych zdefiniowanych wzorami (10a-d), charakterystycznych dla danego modelu oddziaływania słabego.

W przypadku rozpadu  $2\nu 2\beta$  otrzymujemy [23]:

$$(T_{1/2}^{2\nu})^{-1} = G^{2\nu}(E_0, Z) \left| M_{GT}^{2\nu} - \left( \frac{g_V}{g_A} \right)^2 M_F^{2\nu} \right|^2. \quad (12)$$

$G^{2\nu}$  oznacza tu czynnik kinematyczny, zależny tylko od energii  $E_0$  dostępnej w rozpadzie, a więc od różnicy mas nuklidu początkowego i końcowego,  $M_{GT}^{2\nu}$  i  $M_F^{2\nu}$  są jądrowymi elementami macierzowymi (dyskutowanymi w rozdz. 3.3), zaś  $g_V$  oraz  $g_A$  oznaczają stałe sprzężenia wektorowego i aksjalnego prądu jądrowego. W ogólności rozpad  $2\nu 2\beta$  może zachodzić do stanów wzbudzonych jądra końcowego, ale dla przejrzystości rozważań nie będę przytaczał bardziej skomplikowanych w tym przypadku wzorów<sup>11</sup>.

Wykorzystując przybliżenia w potencjale przechodzącego przez materię jądrową neutrino uzasadnione warunkami energetycznymi, można otrzymać podobną formułę na odwrotność okresu połowicznego rozpadu w przypadku bezneutrinowego rozpadu beta [24]

$$(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = C_1 \frac{\langle m_\nu \rangle}{m_e^2} + C_2 \langle \lambda \rangle \frac{\langle m_\nu \rangle}{m_e} \cos \Psi_1 + C_3 \langle \eta \rangle \frac{\langle m_\nu \rangle}{m_e} \cos \Psi_2 + \\ + C_4 \langle \lambda \rangle^2 + C_5 \langle \eta \rangle^2 + C_6 \langle \lambda \rangle \langle \eta \rangle \cos(\Psi_1 - \Psi_2), \quad (13)$$

W tym przypadku czynnik kinematyczny i odpowiednie jądrowe elementy macierzowe tworzą kombinacje skrótowo oznaczone  $C_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ). Na przykład ([33])

$$C_1 = G^{0\nu}(E_0, Z) \left| M_{GT}^{0\nu} - \frac{g_V^2}{g_A^2} M_F^{0\nu} \right|^2, \quad (14)$$

gdzie  $M_{GT}^{0\nu}$  i  $M_F^{0\nu}$  oznaczają tym razem elementy macierzowe Gamowa-Tellera i Fermiego dla rozpadu bezneutrinowego. Parametry użyte we wzorze (13) są efektywnymi stałymi zdefiniowanymi wcześniej (wzory (10a-d))<sup>12</sup>. Kąty fazowe  $\Psi_1$  i  $\Psi_2$  ze względu na brak łamania wewnętrznej parzystości CP są równe 0 lub  $\pi$  i dalsze rozważania dotyczyć będą tylko tego ograniczenia.

Warto w tym miejscu podkreślić, że wzór (13) jest wyrażeniem ogólnym, a to, jakie procesy fundamentalne zostały tu włączone, zależy od przyjętego modelu oddziaływania słabego, w tym od rodzaju i liczby rozważanych neutrino oraz

<sup>11</sup> Ponieważ w rozpadzie do końcowych stanów wzbudzonych cała fazowa  $G^{2\nu}$  jest o kilka rzędów wielkości mniejsza, czas życia wydłuża się znacznie [32]. Uzasadnia to również mniejsze w chwili obecnej zainteresowanie procesem ze strony eksperymentatorów. Por. także dyskusję w rozdz. 4.

<sup>12</sup> Dla przejrzystości opuszczona została zależność od  $\langle \kappa \rangle$ , gdyż przyczynę pochodzący od oddziaływania naładowanego lewoskrętnego prądu słabego i prawoskrętnego prądu hadronowego jest przynajmniej o rząd wielkości mniejszy od pozostałych wkładów.

konkretnej postaci hamiltonianu (11) [23,25]. W różnych modelach modyfikacji podlegają poszczególne parametry efektywne ( $\langle m_\nu \rangle$ ,  $\langle \lambda \rangle$ ,  $\langle \eta \rangle$ ), lub pojawiają się nowe. Tak dzieje się, gdy wprowadzimy np. ciężkie neutrino lub tzw. neutrino sterylne [27] i rozważamy symetrie inne niż obowiązujące w minimalnym modelu standardowym.

W rozpadzie  $0\nu 2\beta\chi$  nie występuje emisja neutrin, może natomiast być wyrzucana jakaś niestandardowa cząstka, np. majoron. Obecnie w różnych modelach wielkiej unifikacji, w tym w modelach supersymetrycznych, rozważa się kanały z udziałem naładowanych bozonów Higgsa, naładowanych bozonów Nambu-Goldstone'a, a także cząstek supersymetrycznych takich jak fotina, gluina, neutralina i gaugina [34]. Ze względu na liczbę cząstek końcowych (2 elektrony i bozon) zmianie ulega tylko czynnik kinematyczny, zatem odwrotność okresu połowicznego rozpadu wynosi [22]:

$$\left(T_{1/2}^{0\nu\chi}\right)^{-1} = G^{0\nu\chi}(E_0, Z) \left| M_{\text{GT}}^{0\nu} - \frac{g_V^2}{g_A^2} M_{\text{F}}^{0\nu} \right|^2 \langle g_{\nu\chi} \rangle^2, \quad (15)$$

gdzie  $\langle g_{\nu\chi} \rangle$  oznacza efektywną stałą sprzężenia (10d). Porównanie z oszacowaniami doświadczalnymi czasu życia ze względu na ten proces, a właśnie pojawiły się takie możliwości [35], może zaowocować bardzo użyteczną informacją dotyczącą różnorodnych aspektów fizyki niestandardowej, niedostępnych jeszcze w eksperymentach akceleratorowych [34] (por. rozdz. 4).

### 3.3. Jądrowe elementy macierzowe

Kluczem do porównania teorii z doświadczeniem są obliczenia jądrowych elementów macierzowych, gdyż jak widać ze wzorów (12-15) czas życia zależy od nich bezpośrednio. Zgrubne oszacowanie czasu życia można otrzymać na podstawie złotej reguły Fermiego zakładając jednocześnie, że szczegółowa struktura stanów jądra pośredniego nie odgrywa większej roli<sup>13</sup>:

$$\left(T_{1/2}^{2\nu}\right)^{-1} \approx \frac{2\pi}{\hbar \ln 2} G_{\text{F}}^4 \frac{|M_{\text{zup}}|^2}{(\Delta E)^2} T_0 \frac{(4\pi)^4}{(2\pi)^{12}}, \quad (16)$$

gdzie  $T_0$  jest energią kinetyczną dostępną leptonom,  $M_{\text{zup}}$  – bezwymiarowym jądrowym elementem macierzowym, zaś  $\Delta E$  średnią energią wzbudzeń jądrowych.

<sup>13</sup> Co jest równoznaczne z tzw. przybliżeniem zupełności, gdy przyjmujemy, iż wszystkie stany wzbudzone jądra pośredniego są zdegenerowane z pewną energią średnią  $\Delta E$ . Przybliżenie zupełności nie jest poprawne, choć dla oszacowań wystarczające: prowadzi do amplitud obciążonych błędem nie większym niż jeden rząd wielkości [36].

Podstawiając wartości stałych oraz przyjmując  $T_0 = 2 \text{ MeV}$ ,  $\Delta E = 10 \text{ MeV}$ , otrzymamy

$$T_{1/2}^{2\nu} \approx 3 \times 10^{18} |M_{\text{zup}}|^{-2} \text{ lat} . \quad (17)$$

Ponieważ laboratoryjne pomiary dają, jak widzieliśmy, czasy życia rzędu  $10^{19} - 10^{24}$  lat, element macierzowy  $M_{\text{zup}}$  musi być mniejszy od jedności ( $10^{-3} - 1.0$ ). Oznacza to jednak, iż rzetelne jego oszacowanie wymaga uwzględnienia bardzo małych i słabo znanych składowych wielociałowej funkcji falowej jąder atomowych biorących udział w rozpadzie.

Dokładniejsze rozważania prowadzą do wniosku, że jądrowe elementy macierzowe zawierają przyczynki pochodzące od wirtualnych przejść przez wszystkie stany wzbudzone  $|m\rangle$  o energii  $E_m$  ( $m = 1, 2, \dots$ ) jądra pośredniego:

$$M_{\text{GT}}^{2\nu} = \sum_m \frac{\langle f | \sigma \tau_+ | m \rangle \langle m | \sigma \tau_+ | i \rangle}{E_m - (M_i + M_f)/2} , \quad (18)$$

$$M_{\text{F}}^{2\nu} = \sum_m \frac{\langle f | \tau_+ | m \rangle \langle m | \tau_+ | i \rangle}{E_m - (M_i + M_f)/2} . \quad (19)$$

$|i\rangle$  i  $|f\rangle$  oznaczają tu stany podstawowe odpowiednio nuklidu wyjściowego ( $A, Z$ ) i potomnego ( $A, Z + 2$ ) z masami  $M_i$  i  $M_f$ .

Podobne wyrażenia można otrzymać dla jądrowych elementów macierzowych w pozostałych typach rozpadu. Tym razem wyrażenia są bardziej skomplikowane, gdyż występuje w nich bezpośrednio potencjał  $H_\nu$  oddziaływania wirtualnego neutrina z materią jądrową. Dla przejść Gamowa-Tellera zmodyfikowany element macierzowy będzie miał postać:

$$M_{\text{GT}}^{0\nu} = \langle f | \sum_{l,k} \sigma_l \sigma_k \tau_l^+ \tau_k^+ H_\nu(r_{kl}, E_m) | i \rangle , \quad (20)$$

przy czym potencjał  $H_\nu$  propagującego neutrina zależy od względnej odległości  $r_{kl}$  między parą nukleonów oraz od energii wzbudzeń jądrowych  $E_m$ .

Wyznaczenie wartości jądrowych elementów macierzowych wymaga zastosowania metod teoretycznej fizyki jądrowej. Najlepiej byłoby, gdyby rachunek udało się przeprowadzić w ramach modelu powłokowego, w którym używamy dobrze znanych oddziaływań efektywnych, sprawdzonych w przypadku innych reakcji i procesów jądrowych. I rzeczywiście: obliczenia tego typu, wykonane dla wapnia  $^{48}\text{Ca}$ , wykazują doskonałą zgodność z doświadczeniem [37]. Niestety, ze względu na szybko rosnącą liczbę koniecznych do uwzględnienia stanów jednocząstkowych, problemy numeryczne uniemożliwiają przeprowadzenie obliczeń dla cięższych nuklidów. Obecnie rachunki w ramach modelu powłokowego nie wykraczają poza jądra z liczbę masowa  $A \approx 100$ . Poza tym stałą bolączką tego typu



obliczeń jest również i to, iż dla cięższych jąder dają one oszacowania permanentnie o 1–2 rzędy wielkości za duże.

W ostatnich latach najpowszechniej stosuje się w rachunkach kwazicząstkowe przybliżenie fazy przypadkowej (QRPA – Quasiparticle Random Phase Approximation). Metoda ta, prostsza rachunkowo niż model powłokowy, pozwala uwzględnić (przynajmniej półjakościowo) stany jądra pośredniego uczestniczącego w rozpadzie [36]. Stany takie, generowane jako wzbudzenia jednofononowe, tworzą się w wyniku oddziaływania pewnej liczby protonów i neutronów pozostających poza nieaktywnym rdzeniem. Równocześnie stan podstawowy jądra wyjściowego i potomnego (oba jądra są parzysto-parzyste) można przybliżyć dostatecznie wiarygodną funkcją BCS, uwzględniającą najważniejsze w takim przypadku oddziaływanie wiążące nukleony w pary (oddziaływanie pairing).

W drugiej połowie lat osiemdziesiątych okazało się, że metoda QRPA pozwala znacznie lepiej niż model powłokowy opisać procesy podwójnego rozpadu beta z emisją neutronu, dając jądrowe elementy macierzowe o wartościach zbliżonych do doświadczalnych. Pewnym brakiem tego podejścia jest zbyt silna zależność od parametru charakteryzującego natężenie oddziaływania protonowo-neutronowego: w miarę jego wzrostu obserwujemy drastyczne obniżenie wartości elementów macierzowych Gamowa-Tellera. Dla oddziaływań realistycznych, wynikających na przykład z potencjału Bonn, jądrowe elementy macierzowe stają się równe zero w pobliżu fizycznie oczekiwanej wartości tego parametru równej 1.0, co czyni przewidywania czasów życia bardzo niepewnymi [38].

W ciągu ostatnich pięciu lat teoretycy z Jyväskylä, Lublina i Tybingi, oraz z Heidelbergu i Pasadeny włożyli sporo wysiłku w uściślenie wpływu struktury jądrowej na wartości jądrowych elementów macierzowych. Przebadano m.in. wpływ struktury stanów jednocząstkowych [32], rzutowania na przestrzeń z dobrą liczbą cząstek<sup>14</sup> [39], stosowania poprawek wynikających z wyższych rzędów QRPA [40], wprowadzenia dodatkowego oddziaływania pairing między protonami i neutronami [41] oraz uwzględnienia zakazu Pauliego w stosowanej metodzie QRPA [42]. Wszystkie te badania umożliwiają coraz dokładniejszy opis procesu podwójnego rozpadu beta od strony jądrowej i uzasadniają wzrastające zaufanie do przewidywań teoretycznych: elementy macierzowe obliczone przez różnych autorów różnią się nie więcej niż o czynnik 2, co wskazuje na dostatecznie już wiarygodne oszacowania ich wartości.

Zaznaczyłem wyżej, że podejście QRPA cechuje nieprzyjemna własność, polegająca na zbyt silnej zależności od natężenia oddziaływania proton-neutron

---

<sup>14</sup> Pamiętajmy, że przybliżenie BCS zachowuje liczbę nukleonów tylko jako wartość średnią, co powoduje, że generowane stany wzbudzone zawierają domieszki stanów jąder sąsiednich z  $N \pm 1$ ,  $Z \pm 1$ .

w kanale cząstka-cząstka. W pewnym stopniu można temu zaradzić wykorzystując inne reakcje i procesy jądrowe: dozwolony i wzbroniony pojedynczy rozpad beta [43], jądrowe wzbudzenia jedno- i dwufononowe [44], reakcje podwójnej wymiany ładunku z pionami [45]. Ustalając na podstawie takiej dodatkowej informacji doświadczalnej szczegóły struktury jądrowej, w tym wartość wspomnianego parametru określającego natężenie oddziaływania między protonami i neutronami, jesteśmy w stanie wyznaczać z dostateczną dokładnością elementy macierzowe, potrzebne do dalszych analiz.

#### 4. Podwójny rozpad beta a fizyka niestandardowa

Wzory (13-15) pokazują, że amplituda rozpadu  $0\nu2\beta$  zależy od trzech czynników: dokładnie znanej całki fazowej, jądrowych elementów macierzowych, których jakość oszacowań omówiliśmy powyżej, oraz parametrów charakteryzujących odstępstwa od minimalnego modelu standardowego i/lub nową fizykę niestandardową. Dysponując doświadczalnymi ograniczeniami dla czasów życia, możemy zatem wnioskować na podstawie tych wzorów o dopuszczalnych wartościach parametrów niestandardowych. Jeżeli nawet uwzględnimy, że elementy macierzowe są znane z dokładnością do czynnika 2, to i tak wydedukowana informacja okazuje się użyteczna np. przy eliminowaniu niektórych pomysłów wielkiej unifikacji jako niezycznych [34].

W tabeli 2 znalazły się przykładowe oszacowania czasu życia ze względu na rozpad  $0\nu2\beta$  w różnych modelach jądrowych, przy czym założono, że dominujący wkład do procesu pochodzi od mechanizmu masy neutrino elektronowego:  $\eta = \lambda = 0.0$ ,  $\langle m_\nu \rangle \approx 1.0 \text{ eV} = m_{\nu_e}$ . Jak widać, przewidywane czasy życia odpowiadają zupełnie nieźle danym doświadczalnym, co jest zachętą, by sytuację odwrócić i na podstawie doświadczalnej wartości dolnej granicy okresu połowicznego rozpadu ocenić górne ograniczenia wartości masy neutrino. W analizach przeprowadzonych przez autora i kolegów z Janiny oraz Tybingi [33] otrzymano oszacowania masy leżące w przedziale 1 – 50 eV, zależnie od jakości danych doświadczalnych. Kompilacja wyników różnych grup pozwala stwierdzić, iż jeśli neutrino ma masę spoczynkową, to nie jest ona większa<sup>15</sup> niż 0.3 eV.

Wobec planowanego na najbliższe lata wzrostu czułości aparatury pomiarowej oraz postępu w technikach opisu struktury jądrowej spodziewamy się przesunięcia granic oszacowań masy neutrino do ok. 0.01 eV. Oznacza to, że albo

<sup>15</sup> Pamiętać przy tym należy, iż ograniczenie odnosi się do masy efektywnej  $\langle m_\nu \rangle$ . Poszczególne stany własne  $N_j$  macierzy masy mogą odpowiadać większym masom (por. dyskusję w rozdz. 3.1).

Tabela 2. Czasy życia (w latach) w bezneutrinowym  $\beta\beta$ -rozpadzie germanu, selenu oraz telluru. Dane doświadczalne cytowane za [46] <sup>(a)</sup>; [47] <sup>(b)</sup>; [21] <sup>(c)</sup>. W oszacowaniach teoretycznych czasu życia przyjęto  $\langle m_\nu \rangle = 1.0$  eV.

Jądro	<sup>76</sup> Ge	<sup>82</sup> Se	<sup>128</sup> Te	<sup>130</sup> Te	
model powłokowy	$1.7 \times 10^{24}$	$5.8 \times 10^{23}$	$4.0 \times 10^{24}$	$1.6 \times 10^{23}$	[48]
model seniority	$2.3 \times 10^{24}$	$9.2 \times 10^{23}$	$4.5 \times 10^{24}$	$2.4 \times 10^{23}$	[49]
QRPA	$2.2 \times 10^{24}$	$1.3 \times 10^{24}$	$2.7 \times 10^{24}$	$9.2 \times 10^{22}$	
Wartość dośw.	$> 1.9 \times 10^{24}$ <sup>(a)</sup>	$> 2.7 \times 10^{22}$ <sup>(b)</sup>	—	$> 1.8 \times 10^{22}$ <sup>(c)</sup>	

bezneutrinowy podwójny rozpad beta zostanie laboratoryjnie odkryty, albo przestanie być źródłem użytecznej informacji o fizyce neutrina. Tak kategoryczne stwierdzenie wynika z faktu, że nie będzie nigdy możliwe zredukowanie tła do takiego poziomu lub zastosowanie tak olbrzymich objętościowo i masowo detektorów, by proces rozpadu, w którym uczestniczyłyby lżejsze neutrina, mógł być laboratoryjnie zarejestrowany.

Rozważania podobne do przedstawionych powyżej pozwalają określać ograniczenia nakładane przez rozpad  $0\nu 2\beta$  na inne omawiane parametry fizyki niestandardowej (patrz np. [33,34]):

$$|\langle \eta \rangle| \leq (1 - 5) \times 10^{-8}, \quad (21a)$$

$$|\langle \lambda \rangle| \leq (1 - 5) \times 10^{-6}, \quad (21b)$$

$$|\langle g_{\nu\chi} \rangle| \leq (2 - 5) \times 10^{-5}. \quad (21c)$$

Można również oszacować masę ciężkiego prawo- i lewoskrętnego neutrina [33]:

$$\left\langle \frac{1}{M_N} \right\rangle_L^{-1} > 6.7 \times 10^6 \text{ GeV}, \quad \left\langle \frac{1}{M_N} \right\rangle_R^{-1} > 6.7 \times 10^4 \text{ GeV}. \quad (22)$$

Ostatnio pojawiły się (jeszcze bardzo niedokładne) dane dotyczące rozpadów do stanów wzbudzonych jądra potomnego, np. do stanów  $2_1^+$ ,  $4_1^+$  w selenie <sup>82</sup>Se, germanie <sup>76</sup>Ge oraz kadmie <sup>116</sup>Cd [50]. Spekuluje się, że proces taki zachodzi w mechanizmie słabych prądów prawoskrętnych [51], więc jego laboratoryjna obserwacja dostarczyłaby bezpośredniego dowodu na istnienie hipotetycznych bozonów pośredniczących  $W_R^\pm$  i umożliwiła określenie ich masy. Niestety, dokładność konieczna w tym przypadku leży jeszcze poza zasięgiem doświadczalnym.

Analogiczne stwierdzenia można odnieść do badań rozpadu w modelach supersymetrycznych, w których partnerzy znanych obecnie cząstek, różniący się

od nich spinem  $\hbar/2$ , umożliwiając zajście procesu  $0\nu 2\beta$  [25,52]. Szacowanie mas cząstek supersymetrycznych na podstawie dolnej granicy czasu życia  $0\nu 2\beta$  jest już obecnie możliwe i pozwala nawet wyciągnąć wniosek, że reżim pracy zderzacza HERA nie sięgnie prawdopodobnie zakresu mas interesującego dla takiej fizyki [34,53].

## 5. Zakończenie

Po upływie 50 lat od pierwszych sugestii podwójny rozpad beta z emisją neutrin został laboratoryjnie zaobserwowany. Trzeba jednak z naciskiem powiedzieć, iż drugi z możliwych rozpadów – bezneutrinowy rozpad beta stanowi wciąż wyzwanie dla fizyków doświadczalnych<sup>16</sup>. Ponieważ nie istnieją ostateczne rozstrzygnięcia dotyczące tego, czy neutrino jest cząstką obdarzoną masą, jak również nie ma odpowiedzi na pytanie o charakter tego fermionu, wartościowym źródłem takiej wiedzy pozostanie w najbliższych latach podwójny rozpad beta i fizyka jądrowa.

Na zakończenie wspomnieć wypada również o innych procesach związanych z ewentualną masą neutrin elektronowych. Od lat prowadzone są badania rozpadu beta trytu, w których nie można wprawdzie rozstrzygać, jakiego typu cząstką jest neutrino (Diraca czy Majorany), ale można dokonać niezależnego od stanu teorii struktury jądrowej oszacowania jego masy. Najnowsze wyniki wskazują, iż nie jest ona większa niż 7.2 eV [54]. Chociaż wartość ta przekracza o rząd wielkości oszacowania wykonane na podstawie pomiarów czasów życia w podwójnym rozpadzie beta, oba rezultaty nie są sprzeczne (por. przypis 15).

Innym ewentualnym zjawiskiem charakterystycznym dla neutrin obdarzonych masą są ich oscylacje. Dla takich neutrin istnieje bowiem skończone prawdopodobieństwo przejścia z jednego zapachu w inny. Jest to proces podobny do zaobserwowanych oscylacji  $\bar{K}^0 - K^0$  neutralnych kaonów. Prawdopodobieństwo oscylacji zależy od drogi propagacji oraz – co ważniejsze – od różnicy kwadratu mas obu rodzajów neutrin  $\Delta m^2 = m_1^2 - m_2^2$ . Obecnie są silne podstawy do przypuszczeń, że oscylacje neutrin wyjaśnią dwie grupy zagadkowych do tej pory obserwacji. Przede wszystkim przypuszcza się, że dzięki mechanizmowi Mikheyeva-Smirnova-Wolfensteina [55], opisującemu oscylacje neutrin podczas przechodzenia przez materię gęstą, będzie możliwe zrozumienie mierzonego nie-

<sup>16</sup> Od pewnego czasu wtajemniczeni w kulisy eksperymentalnej kuchni powtarzają, że są pierwsze oznaki odkrycia rozpadu  $0\nu 2\beta$ . Miałoby o tym świadczyć rejestrowanie monoenergetycznych par elektronów w germanie o energii równej dokładnie 2.0387 MeV, czyli różnicy mas atomów selenu  $^{76}\text{Se}$  i germanu  $^{76}\text{Ge}$ . Pamiętajmy jednak, że od pierwszego doniesienia Michaela Moe do powszechnego uznania odkrycia rozpadu  $2\nu 2\beta$  upłynęło ponad 7 lat.

doboru strumienia neutrin produkowanych przez Słońce w reakcjach jądrowych. Odnosi się to także do zarejestrowanych anomalii strumienia neutrin z supernowej 1987A. Uzgodnienie obserwacji z obliczeniami wykonanymi w ramach standardowego modelu Słońca wymaga przyjęcia, że  $\Delta m^2$  jest rzędu  $10^{-8} - 10^{-5} \text{ eV}^2$  [56]. Kolejna anomalia, tzw. anomalia neutrin atmosferycznych, powstających w wysokich warstwach atmosfery w oddziaływaniu z promieniowaniem kosmicznym, narzuca natomiast warunek  $\Delta m^2 \approx 10^{-2} \text{ eV}^2$  [57]. Pojawiły się ostatnio również doniesienia o bezpośredniej obserwacji ubytku neutrin mionowych wytwarzanych w oddziaływaniu wiązki pionów z tarczą wodną [58]. Analiza wczesnych etapów ewolucji Wszechświata oraz tworzenia się galaktyk sugeruje natomiast, że przynajmniej neutrina dwu pokoleń powinny być obdarzone masą około 2.5 eV [59].

Jeżeli połączymy ze sobą wszystkie te przesłanki i dane doświadczalne oraz zakorzenione wśród fizyków przekonanie, iż prawdziwa teoria powinna być prosta i zawierać proste symetrie, to nie dziwi przekonanie, iż minimalny model standardowy nie jest dobrym kandydatem na ostateczną teorię oddziaływań, w tym oddziaływania neutrina z materią. Nie powinno też być rzeczą zaskakującą, iż ciągle „prześladowanie” najbardziej nieuchwytnego i tajemniczego fermionu – neutrina odżyło w ostatniej dekadzie z taką siłą: fizycy parający się tą tematyką wierzą, że ich uparte wysiłki zaowocują informacjami o kapitalnym znaczeniu dla naszych poglądów na strukturę materii. Odkrywca rozpadu  $2\nu 2\beta$ , zastrzegając, iż jest to ocena bardzo optymistyczna, twierdzi, że zastosowanie wielotonowych źródeł przesunie granice oszacowania masy neutrina do 0.01 – 0.001 eV, a tym samym znacznie polepszy naszą wiedzę o fizyce niestandardowej [60]. Wyzwaniem na najbliższe pięć lat pozostaje jednak zakres 0.1 – 1.0 eV i jest to wystarczającym powodem, by badania tego typu wciąż stanowiły żywą gałąź fizyki.

Autor pragnie podziękować Amandowi Fäßlerowi z Uniwersytetu w Tybindze (Niemcy), Jouniemu Suhonenowi z Uniwersytetu w Jyväskylä (Finlandia) oraz Joannisowi D. Vergadosowi z Uniwersytetu w Janinie (Grecja) za stymulujące dyskusje, szczególnie w fazie ostatecznego redagowania artykułu oraz za wspólne badania nad wieloma problemami w nim poruszonymi. Podziękowania należą się również drowi Andrzejowi Bobykowi (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej i Uniwersytet w Tybindze) za udostępnienie tabeli 1 oraz rysunków 1b i 3 ze swojej dysertacji doktorskiej, a także profesorom: Januszowi Dąbrowskiemu z Instytutu Problemów Jądrowych oraz Janowi Żyliczowi z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego za przeczytanie manuskryptu artykułu i uwagi, które przyczyniły się istotnie do jego ostatecznego kształtu.

Praca powstała przy wsparciu finansowym Komitetu Badań Naukowych (projekt badawczy nr 2P03B 189 09) oraz dzięki funduszom przyznanych przez KBN

i Internationales Büro Osteuropa-Verbindungsbüro des BMBF w ramach Umowy o współpracy między Polską i Niemcami w dziedzinie nauki i techniki, projekt nr 8.10 (X081.27).

### Literatura

- [1] E. Fermi, *Z. Phys.* **88**, 161 (1934).
- [2] E. Amaldi, *Phys. Rep.* **111**, 271 (1984).
- [3] C.L. Cowan, Jr., F.B. Harrison, L.M. Langer, F. Reines, *Nuovo Cimento* **3**, 649 (1956).
- [4] A. Bobyk, „Podwójny rozpad beta z emisją i bez emisji neutrin w jądrach”, rozprawa doktorska (nie publikowana, Lublin 1994).
- [5] C.S. Wu, E. Ambler, C.H. Hayward, D.D. Hopper, R.P. Hudson, *Phys. Rev.* **105**, 1413 (1957).
- [6] A. Kawashima, K. Takahashi, A. Masuda, *Phys. Rev. C* **47**, R2452 (1993).
- [7] M.G. Inghram, J.H. Reynolds, *Phys. Rev.* **76**, 1265 (1949); **78**, 822 (1950).
- [8] N. Takaoka, K. Ogata, *Z. Naturforsch.* **21a**, 84 (1966).
- [9] J.T. Lee, O.K. Manuel, *Nucl. Phys. A* **529**, 29 (1991).
- [10] M.T.F. de Cruz, D.W. Bardayan, Y. Chau, A. Garcia, M.M. Hindi, R.-M. Larimer, K.T. Lesko, E.B. Norman, D.F. Rossi, R.G. Stokstad, F.E. Wientfeld, I. Žlimen, *Phys. Rev. C* **48**, 3106 (1993).
- [11] K.J. Moody, R.W. Loughheed, E.K. Hulet, *Phys. Rev. C* **46**, 2624 (1992).
- [12] C.A. Levine, A. Ghiorso, G.T. Seaborg, *Phys. Rev.* **27**, 296 (1950).
- [13] A.L. Turkevich, T.E. Economu, G.A. Cowan, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 3211 (1991).
- [14] M.K. Moe, D.D. Lowenthal, *Phys. Rev. C* **22**, 2186 (1980).
- [15] S.R. Elliott, A.A. Hahn, M.K. Moe, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 2020 (1987).
- [16] M. Beck, F. Bensch, J. Bockholt, G. Heusser, M. Hirsch, H.V. Klapdor-Kleingrothaus, B. Mainer, A. Piepke, H. Strecker, M. Völlinger, K. Zuber, A. Balysh, S.T. Belayev, A. Demehin, A.G. Gurov, I. Kondratenko, V.I. Lebedev, A. Müller, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 2853 (1993).
- [17] H. Ejiri, K. Fushimi, T. Kamada, H. Kinoshita, H. Kobiki, H. Ohsumi, K. Okada, H. Sano, T. Shibata, T. Shima, N. Tanabe, J. Tanaka, T. Taniguchi, T. Watanabe, N. Yamamoto, *Phys. Lett. B* **258**, 17 (1991).
- [18] H. Ejiri, K. Fushimi, R. Hazama, N. Kudomi, K. Nagata, H. Ohsumi, K. Okada, J. Tanaka, *Nucl. Phys. B* **35**, (Proc. Suppl.), 372 (1994).
- [19] S.I. Vasilev, A.A. Klimenko, S.B. Osetrov, A.A. Pomanskii, A.A. Smolnikov, *JETP Lett.* **51**, 622 (1990).
- [20] W. Seidel, *Nucl. Phys. B* **32**, (Proc. Suppl.), 138 (1993).
- [21] A. Alessandrello, C. Brofferio, D.V. Camin, O. Cremonesi, E. Fiorini, E. García, A. Giuliani, P. de Marcillac, A. Nuciotti, M. Pavan, G. Pessina, E. Previtali, L. Zanotti, *Phys. Lett. B* **335**, 519 (1994).
- [22] R.S. Raghavan, *Phys. Rev. Lett.* **72**, 1411 (1994).

- [23] M. Doi, T. Kotani, E. Takasugi, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **83**, 1 (1985); S.M. Bilenky, S.T. Petcov, *Rev. Mod. Phys.* **59**, 671 (1987).
- [24] J.D. Vergados, *Phys. Rep.* **133**, 1 (1986).
- [25] R.N. Mohapatra, P.B. Pal, *Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics* (World Scientific, Singapore 1991); *Neutrino Physics*, red. K. Winter (Cambridge University Press, Cambridge 1991).
- [26] A. Salam, *Postępy Fizyki* **32**, 361 (1991).
- [27] B. Kayser, w: *Proc. XXIII Int. Conf. on High Energy Physics*, red. S.C. Loken (World Scientific, Singapore 1987), s. 945; G. Gelmini, E. Roulet, *Rep. Prog. Phys.* **58**, 1207 (1995).
- [28] F.T. Avignone III, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **32**, 223 (1994).
- [29] J.D. Vergados, R.N. Mohapatra, *Phys. Rev. Lett.* **47**, 1713 (1981).
- [30] M. Gell-Mann, P. Ramond, R. Slansky, w: *Supergravity*, red. P. van Nieuwenhuizen, O. Freedman (North-Holland, Amsterdam 1979), s. 317; G. Sejnovič, R.N. Mohapatra, *Phys. Rev. Lett.* **44**, 912 (1980).
- [31] A. Riazuddin, R.E. Marshak, R.N. Mohapatra, *Phys. Rev. D* **24**, 1502 (1981).
- [32] A. Bobyk, W.A. Kamiński, *J. Phys. G* **21**, 229 (1995).
- [33] G. Pantis, A. Faessler, W.A. Kamiński, J.D. Vergados, *J. Phys. G* **18**, 605 (1992).
- [34] H.V. Klapdor-Kleingrothaus, w: *Proc. Int. Conf. Neutrino Physics and Astrophysics NEUTRINO '96*, red. M. Roose (World Scientific, Singapore 1997), w druku.
- [35] M. Hirsch, H.V. Klapdor-Kleingrothaus, S.G. Kovalenko, H. Päs, *Phys. Lett. B* **372**, 8 (1996).
- [36] A. Faessler, W.A. Kamiński, G. Pantis, J.D. Vergados, *Phys. Rev. C* **43**, R21 (1991).
- [37] R.K. Bardin, P.J. Gollon, J.D. Ullman, C.S. Wu, *Nucl. Phys. A* **158**, 337 (1970).
- [38] O. Civitarese, A. Faessler, T. Tomoda, *Phys. Lett. B* **194**, 11 (1987); J. Engel, P. Vogel, M.R. Zirnbauer, *Phys. Rev. C* **37**, 731 (1988).
- [39] O. Civitarese, A. Faessler, J. Suhonen, X.R. Wu, *Phys. Lett. B* **251**, 333 (1990).
- [40] S. Stoica, W.A. Kamiński, *Nuovo Cimento A* **106**, 723 (1993); *Phys. Rev. C* **47**, 867 (1993).
- [41] M.K. Cheoun, A. Bobyk, A. Faessler, F. Šinkovic, G. Teneva, *Nucl. Phys. A* **561**, 74 (1993); **564**, 329 (1993).
- [42] T. Toivanen, J. Suhonen, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 410 (1995); J. Schwieger, F. Šimkovic, A. Faessler, *Nucl. Phys. A* **600**, 179 (1996); W.A. Kamiński, w: *Proc. Int. Conf. Neutrino Physics and Astrophysics NEUTRINO '96*, red. M. Roose (World Scientific, Singapore 1997), w druku.
- [43] J. Suhonen, *Nucl. Phys. A* **563**, 91 (1993).
- [44] J. Suhonen, O. Civitarese, *Phys. Lett. B* **308**, 212 (1993); *Nucl. Phys. A* **575**, 251 (1994).
- [45] W.A. Kamiński, A. Faessler, *Phys. Lett. B* **244**, 155 (1990); *Nucl. Phys. A* **529**, 605 (1991).
- [46] H.V. Klapdor-Kleingrothaus (współpraca Heidelberg-Moskwa), *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **31**, 72 (1993).
- [47] S.R. Elliott, A.A. Hahn, M.K. Moe, M.A. Nelson, M.A. Vient, *Phys. Rev. C* **46**, 1535 (1992).
- [48] N.C. Haxton, G.J. Stephenson, Jr., *Prog. Part. Nucl. Phys.* **12**, 409 (1984).
- [49] J. Engel, P. Vogel, X. Ji, S. Pittel, *Phys. Lett. B* **225**, 5 (1989).
- [50] K.I. Tretyak, Yu.G. Zdesenko, *At. Data Nucl. Data Tables* **61**, 43 (1995).
- [51] A. Molina, P. Pascual, *Nuovo Cimento A* **41**, 756 (1977).
- [52] N. Krasnikov, G. Kreyerhoff, R. Rodenberg, *Nuovo Cimento A* **107**, 589 (1994).

- [53] M. Hirsch, H.V. Klapdor-Kleingrothaus, S.G. Kowalenko, *Phys. Lett. B* **352**, 1 (1995); M. Hirsch, H.V. Klapdor-Kleingrothaus, manuskrypt hep-ph/9502385 (24.02.1995).
- [54] A. Weinheimer i in., *Phys. Lett. B* **335**, 210 (1993).
- [55] L. Wolfenstein, *Phys. Lett. B* **107**, 77 (1981).
- [56] L. Wolfenstein, K. Lande, w: *Symmetries and Fundamental Interactions in Nuclei* (World Scientific, Singapore 1995).
- [57] R. Beker-Szendy (współpraca IMB), *Phys. Rev. Lett.* **69**, 1010 (1992); Y. Fukuda (współpraca Kamiokande), *Phys. Lett. B* **335**, 237 (1994).
- [58] C. Athenassopoulos (współpraca LSND), *Phys. Rev. Lett.* **75**, 2650 (1995); *Phys. Rev. C* **54**, 2685 (1996).
- [59] M. Davies, F.J. Summers, D. Schegel, *Nature* **359**, 393 (1992); J.R. Primack, J. Holtzman, A. Klypin, D.O. Caldwell, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 2160 (1995).
- [60] M. Moe, P. Vogel, *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* **44**, 247 (1995).



## RÓŻNE

Włodzimierz Kołos\*

Wydział Chemii

Uniwersytet Warszawski

Warszawa

## Czy fizyk może nie być platonikiem? \*\*

Can a physicist not be a Platonist?

## 1. Wprowadzenie

Gdy fizyk lub chemik bada materię, to bada własności cząstek elementarnych, atomów, cząsteczek chemicznych, ciał stałych itp. Wyznacza energię tych układów, ich parametry strukturalne, określa zachowanie się w różnych warunkach, wnioskuje o własnościach tych własności. Czasami jednak zastanawia się również, czym w swej istocie są objekty przez niego badane. Do początków naszego stulecia był to problem mało wiążący się z codzienną pracą badacza i pasjonujący raczej tylko filozofów. W XX w. sytuacja zmieniła się radykalnie.

Jednym z podstawowych wyników fizyki XX w., co najmniej z filozoficznego punktu widzenia, było stwierdzenie, że rzeczy nie są tym, czym wydają się być, a istota rzeczywistości świata nie jest człowiekowi w pełni dostępna. Najbardziej więc wystąpiło to w fizyce mikroświata. Uświadomiono sobie, że fizyk w swych

\*Profesor Kołos zmarł dnia 3 czerwca 1996 r.

\*\* Jest to tekst wykładu przygotowanego na seminarium "Nauka-Religia-Dzieje" w Castel Gandolfo w sierpniu 1995 r. Został on zamieszczony w książce *Nauka-Religia-Dzieje, VIII Seminarium w Castel Gandolfo, stierpien 1995*, red. J.A. Janik (Wydawnictwa Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1996); ukazał się także w czasopiśmie Polskiego Towarzystwa Chemicznego *Orbita*, nr 1/96. Z powodu choroby, wykładu tego prof. Kołos już nie wygłosił (przyp. Red.).

## RÓŻNE

**Włodzimierz Kołos\***

*Wydział Chemii  
Uniwersytet Warszawski  
Warszawa*

### Czy fizyk może nie być platonikiem? \*\*

Can a physicist not be a Platonist?

#### 1. Wprowadzenie

Gdy fizyk lub chemik bada materię, to bada własności cząstek elementarnych, atomów, cząsteczek chemicznych, ciał stałych itp. Wyznacza energię tych układów, ich parametry strukturalne, określa zachowanie się w różnych warunkach, wnioskuje o własnościach i o zmianach tych własności. Czasami jednak zastanawia się również, czym w swej istocie są obiekty przez niego badane. Do początków naszego stulecia był to problem mało wiążący się z codzienną pracą badacza i pasjonujący raczej tylko filozofów. W XX w. sytuacja zmieniła się radykalnie.

Jednym z podstawowych wyników fizyki XX w., co najmniej z filozoficznego punktu widzenia, było stwierdzenie, że rzeczy nie są tym, czym wydają się być, a istota rzeczywistości świata nie jest człowiekowi w pełni dostępna. Najjaskrawiej wystąpiło to w fizyce mikroświata. Uświadomiono sobie, że fizyk w swych

---

\*Profesor Kołos zmarł dnia 3 czerwca 1996 r.

\*\* Jest to tekst wykładu przygotowanego na seminarium „Nauka–Religia–Dzieje” w Castel Gandolfo w sierpniu 1995 r. Został on zamieszczony w książce *Nauka–Religia–Dzieje, VIII Seminarium w Castel Gandolfo, sierpień 1995*, red. J.A. Janik (Wydawnictwa Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1996); ukazał się także w czasopiśmie Polskiego Towarzystwa Chemicznego *Orbital*, nr 1/96. Z powodu choroby, wykładu tego prof. Kołos już nie wygłosił (przyp. Red.).

badaniach ma do czynienia tylko z matematycznymi symbolami rzeczywistości wprowadzonymi w teoriach, nie nawiązuje natomiast bezpośredniego kontaktu z badaną rzeczywistością [1]. Trzeba było uznać, że świat poznajemy nie zmysłami, lecz przez teorie, a matematyczne teorie opisujące świat fizyki nie mówią nam, czym jest badana rzecz, a tylko, i to w sposób pośredni, jakie ma własności, jak się zachowuje. Najmniejsze cząstki, z których zbudowana jest materia umiemy opisać równaniami matematycznymi, ale nie umiemy ich sobie wyobrazić. Mikrocząstka okazała się bytem zupełnie odmiennym od zmniejszonej do bardzo małych rozmiarów grudki materii znanej z życia codziennego. W różnych doświadczeniach wykazuje ona sprzeczne ze sobą atrybuty. Czasami zachowuje się jak cząstka, czasami jak fala. W myśl powszechnie przyjętej interpretacji zmienne dynamiczne mikrocząstki, np. jej położenie, nie są określone. Określone jest tylko prawdopodobieństwo, że w wyniku pomiaru otrzymamy taką lub inną wartość tej zmiennej. Natomiast konkretną jej wartość nadaje pomiar, a o tym, jaka zmienna zostaje w pomiarze skonkretyzowana decyduje obserwator. Jeśli interesuje go np. położenie, to wykonuje odpowiedni pomiar i w konsekwencji nadaje cząstce położenie, tj. lokalizuje ją w pewnym nie dającym się z góry przewidzieć miejscu.

Utrata konkretności przez mikrocząstki wiąże się także z inną niewyobrażalną ich cechą, jaką jest identyczność mikroobiektów. Dwie kule bilardowe też wydają się identyczne. Każda z nich jest jednak konkretnym obiektem i gdybyśmy mieli trudności z ich identyfikacją, to moglibyśmy je jakoś oznakować i trudności nie wystąpiłyby. Inaczej jest z mikrocząstkami. Mikrocząstki określonego gatunku, np. elektrony, są tożsame. Gdy dwa elektrony zderzą się, to niemożliwe jest określenie, który elektron jest którym po zderzeniu. Wszystkie istniejące elektrony są jak gdyby odbitkami fotograficznymi wykonanymi z jednego negatywu. Porównanie to jest oczywiście ułomne, gdyż fotografie też można oznakować. Elektronów w żaden sposób oznakować nie można. Jak pisze Fuliński [2], w pewnym sensie istnieje „tylko jeden elektron w wielu replikach” lub inaczej, zawsze mamy do czynienia z „tym samym” elektronem. Nierozróżnialność mikrocząstek jest ich własnością fundamentalną, związaną z ich istotą i powodującą, że zbiory mikrocząstek mają zupełnie inne własności niż zbiory jakichkolwiek jednakowych obiektów makroskopowych. Elektrony to nie maleńkie kulki obdarzone masą i ładunkiem elektrycznym.

Zachowanie się mikrocząstek doskonale opisujemy równaniami matematycznymi, natomiast same mikrocząstki utraciły swą konkretność. Świat fizyki przestał być światem zmysłowego doświadczenia, a stał się światem matematycznych struktur jedynie odwzorowujących poszczególne obszary rzeczywistości [3]. Dlatego z dużą siłą narzuca się tu analogia z sytuacją wyrażoną ustami Sokratesa w znanej metaforze Platona. Jesteśmy jak ludzie siedzący w jaskini tyłem do

wejścia i widzący na ścianie tylko cienie rzeczywistych obiektów poruszających się na zewnątrz jaskini. Konsekwencją jest pogląd, że fizyka zajmuje się – i może zajmować się – tylko światem cieni. Wyjście poza świat cieni byłoby wyjściem poza fizykę, w kierunku do metafizyki lub mistycyzmu [1].

## 2. W jaki sposób poznajemy świat?

Badanie świata przez modelowanie jego struktury za pomocą struktur matematycznych zapoczątkowali już Galileusz i Newton. Znane jest powiedzenie Galileusza, że wielka księga przyrody napisana jest w języku matematyki. Wyowiedź ta okazała się jednak prawdziwa w innym sensie, nie podejrzanym przez Galileusza. Nowa fizyka osiągnęła niewyobrażalny dawniej stopień abstrakcji i wykazała, że matematyka jest nie tylko językiem stosowanym do opisu, że pozwala nie tylko opisać to, co znane, ale także rozszerzyć nasze poznanie.

Współczesny Galileuszowi Francis Bacon uważał, że naukę stanowią tylko badania doświadczalne. Poznanie przyrody można osiągnąć jedynie przez cierpliwe wykonywanie doświadczeń. Pierwszym krokiem w badaniach jest oczywiście bierna obserwacja. Właściwym doświadczeniem jest jednak kontrolowane doświadczenie, w którym badacz przez zaplanowaną zmianę warunków zmienia przebieg zjawiska i rozszerza jego poznanie. Natomiast prawa naukowe są według Bacona uogólnieniem faktów doświadczalnych. Badacz zbiera dane doświadczalne, a następnie za pomocą logicznego wnioskowania wyprowadza z nich teorię zjawiska.

Późniejsi empirycy reprezentowali mniej skrajne stanowisko i przyznawali, że empiryczna wiedza nie może ograniczać się do faktów doświadczalnych, na przykład musi uwzględniać zależności między faktami. Niemniej i oni uznawali priorytet doświadczenia w poznawaniu przyrody.

Dopiero Kant zwrócił uwagę, że prawa przyrody nie wynikają z doświadczeń. Nawet możliwość wykonania doświadczeń zakłada jako wstępny warunek istnienie praw, w tym prawa przyczynowości kwestionowanego przez empiryków. Dalszy rozwój nauki ugruntował przekonanie, że właśnie teoria jest podstawowym czynnikiem w procesie poznawania przyrody i że teoria jest tym, co czyni z wiedzy naukę [4].

Jak powstają teorie? Najczęściej istotnie inicjatywa należy do doświadczenia. Eksperymentator odkrywa nowe fakty, nie mieszczące się w dotychczasowym paradygmacie i nie dające się wytłumaczyć za pomocą znanych teorii. Zwróćmy jednak uwagę, że i w doświadczenie bardzo silnie ingeruje teoria i nie jest możliwe uzyskanie nowych znaczących faktów doświadczalnych bez odwoływania się do teorii. Jest ona niezbędna nie tylko do skonstruowania przyrządu pomiarowego

lub do interpretacji bezpośrednich pomiarów. Bez teorii nie jest możliwe zaplanowanie doświadczenia, a także odpowiednie dobranie warunków jego prowadzenia. Dzięki teorii udane doświadczenie ukazuje problem, może otworzyć nowe perspektywy, ale następny, decydujący krok musi wykonać teoretyk. Bada on fakty doświadczalne, usiłuje wykryć występujące między nimi współzależności i na ich podstawie formułuje hipotezy dotyczące natury badanych zjawisk. Z hipotez tych, z postulatów, będących tworem umysłu, rozwija matematyczny formalizm, a konsekwencją powiązania formalnej struktury z doświadczeniem jest teoria fizyczna. Kluczowym elementem jest jednak niewątpliwie sformułowanie wyjściowej hipotezy. Dochodzi się do niej nie przez indukcję, nie przez systematyczną analizę coraz to nowych danych, lecz w zdumiewającym akcie iluminacji, jak gdyby objawienia, i dostrzeżenia w tym akcie czegoś, co nie jest konsekwencją znanych wyników, może natomiast być ich przyczyną. Sformułowanie postulatów może być poprzedzone wielu nieudanymi próbami eliminującymi fałszywe tropy, nigdy jednak do stworzenia teorii nie wystarcza logiczne myślenie. Niezbędny jest pewien przeskok myślowy. Punkt wyjściowy teorii nie jest bowiem produktem logicznego umysłu, lecz twórczej wyobraźni [5]. Trudno określić jakimi drogami chadza myśl geniusza w procesie prowadzącym do podstawowych hipotez, jakie fakty i skojarzenia są przez niego wykorzystywane. Ścieżki te są nie tylko niedostępne dla bardziej przeciętnych ludzi, ale zwykle i niemożliwe do odtworzenia przez samego badacza. Może właśnie dlatego często się zdarza, że wielcy geniusze nie mają uczniów i współpracowników.

### 3. Czy teorie są prawdziwe?

Teoria organizuje dane doświadczalne, wprowadza do nich porządek i tworzy logiczny obraz pewnego fragmentu rzeczywistości zrozumiały dla człowieka. Jaki jest jednak stosunek tego obrazu do rzeczywistości? Czy teorie przekazują nam jakąś prawdę o świecie? Czy człowiek może wymyślić prawdę o świecie? Czy we wspomnianej iluminacji uczony dostrzega prawdę, czy tylko możliwość stworzenia zgrabnego opisu faktów doświadczalnych? Nie tylko dawni empirycy, ale i niektórzy współcześni filozofowie widzą w teorii wyłącznie matematyczny opis lub niewiele więcej. Teoria – uważają – to przyporządkowanie badanemu aspektowi zjawiska pewnej funkcji matematycznej, która odtwarza zależności między wynikami pomiarów. Na przykład J.G. Kemeny twierdzi [6], że tworzenie teorii to poszukiwanie takiej gałęzi matematyki, by jej system aksjomatów po zinterpretowaniu prawidłowo opisał te wielkości i zależności, które chce się badać. Natomiast prawo przyrody, to po prostu dokładny zapis pewnej zależności między zdarzeniami. Nie odzwierciedla ono żadnego obiektywnego związku między nimi

a jedynie porządkuje fakty. Zgodnie z tym poglądem, prawa przyrody nie można naruszyć, bo jest ono przecież tylko opisem. Jeśli coś nie zgadza się z opisem, oznacza to tylko, że opis jest zły. W tym sensie nie można mówić, że teoria jest prawdziwa lub fałszywa; jest tylko zgodna lub niezgodna z faktami. Dobrą teorią jest teoria odpowiednia, tzn. nadająca się do opisu faktów.

Tak skrajny pogląd można zaakceptować w odniesieniu do niektórych praw formułowanych zwykle na początkowym etapie rozwoju określonej dziedziny badań. Na przykład prawa Keplera można traktować jako wynik dopasowania pewnych prostych funkcji matematycznych do wyników pomiarów astronomicznych. Podobny rodowód miał odgadnięty przez Balmera wzór pozwalający obliczyć położenie prążków w widmie atomowego wodoru. Wzór ten, gdy został zaproponowany, miał charakter wyłącznie instrumentalny i dlatego nie mógł być ani prawdziwy, ani fałszywy, a tylko zgodny lub niezgodny z faktami. Inny natomiast status uzyskał, gdy został wyprowadzony przez Bohra, a jeszcze innego sensu nabrała jego treść, gdy został wyprowadzony z praw mechaniki kwantowej. U Balmera była to prosta funkcja matematyczna, bez żadnej wartości epistemologicznej lub ontologicznej, umożliwiająca jedynie odtworzenie położenia prążków w pewnej serii widma atomu wodoru. Twierdzenie jednak, że prawa mechaniki kwantowej mają tylko instrumentalny charakter, że jedynie porządkują fakty, świadczyłyby po prostu o nieznanym tej teorii.

Przyrodnikowi trudno byłoby zaakceptować pogląd odmawiający możliwości oceniania teorii w kategoriach prawdy lub fałszu. Teoria to nie tylko skondensowany opis faktów doświadczalnych bądź też przepis na interpolowanie danych w badanym obszarze lub ekstrapolowanie poza ten obszar. Jej zdolność porządkowania i przewidywania wyników doświadczeń jest konsekwencją uchwycenia w niej przynajmniej jakiegoś aspektu istoty zjawiska i wnikięcia w sposób działania przyrody, czyli uchwycenia jakiejś prawdy.

Na jakiej podstawie przypuszczamy jednak, że teoria zawiera prawdę o świecie? Żadnej teorii nie można sprawdzić w sposób absolutny. Żadnej teorii nie można udowodnić, bo nie można sprawdzić wszystkich jej konsekwencji. Nigdy też nie można wykluczyć możliwości sformułowania innej teorii wynikającej z odmiennych podstawowych założeń, a równie dobrze objaśniającej fakty doświadczalne.

Niemniej fizycy wyczuwają prawdziwość teorii nawet przed częściowym jej sprawdzeniem. Teoria Kopernika została zaakceptowana przez Galileusza, Keplera i innych nie dlatego, że wyjaśniała jakieś nowe fakty. Intuicja wielkich uczonych dojrzała prawdę w logice i prostocie. Teoria heliocentryczna zyskiwała więc zwolenników i w czasach Newtona praktycznie nikt jej nie kwestionował, mimo że obserwacje stwierdzające definitywnie, że Ziemia się porusza wykonano do-

piero po śmierci Newtona, prawie dwa wieki po opublikowaniu *De revolutionibus orbium coelestium* [7].

Również teoria względności od samego początku wzbudzała zaufanie. Rok po jej ogłoszeniu niemiecki fizyk Kaufmann opublikował wyniki doświadczeń, w których mierzył masę poruszającego się elektronu. Uzyskane przez niego wyniki zgadzały się z niektórymi teoriami, ale znacząco odbiegały od przewidywań teorii względności. Na Einsteinie nie zrobiło to wrażenia i nie komentował tej rozbieżności. Gdy jednak został sprowokowany, by zabrać głos, napisał, że jego zdaniem teorie zgadzające się z wynikami Kaufmanna są mało prawdopodobne, bowiem ich podstawowe założenia dotyczące masy poruszającego się elektronu nie dają się wyjaśnić za pomocą teorii obejmujących większy kompleks zjawisk [8]. Struktura tych teorii była więc dla Einsteina tym, co przemawiało przeciwko ich przyjęciu, mimo że potwierdzało je doświadczenie. Wkrótce potem okazało się, że wyniki doświadczenia były błędne.

Nie przywiązywał Einstein również wielkiej wagi do doświadczalnego potwierdzenia ogólnej teorii względności. Gdy w 1919 r. wyruszyła ekspedycja do Afryki, by korzystając z całkowitego zaćmienia Słońca sprawdzić doświadczalnie wnioski o uginaniu się promieni w polu grawitacyjnym, twórca teorii względności nie wykazał tym pomiarem dużego zainteresowania. Bez niego był przekonany o prawdziwości teorii, lub mówiąc ściślej, nie miał wątpliwości, że podany przez teorię względności opis tego fragmentu rzeczywistości jest poprawny.

Co zatem decyduje o wiarygodności teorii? Wymieńmy niektóre z istotnych czynników. Należy do nich niewątpliwie logiczna spójność teorii, jej piękno oraz elegancja w logice i prostocie idei, ponadto niewielka liczba parametrów, których teoria nie wyjaśnia, a także ubóstwo założeń i kontrastujące z nim bogactwo konsekwencji. Wprawdzie trudno jest zobiektywizować pojęcie piękna, niemniej jednak fizycy, a także matematycy, nie mają trudności z oceną piękna teorii [9]. Dirac wielokrotnie do niego nawiązywał mówiąc np., że dane równanie jest tak piękne, iż Bóg na pewno z niego skorzystał, gdy stwarzał świat [10]. Ogólna teoria względności jest powszechnie uważana za najpiękniejszą teorię fizyczną. Einstein cytował wprawdzie Boltzmanna, który powiedział, że elegancja jest dla krawców, ale w swej pracy kierował się motywacją estetyczną, bowiem piękno teorii to zupełnie coś innego niż elegancja np. dowodu matematycznego. Właśnie piękno ogólnej teorii względności było głównym czynnikiem, który zadecydował o jej akceptacji.

Mówiliśmy, że nowe teorie powstają wtedy, gdy wykryta zostaje sprzeczność między wynikami doświadczalnymi a obowiązującą teorią. W przypadku teorii względności wyglądało to inaczej i fakt ten zasługuje na szczególne podkreślenie. Teorię względności Einstein rozwinął nie dlatego, że stara fizyka nie zgadzała

się z doświadczeniem, lecz dlatego, że nie była tak logiczna i spójna jak jego zdaniem powinna być [11]. Dążenie do opisanego świata za pomocą harmonijnej teorii opartej na niewielu podstawowych założeniach było motywem kierującym wszystkimi badaniami Einsteina.

Teoria kwantów narodziła się w inny sposób. Bodźcem do podjęcia przez Plancka badań nad teorią promieniowania była intrygująca niezgodność wniosków tej teorii z danymi doświadczalnymi. Planck zbadał najpierw, który składnik obowiązującego w teorii promieniowania prawa Wiena był odpowiedzialny za błędny wynik, a następnie zaproponował zastępczy człon, który doprowadził do zgodności z doświadczeniem i dał początek teorii kwantów. Ten nowy człon był konsekwencją założenia, że proces emisji i absorpcji promieniowania nie zachodzi w sposób ciągły. Założenie to wymagało genialnej wyobraźni i intuicji, ale nie dążenie do logiki i piękna skłoniły Plancka do zajęcia się ulepszaniem teorii i nie one stanowiły drogowskaz w jego pracy. Czynniki te natomiast niewątpliwie wpłynęły jednak na dalszy rozwój teorii kwantowej, choćby w pracach Diraca.

#### 4. Związek teorii z rzeczywistością

Pytanie o związek teorii z rzeczywistością jest pytaniem podstawowym w filozofii przyrody. Można niewątpliwie uważać, że przez rozwój teorii, przez formułowanie coraz to bardziej podstawowych lub bardziej ogólnych teorii, posługujących się coraz bardziej wyrafinowanym aparatem matematycznym, otrzymujemy coraz to głębszy i wierniejszy obraz świata niedostępny bezpośrednio percepcji zmysłowej. Nauka widzi świat takim, jakim go ukazują teorie, a ich sukcesy świadczą, że występuje odpowiedniość między strukturą teorii a strukturą opisywanej przez nią rzeczywistości. Nie ma jednak jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, jakie jest podobieństwo tych struktur, jaki jest związek między konstruktami teorii, tj. pojęciami, które teoria powołuje do bytu, a rzeczywistością świata opisywanego przez teorię. Struktura świata jest niewątpliwie bogatsza od struktury naszych teorii. Można jednak – jak wspomnieliśmy – uważać, że wraz z rozwojem teorii otrzymujemy coraz to wierniejszy, coraz bardziej zbliżony do prawdziwego obraz rzeczywistości. Można natomiast reprezentować także inny pogląd. Według Einsteina pojęcia naukowe nie odzwierciedlają rzeczywistości, lecz są to „freigebildete Begriffe” – swobodnie utworzone pojęcia, które do rzeczywistości pozostają w stosunku podobnym do tego, jaki występuje między otrzymanym od szatnia-rza numerkiem a oddanym na przechowanie płaszczem [12]. Wynikałoby z tego, że przyrodnik nie odkrywa prawdy o badanej rzeczywistości, lecz tworzy jej model, który mimo że przydatny, może być do rzeczywistości zupełnie niepodobny. W myśl tego poglądu zaproponowany przez teoretyka model danego fragmentu



rzeczywistości jest tylko wytworem jego wyobraźni, natomiast ktoś inny mógłby wymyślić odmienny model, a mimo tego prowadzący do wyników równie dobrze zgadzających się z doświadczeniem. Poglądu tego nie można sfalsyfikować, niemniej trudno odrzucić opinię, że swoboda wyobraźni uczonego, w przeciwieństwie do tej, którą dysponuje twórca w dziedzinie sztuki, jest jednak ograniczona. Przypomina nie pisanie powieści lub malowanie obrazu, lecz raczej rozwiązywanie łamigłówek. Rozwój nauki przebiega w sposób w dużym stopniu zdeterminowany i jednostka w niewielkim tylko stopniu może odcisnąć na nim swe piętno; może niewątpliwie wpłynąć na formę proponowanych teorii lub modeli, ale tylko w nieznacznym stopniu na ich treść. Schrödinger stworzył mechanikę falową i w tym samym czasie Heisenberg opracował niezależnie mechanikę macierzową. Okazało się jednak wkrótce, że w swej zasadniczej treści obie teorie były równoważne. Obie też dawały identyczne i zgodne z doświadczeniem wyniki. Trudno więc nie przyznać, że Heisenberg i Schrödinger niezależnie odkryli ten sam fragment przybliżonej prawdy o mikroświecie, a wytworzyli odmienne jego opisy.

Wydaje się zatem, iż rozwój nauki z siłą narzuca pogląd, że nauka odkrywa porządek w przyrodzie, że nie jest on wytworem umysłu badacza. Pogląd ten nie jest obcy nawet w odniesieniu do matematyki [13]. Porządek występujący w przyrodzie ukazuje teoria i jej struktury matematyczne współbrzmiające ze strukturami przyrody. Jest rzeczą zdumiewającą jak głęboko myśl ludzka potrafi wnikać w te struktury, jak skuteczna okazała się metoda matematyczna. Już w XIX w. H. Hertz napisał, iż trudno jest uwolnić się od wrażenia, że matematyczne wzory fizyki mają swój niezależny byt i własną inteligencję, że są one mądrzejsze od nas, że są nawet mądrzejsze od swoich odkrywców, że otrzymujemy z nich więcej niż zostało w nie włożone [14]. Wielkie teorie fizyki XX w. jeszcze silniej niż teorie wcześniejsze ukazują niezwykłą skuteczność matematyki.

Dostrzegając determinizm w rozwoju nauki, trzeba oczywiście również przyznać, że teoria, którą tworzy uczoney na podstawie danych doświadczalnych nie jest przez te dane całkowicie jednoznacznie i we wszystkich szczegółach zdeterminowana, w wyniku czego wyobraźnia twórcy może mieć nieraz pewną swobodę manewru. W tym sensie można powiedzieć, że autor teorii nie tylko odkrywa prawdę, lecz w jakimś stopniu jest również jej współtwórcą. Niemniej wydaje się, iż te poglądy, te sformułowania, które pozostają trwałym dorobkiem nauki są nieuniknione, i genialny uczoney może tylko przyspieszyć rozwój nauki, ale nie może wprowadzić jej na drogę, której prócz niego nikt inny nigdy by nie dojrzał. Dowodem powszechności tego przekonania jest pośpiech, z jakim każdy badacz publikuje wyniki swych prac. Poecie lub kompozytorowi nie grozi, że ktoś inny uprzedzi go tworząc taki sam poemat lub taką samą symfonię. Jeśli natomiast przyrodnik nie obawia się, że ociągając się z publikacją utraci priorytet, może

to tylko oznaczać, że albo uważa, iż intelektem niepomrotnie góruje nad swymi kolegami, albo że zajmuje się problemem, który innych nie interesuje. W przeciwieństwie do innych dziedzin twórczości człowieka rozwój nauki jest więc zawsze postępowaniem. Nowa teoria nie powstaje niezależnie od starej, nie może jej zignorować lub zaprzeczyć. Teoria stara powinna być szczególnym przypadkiem, przybliżeniem teorii nowej określającej zakres i granice jej stosowalności. W konsekwencji dopiero dzięki nowej teorii uzyskujemy pełne zrozumienie teorii starej, która w dalszym ciągu, w tych określonych granicach może być stosowana.

Wspominaliśmy, że Einstein stworzył teorię względności kierując się zasadą logicznej spójności. Był on przekonany, że zasada ta jest wystarczającą przesłanką również dla stworzenia teorii obejmującej całość fizyki. Interesował go problem, czy jest to zadanie jednoznacznie rozwiązywalne. Einsteinowi nie powiodło się opracowanie takiej teorii i nie powiodło się dotąd innym. Nie ma więc odpowiedzi na pytanie, czy Bóg miał możliwość stworzenia innego świata, czy też każdy świat odmienny od istniejącego byłby logicznie sprzeczny. Niemniej w unifikacji fizyki czynione są postępy i dlatego zasadne jest pytanie, czy jest możliwe opracowanie ostatecznej teorii obejmującej wszystko. Trudno wyobrazić sobie sytuację, do której doprowadziłoby stworzenie takiej teorii. Trudno jest jednak również wyobrazić sobie ciąg coraz prostszych z punktu widzenia założeń i coraz piękniejszych teorii fundamentalnych obejmujących coraz szerszy zakres fizyki, który to ciąg nie miałby kresu w postaci teorii ostatecznej. Być może ten kres istnieje, ale osiągnięcie go uniemożliwi bariera, którą są ograniczone możliwości umysłu ludzkiego.

Rzeczony rozwój teorii fizycznych w XX w. miał niezwykle doniosłe konsekwencje nie tylko na gruncie fizyki, ale i filozofii. Jak już wspomniałem, okazało się, że związek pojęć teoretycznych z rzeczywistością jest inny aniżeli wyobrażali to sobie fizycy XIX w. Oczekiwania, iż wykorzystywanym w teoriach pojęciom, czyli konstruktom teorii, można nadać zdroworozsądkową interpretację okazały się iluzją naiwnego realizmu. Przewrotu w naszym myśleniu dokonało stworzenie mechaniki kwantowej całkowicie zmieniającej nasze wyobrażenia o świecie.

Od samego powstania mechaniki kwantowej istniały kontrowersje dotyczące jej interpretacji (o których mówiłem na IV Sympozjum „Nauka–Religia–Dzieje” [15]). Okazało się, że mikrocząstki to byty odmienne od cząstek klasycznych. Na przykład poruszającej się mikrocząstce nie można przyporządkować określonego toru. Położenia elektronu nie można jednoznacznie przewidzieć. Można tylko określić prawdopodobieństwo jego przebywania w określonym miejscu. Determinizm fizyki klasycznej nie ma zastosowania do mikrocząstek, a ich istota okazała się dla nas niewyobrażalna. Część fizyków żywiła jednak nadzieję, że winę za to ponosi mechanika kwantowa, natomiast w przyszłości uda się stworzyć teorię

bardziej fundamentalną dającą deterministyczny, jednoznaczny opis mikroświata. Dopiero stosunkowo niedawno teoretyczne prace Bella [16] oraz doświadczalne Aspecta i współpracowników [17] wykazały, iż fałszywe były oczekiwania, że za pomocą głębszej teorii uda się opisać mikrocząstki jako obiekty mające określone, niezależne od obserwatora własności i oddziałujące ze sobą lokalnie.

W wyniku tych prac musimy więc przyjąć, że albo mikrocząstki nie mają położenia, toru, i dopiero pomiar nadaje im własności, albo że oddziaływania między cząstkami są „nielocalne”, tzn. jedna cząstka czuje drugą jak gdyby natychmiastowo, bez względu na to jak duża odległość jest między nimi. Obie możliwości są sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem. W jednym i drugim przypadku trudno wyobrazić sobie cząstkę jako zanurzoną w normalnej przestrzeni. W pierwszym przypadku cząstka nie ma położenia, w drugim – odległość przestrzenna nie dzieli dwóch cząstek. Być może ta nieobiektywność i nielokalność, to komplementarne opisy różnych aspektów rzeczywistości mikroświata, której bogactwo nie daje się wyrazić za pomocą dostępnych człowiekowi pojęć.

D’Espagnat [18] reprezentuje pogląd, że empiryczna rzeczywistość, czyli to, z czym mamy kontakt, zawdzięcza wiele strukturze naszego umysłu. Uważamy, że rzeczywistość ta jest zanurzona w przestrzeni i czasie, albowiem opisujemy ją posługując się przestrzenią i czasem. Jednakże czasoprzestrzeń jest też pojęciem, które dużo zawdzięcza naszemu umysłowi, dlatego nie można uznać za poprawny pogląd, że niezależna realność jest w niej zanurzona. Można wprawdzie przypuszczać, że pojęcia takie jak czasoprzestrzeń odzwierciedlają „coś” z niezależnej rzeczywistości, jednakże odzwierciedlają one to „coś” w tak zniekształcony sposób, że człowiek nie może zrekonstruować – z tej ubogiej informacji – czym jest niezależna rzeczywistość. Jest ona przed nami ukryta lub, jak mówi d’Espagnat, zawoalowana.

Możliwy jest także radykalny sposób pozbycia się kłopotów z niezależną rzeczywistością, zaprezentowany przed dwoma laty na VII Seminarium „Nauka–Religia–Dzieje” przez Z. Jacynę-Onyszkiewicza [19], polegający na odrzuceniu istnienia niezależnej materialnej rzeczywistości i zakładający, że procesy kwantowe zachodzą w ludzkiej świadomości.

Mechanika kwantowa ukazuje mikrocząstki jako obiekty opisywane równaniami matematycznymi lecz pozbawione konkretności. Rzeczywistość mikroświata umyka więc naszemu poznaniu i trudno nie zgodzić się z poglądem Heisenberga, że najmniejsze cząstki materii nie są w istocie obiektami fizycznymi w zwyczajnym sensie tego terminu. Są one formami, strukturami albo – w sensie Platona – Ideami, które można jednoznacznie wyrazić jedynie w języku matematyki [20]. Elektronu nikt nie widział, nie zważył, nie dotknął. Widzimy tylko scyntylacje na ekranie, kropelki wody w komorze Wilsona, czarną kropkę na kliszy fo-

tograficznej lub wychylenie wskazówki jakiegoś przyrządu pomiarowego. Widzimy iluzje, efekty działania nieobserwowalnej cząstki. Podobnie jest zresztą i w innych działach fizyki. Iluzje fizyki klasycznej do niedawna identyfikowano z rzeczywistością. Dopiero mechanika kwantowa dokonała przewrotu w naszych wyobrażeniach o istocie otaczającego nas świata. Ukazała przepaść między podstawowymi składnikami materii, będącymi tylko opisywanymi matematycznie konstruktami teorii, a obiektami bezpośrednio postrzeganymi zmysłowo.

Mikrocząstki w mechanice kwantowej okazały się obiektami mającymi wszelkie cechy bytów platońskich. Powróćmy zatem do tytułowego pytania, czy fizyk końca XX w. może nie być platonikiem. Z pewnością nie może, ale trudno byłoby mu być tylko platonikiem, oderwać się od doświadczenia i jedynie w geometrii lub w matematyce szukać drogi do prawdy. Za L.M. Sokołowskim [4] chciałbym tu zacytować pogląd Einsteina, że dla epistemologa naukowiec musi się jawić jako bezwzględny oportunistą: jest realistą, bowiem poszukuje opisu świata niezależnego od aktów percepcji; idealistą, bowiem uważa pojęcia i teorie za swobodne pomysły ducha ludzkiego (niewyprowadzalne logicznie z faktów empirycznych); pozytywistą, bowiem uważa swe pojęcia i teorie za uzasadnione tylko w takim stopniu, w jakim opisują związki logiczne pomiędzy wrażeniami zmysłowymi; jest nawet platonikiem lub pitagorejczykiem, bowiem uważa logiczną prostotę za niezbędne i skuteczne narzędzie badań. Zarówno to sformułowanie jak i znane filozoficzne poglądy Einsteina sugerują, że według niego fizyk powinien być przede wszystkim realistą. Dziś Einstein z pewnością inaczej rozłożyłby akcenty. Osobiście podzielam pogląd tych, którzy dają priorytet platonizmowi. Rzeczywistość mikroświata okazała się bliższa ideom Platona niż atomom Demokryta.

### Literatura

- [1] K. Wilber, „Of Shadows and Symbols”, w: *Quantum Questions*, red. K. Wilber (Shambhala, Boulder and London 1984), s. 10.
- [2] A. Fuliński, „Co jak istnieje”, w: *Spór o uniwersalia a nauka współczesna* (OBI, Kraków 1991), s. 82.
- [3] M. Heller, „Nowa fizyka – Perspektywy trwającej rewolucji”, w: *Nauka–Religia–Dzieje, materiały V Seminarium Interdyscyplinarnego w Castel Gandolfo, 8–11 VIII 1988*, red. J.A. Janik, P. Lenartowicz SJ (Wydz. Filoz. Tow. Jezusowego w Krakowie, Kraków 1990), s. 75.
- [4] L.M. Sokołowski, „Alberta Einsteina filozofia fizyki”, w: *Filozofować w kontekście nauki*, red. M. Heller i in. (Pol. Tow. Teol., Kraków 1987), s. 191.
- [5] R. Morris, *Dismantling the Universe* (Simon and Schuster Inc., New York 1984), s. 65.
- [6] J.G. Kemeny, *Nauka w oczach filozofa* (PWN, Warszawa 1967), s. 45.

- [7] cyt. za [5], s. 98.
- [8] cyt. za [5], s. 67.
- [9] por. A. Staruszkiewicz, „Wartości estetyczne teorii fizycznych”, w: *Spór o uniwersalia a nauka współczesna* (OBI, Kraków 1991), s. 41.
- [10] por. także [3], s. 79.
- [11] cyt. za [5], s. 28.
- [12] A. Einstein, *Zeitschrift für freie deutsche Forschung* 9 (1938).
- [13] A. Schinzel, „Prawda a istnienie w matematyce”, w: *Nauka-Religia-Dzieje, materiały VII Seminarium Interdyscyplinarnego w Castel Gandolfo, 3-5 VIII 1988*, red. J.A. Janik (Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1994), s. 65.
- [14] cyt. za: A.M. Bork, „Physics just before Einstein”, *Science* 152, 597 (1966).
- [15] W. Kołos, „Spór o istnienie mikroświata”, w: *Nauka-Religia-Dzieje, materiały IV Seminarium Interdyscyplinarnego w Castel Gandolfo, 6-9 VIII 1986*, red. J.A. Janik, P. Lenartowicz SJ (Wydz. Filoz. Tow. Jezusowego w Krakowie, Kraków 1988), s. 30.
- [16] J.S. Bell, *Physics* 1, 195 (1964).
- [17] A. Aspect, J. Dalibard, C. Roger, *Phys. Rev. Lett.* 49, 1804 (1982).
- [18] B. d’Espagnat, „Meaning and Being in Contemporary Physics”, w: *Quantum Implications*, red. B.J. Hiley, F.D. Peat (Routledge and Kegan Paul, London 1987), s. 151.
- [19] Z. Jacyna-Onyszkiewicz, „Problem istnienia – immaterialna interpretacja teorii kwantów”, w: *Nauka-Religia-Dzieje, materiały VII Seminarium Interdyscyplinarnego w Castel Gandolfo, 3-5 VIII 1988*, red. J.A. Janik (Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1994), s. 35.
- [20] W. Heisenberg, „The Debate between Plato and Democritus”, w: *Quantum Questions*, red. K. Wilber (Shambhala, Boulder and London 1984), s. 51.

## Granty KBN z fizyki – X i XI konkurs

### Grants in physics of the State Research Committee

Poniżej przedstawiamy listę projektów badawczych (grantów) z fizyki finansowanych przez Komitet Badań Naukowych poczynawszy od stycznia 1996 r. (X konkurs) i od czerwca 1996 r. (XI konkurs). Ogólną informację o grantach KBN-u i wynikach I konkursu przedstawiliśmy w *Postęпах Fizyki* 44, 131 (1993), a wyniki kolejnych konkursów są podane w *Postęпах Fizyki* 45, 59 (1994), 45, 365 (1994), 46, 55 (1995) oraz 47, 263 (1996). Wiele aktualnych informacji o działalności KBN-u zawiera także artykuł A.Z. Hrynkiwicz, *Postępy Fizyki* 46, 259 (1995).

Lista projektów została opracowana przy współpracy Pani Bożeny Makowieckiej-Królak z Sekcji Fizyki KBN.

*Redakcja*

### X konkurs

---

Kierownik projektu Tytuł projektu	liczba wykonawców; czas (w miesiącach); koszt (w zł)
--------------------------------------	--

---

#### METODY MATEMATYCZNE, TEORIA POŁA, FIZYKA STATYSTYCZNA, ASTROFIZYKA

dr hab. Jakub Zakrzewski (IF UJ) Chaotyczna dynamika klasyczna a własności kwantowe układów fizycznych II	6    24    132 000
prof. Krzysztof Parliński (IFJ) Komputerowe modelowanie przejść fazowych w kryształach i ich kinetyki	7    26    120 000
prof. Piotr Kosiński (KFT UŁ) Struktura klasycznych i kwantowych modeli rozwiązywalnych i kwazi-rozwiązywalnych i ich związków z deformacjami algebr	5    36    100 000
prof. Łukasz Turski (CFT PAN) Klasyczna i kwantowa dynamika w układach cząstek oddziałujących w obecności geometrycznych, dynamicznych i topologicznych więzów	5    12    30 000
prof. Andrzej Fuliński (IF UJ) Efekty niemarkowowskie w kinetyce z fluktuującą barierą potencjału	2    12    18 000
dr Bogusław Broda (KFT UŁ) Zastosowanie elektryczno-magnetycznej dualności w konstrukcji i badaniu niskowymiarowych topologicznych teorii pola	1    24    15 000

dr Mariusz Dąbrowski (KF USz) Klasyczne i kwantowe struny w różnych czasoprzestrzeniach	1	36	14 000
mgr Krzysztof Byczuk (IFT UW) Uniwersalne własności cieczy Luttingera w dwóch i trzech wymiarach	1	18	12 000
prof. Henryk Arodź (IF UJ) Struny i worteksy w efektywnym opisie QCD (promotorski)	2	12	7 000
mgr Krzysztof Rejmer (IFT UW) Hamiltonian fal kapilarnych w teorii Landaua-Ginzburga-Wilsona oraz analiza zjawiska zwilżania krytycznego metodą renormalizacji funkcjonalnej	1	12	5 000

### FIZYKA POŚREDNICH I WYSOKICH ENERGII

dr hab. Ewa Rondio (IPJ) Precyzyjny pomiar łamania symetrii CP w rozpadach mezonów K	6	24	100 000
prof. Wojciech Królikowski (IFT UW) Poszukiwanie relacji między strukturą hadronów a zjawiskiem rodzin cząstek fundamentalnych	7	24	90 000
prof. Stanisław Jadach (IFJ) Precyzyjne testy modelu standardowego w kolajderach elektron-pozyton	6	24	80 000
prof. Ryszard Rączka (IPJ) Model bez cząstki Higgsa dla oddziaływań fundamentalnych cząstek elementarnych	8	36	80 000
prof. Barbara Badełek (IFD UW) Analiza fenomenologiczna struktury protonu i fotonu w powiązaniu z obecnymi i planowanymi eksperymentami nieelastycznego rozpraszania leptonów	3	36	77 000
prof. Ewa Skrzypczak (IFD UW) Badanie zderzeń jąder ołowiu ( $^{208}\text{Pb}$ ) przy energii 158 GeV/nukleon z jądrami atomowymi – badanie stanu plazmowego; eksperyment NA49 w CERN	7	12	70 000
doc. Joanna Stepaniak (IPJ) Badanie rzadkich rozpadów i mechanizmów produkcji mezonów w eksperymencie WASA	7	24	68 000
dr hab. Danuta Kielczewska (IFD UW) Badanie neutrin słonecznych i atmosferycznych oraz poszukiwanie rzadkich procesów w podziemnych detektorach Czerenkowa	1	24	20 000
doc. Jacek Turnau (IFJ) Forward Jet Production in the Low $x$ Regime at HERA	2	24	11 500
dr hab. Agnieszka Zalewska (IFJ) Study of the b-Baryon Polarization in the DELPHI Experiment at LEP (promotorski)	2	24	10 000

### FIZYKA JĄDROWA I FIZYKA PLAZMY

prof. Rafał Broda (IFJ) Struktura neutrono-nadmiarowych jąder i mechanizm ich tworzenia w głęboko nieelastycznych zderzeniach ciężkich jonów	7	36	168 000
prof. Stanisław Drożdż (IFJ) Fizyka złożonych układów otwartych: jądro atomowe	6	36	90 000

dr hab. Jan Błocki (IPJ)	2	36	58 000
Badanie dynamiki zderzeń ciężkich jonów			
prof. Reinhard Kulesa (IF UJ)	2	24	10 000
Pomiar przekrojów czynnych na produkcję mezonów $\phi$ , $K^+$ w reakcjach proton-proton i proton-jądro w pobliżu energii progowych (promotorski)			
dr hab. Jan Błocki (IPJ)	2	12	7 000
Badanie mechanizmu reakcji i dystrybucji energii wzbudzenia poprzez analizę krotności neutronów mierzonych w koincydencji z fragmentami pociskopodobnymi (promotorski)			
prof. Kazimierz Grotowski (IF UJ)	2	24	5 000
Poszukiwanie filtrów oraz sygnatur zderzeń centralnych w reakcjach ciężkich jonów (promotorski)			
prof. Adam Guła (WFiTJ AGH)	2	12	5 000
Badanie ewolucji czasowej populacji stanów spinowych atomów mionowych w mieszaninach izotopów wodoru (promotorski)			
mgr Krzysztof Starosta (IFD UW)	1	12	5 000
Badanie korelacji pomiędzy polaryzacją a kierunkiem emisji w kaskadach kwantów gamma pochodzących z rozpadu stanów jądrowych o zorientowanych spinach (metoda PDGO)			

**FIZYKA ATOMOWA I MOLEKULARNA, OPTYKA, AKUSTYKA**

prof. Wojciech Gawlik (IF UJ)	6	24	198 000
Nowe siły optyczne i optyka nieliniowa			
prof. Andrzej Bielski (IF UMK)	9	36	160 000
Efekty zderzeniowe w widmach par metali i gazów szlachetnych oraz zastosowanie do ich badania zjawiska optogalwanicznego			
dr Jan Fulara (IF PAN)	5	24	135 000
Badania spektroskopowe cząsteczek węgla i nienasyconych węglowodorów łańcuchowych w fazie gazowej			
dr Jarosław Koperski (IF UJ)	5	36	116 000
Badanie oscylacyjno-rotacyjnych struktur drobin van der Waalsowskich metodą cząsteczkowej wiązki naddźwiękowej skrzyżowanej z wiązką laserową			
dr hab. Andrzej Warczak (IF UJ)	10	36	100 000
Procesy atomowe zachodzące w zderzeniach jonów o energiach rzędu MeV/N z atomami			
dr hab. Paweł Kowalczyk (IFD UW)	7	36	95 000
Bezdopplerowska spektroskopia polaryzacyjna cząsteczek dwuatomowych			
dr Włodzimierz Jastrzębski (IF PAN)	4	24	80 000
Badanie dwuatomowych cząsteczek metali alkalicznych w wysoko wzbudzonych stanach elektronowych			
dr Mirosław Karpierz (IF PW)	5	12	35 000
Nieliniowe optycznie falowody ciekłokrystaliczne			
dr hab. Tadeusz Bancewicz (IF UAM)	3	24	33 000
Spektralne badania mechanizmów multipolowych odpowiedzialnych za pasma widmowe zabronione w przybliżeniu jednomolekularnym			
prof. Kazimierz Rzązewski (CFT PAN)	2	24	15 000
Przybliżenie silnego pola dla atomu dwuelektronowego (promotorski)			



dr Antoni Wójcik (IF UAM)	1	12	9 600
Badanie wpływu częstotliwości i czasu trwania krótkiego, intensywnego impulsu laserowego na własności pakietów falowych wytwarzanych w atomach rydbergowskich			
mgr Dariusz Dzik (IF UMK)	2	14	6 950
Pomiary funkcji wzbudzenia atomów wapnia przy zderzeniach z elektronami			

### METALE, MAGNETYKI, NADPRZEWODNIKI

doc. Andrzej Jeżowski (INTiBS PAN)	5	36	178 000
Transport ciepła w stałym tlenie i w stałych roztworach tlenu w silnych polach magnetycznych			
prof. Ludwik Dobrzyński (IF UW Białystok)	8	36	160 000
Badanie struktury elektronowej i własności magnetycznych niektórych stopów d-elektronowych			
dr hab. Józef Korecki (WFiTJ AGH)	5	36	150 000
Magnetyzm stopów podwójnych metali przejściowych realizowanych w układach wielowarstwowych			
prof. Robert Troć (INTiBS PAN)	10	36	150 000
Silnie skorelowane stany w potrójnych związkach uranu			
prof. Jan Stankowski (IFM PAN)	8	24	118 000
Absorpcja mikrofalowa w badaniach wnikania strumienia magnetycznego w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych			
prof. Henryk Drulis (INTiBS PAN)	4	24	90 000
Badania rozkładu strumienia magnetycznego w pobliżu, na powierzchni i wewnątrz nadprzewodnika II rodzaju w stanie mieszanym metodą tomografii EPR			
dr hab. Antoni Bukaluk (IMiF ATR Bydgoszcz)	7	36	84 000
Analiza zjawisk fizycznych towarzyszących procesowi dyfuzji w wielowarstwowych strukturach metali			
dr hab. Stefan Korczak (IF UMCS)	6	24	80 000
Kwantowanie rozmiarowe w nadprzewodniku			
prof. Karol Krop (WFiTJ AGH)	5	24	74 000
Magnetyzm związków $RMn_2$ - frustracja, faza mieszana			
prof. Aleksander Jabłoński (IChF PAN)	5	36	72 460
Efekty zderzeń elastycznych elektronów w spektroskopii fotoelektronów i spektroskopii elektronów Augera			
dr hab. Bogdan Bułka (IFM PAN)	8	24	64 500
Transport elektronowy i stabilność faz w układach skorelowanych elektronów o ograniczonej geometrii			
dr inż. Jerzy Dryzek (IFJ)	3	24	39 000
Badania układów niejednorodnych metodą anihilacji pozytonów			
dr Leszek Józefowski (IF UJ)	4	12	30 000
Badanie magnetycznych własności poziomów rezonansowych talu metodą dudnień kwantowych			
mgr inż. Leszek Gładczuk (IF PAN)	1	24	15 000
Rozszerzalność liniowa i magnetostrykcja w monokryształach $CuGeO_3$ w pobliżu przejścia Peierlsa			

dr Piotr Wróbel (INTiBS PAN)	1	14	8 000
Silnie skorelowane elektrony w wysokotemperaturowych nadprzewodnikach			
prof. Henryk Figiel (WFiTJ AGH)	2	12	4 940
Lokalne właściwości magnetyczne związków $RE_2Fe_{14}B$ badane metodą Magnetycznego Rezonansu Jądrowego (promotorski)			

### KRYSTAŁY MOLEKULARNE I POLIMERY, CIECZYE

prof. Mieczysław Chybicki (WFiTMS PG)	7	36	120 000
Struktury granulaste w szklach - wytwarzanie, właściwości fizyczne, transport nośników ładunku			
dr hab. Robert Hołyst (IChF PAN)	6	36	90 000
Fizyka miękkiej materii			
dr Antoni Kocot (IF UŚI)	2	24	32 000
Badanie uporządkowania oraz dynamiki ferroelektrycznych ciekłych kryształów w próbce powierzchniowo stabilizowanej			
prof. Narcyz Piślewski (IFM PAN)	2	18	11 000
Badanie dynamiki kwantowej grupy $NH_4$ w kryształach z rodziny $(NH_4)_2MCl_6$			
prof. Keshra Sangwal (KF PL)	3	18	10 000
Badanie cech klastrów soli jonowych tworzących się w roztworach i próżni (promotorski)			
dr Maciej Wnęk (IF UJ)	1	12	5 000
Badania cienkich warstw typowych związków ciekłokrystalicznych na różnych podłożach metodami relaksacji dielektrycznej			

### PÓLPRZEWODNIKI I IZOLATORY

dr Michał Leszczyński (CBW PAN)	9	24	80 000
Wpływ domieszkowania i struktury realnej na ujemną rozszerzalność termiczną wybranych związków półprzewodnikowych			
dr hab. Lucjan Jacak (IF PWR)	8	36	75 000
Elektronowe i optyczne własności kropek kwantowych i własności układów złożonych fermionów			
prof. Bronisław Orłowski (IF PAN)	9	36	65 000
Dwuwymiarowe struktury elektronowe na czystych powierzchniach półprzewodników			
dr Włodzimierz Jaskólski (IF UMK)	8	30	60 000
Układy kwantowe przestrzennie ograniczone - własności stacjonarne i dynamika			
dr hab. Piotr Bogusławski (IF PAN)	3	24	58 000
Teoria defektów i powierzchni w GaN, AlN oraz w układach GaN/AlN			
prof. Maria Stęślicka (IFD UWR)	5	12	35 000
Teoretyczne wyznaczenie struktury elektronowej powierzchni GaN			
dr Ewa Gałdecka (INTiBS PAN)	1	36	22 000
Modele profili dyfrakcyjnych i przetwarzanie danych pomiarowych dla dokładnej rentgenowskiej analizy strukturalnej			



dr hab. Piotr Bizoń (IF UJ) Zjawiska krytyczne w kolapsie grawitacyjnym	3	24	45 000
dr Krzysztof Pachucki (IFT UW) Teoretyczne badanie dwu- i trzy-ciałowych układów w elektrodynamice kwantowej	1	36	35 000
dr hab. Przemysław Staszewski (IF UMK) Dynamika stochastyczna obserwowanych układów kwantowych	5	30	34 500
prof. Krzysztof Walasek (IF WSP Z. Góra) Teoretyczne aspekty badania własności szkieł spinowych i orientacyjnych z oddziaływaniem krótkozasięgowym	3	20	29 000
dr hab. Roman Gielerak (IFT UW) Stochastyczne podejście do fizyki wielu ciał	7	12	27 770
prof. Krzysztof Wódkiewicz (IFT UW) Operacyjna trygonometria i tomografia kwantowych stanów pola promieniowania	2	24	20 000

**FIZYKA POŚREDNICH I WYSOKICH ENERGII**

dr hab. Kazimierz Bodek (IF UJ) Pomiar poprzecznej polaryzacji pozytonów emitowanych w rozpadzie spolaryzowanych mionów	10	36	180 000
dr Henryk Pałka (IFJ) Badanie oddziaływań $e^+e^-$ przy energiach powyżej progu na produkcję $W^+W^-$ : poszukiwanie nowych cząstek i analiza stanów ekskluzywnych wyprodukowanych w zderzeniach foton-foton	10	24	90 000
prof. Andrzej Bałanda (IF UJ) Budowa i testy segmentu detektora kaskadowego do spektrometru HADES	12	24	80 000
dr hab. Maria Różańska (IFJ) Badanie niezachowania parzystości CP w rozpadach mezonów B w eksperymencie BELLE	7	12	40 000
prof. Marek Zrałek (UŚI) Ciężkie neutrino w przyszłych leptonowych akceleratorach (promotorski)	4	12	10 000
mgr Marek Kirejczyk (IFD UW) Badanie cząstek dziwnych emitowanych w reakcji $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$ przy energii 1.93 A GeV przy pomocy detektora FOPI	1	12	5 000

**FIZYKA JĄDROWA I FIZYKA PLAZMY**

prof. Wiktor Kurcewicz (IFD UW) Struktura jąder atomowych z obszarów deformacji oktopolowej	10	30	145 000
doc. Maria Massalska-Arodź (IFJ) Analiza korelacji w układach o złożonej dynamice	8	36	110 000
dr Kazimierz Zuber (IFJ) Badanie superdeformacji i hiperdeformacji w jądrach atomowych	1	24	20 000
mgr Agnieszka Trzcńska (ŚLCJ UW) Badanie efektów izotopowych w atomach antyprotonowych	1	12	7 000

## FIZYKA ATOMOWA I MOLEKULARNA, OPTYKA, AKUSTYKA

prof. Jerzy Prochorow (IF PAN)	5	36	150 000
Izomeria orientacyjna i jej wpływ na fotofizykę słabych agregacji i kompleksów molekularnych			
dr hab. Czesław Szmytkowski (WFTiMS PG)	5	33	145 000
Oddziaływania elektronów z drobinami i atomami w procesie zderzenia			
dr Henryk Fiedorowicz (IO WAT)	10	20	135 000
Badania laserów rentgenowskich na neono-podobnych oraz niklo-podobnych jonach gazów szlachetnych			
dr hab. Małgorzata Głódź (IF PAN)	5	30	115 000
Zderzeniowy przekaz wzbudzenia w wodoropodobnych stanach rydbergowskich atomów metali alkalicznych			
dr hab. Lidia Smentek (IF UMK)	2	24	44 000
Teoretyczny opis spektroskopowych własności jonów ziemi rzadkich w kryształach			
dr Piotr Rymuza (IPJ)	6	12	21 200
Pomiar widm hipersatelitarnych $K_{\alpha}$ emitowanych z atomów o średniej liczbie atomowej			
prof. Jacek Karwowski (IF UMK)	2	18	11 000
Statystyczna teoria widm izolowanych molekuł (promotorski)			

## METALE, MAGNETYKI, NADPRZEWODNIKI

dr hab. Feliks Stobiecki (IFM PAN)	9	36	180 000
Zbadanie korelacji między zmianami morfologii wielokrotnych warstw na bazie permaloju, wywołanymi dyfuzją, a ich własnościami magnetycznymi i transportem elektronowym			
dr Marian Stanisław Uba (IF UW Białystok)	8	36	150 000
Badanie struktury elektronowej układów warstwowych metali 3d-4d-5d metodami spektroskopii magneto-optycznej i obliczeń pasmowych <i>ab initio</i>			
dr Wojciech Kempniński (IFM PAN)	5	24	100 000
Dynamika molekuly fullereny a fazy nadprzewodzące w układach $Me_xC_{60}$			
prof. Stanisław Robaszekiewicz (IF UAM)	17	24	100 000
Własności uporządkowań elektronowych i nadprzewodnictwa układów o naprzemiennej i mieszanej walencyjności			
dr Andrzej Zaleski (INTiBS PAN)	8	24	100 000
Zbadanie separacji fazowej w cienkowarstwowych nadprzewodnikach wysokotemperaturowych			
dr Aleksander Wittlin (IF PAN)	4	24	80 000
Badania optyczne mechanizmu przewodnictwa w egzotycznych metalach – transport międzywarstwowy w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych oraz przejście metal-izolator w izolatorach z przeniesieniem ładunku			
prof. Karol Wysokiński (IF UMCS)	4	36	60 000
Nadprzewodnictwo w układach z lokalnym parowaniem: rola nieporządku, oddziaływań elektron-bozon i anizotropii			

dr hab. Olgierd Żogał (INTiBS PAN) Dwukrotne przejście fazowe metal-niemetal	2	24	43 440
dr Marian Kuźma (IF WSP Rzeszów) Zastosowanie recepty Weyla do badania symetrii wewnętrznej niskowy- miarowych kryształów magnetycznych	4	24	20 000
dr Halina Misiorek (INTiBS PAN) Fononowe i elektronowe efekty anharmoniczne w transporcie cieplnym w kierunku osi <i>c</i> wysokotemperaturowych nadprzewodników	3	10	20 000
prof. Henryk Szymczak (IF PAN) Badanie zjawiska gigantycznej magnetostrykcji w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych (promotorski)	2	24	20 000
prof. Janusz Baszyński (IFM PAN) Sprzężenie wymienne w warstwach potrójnych Fe/Ag/Fe – rola warstwy magnetycznej i niemagnetycznej (promotorski)	2	18	15 000

**KRYSZTAŁY MOLEKULARNE I POLIMERY, CIECZE**

dr Roman Pędrys (IF UJ) Fizyczne i chemiczne procesy w erozji zestalonych gazów bombardowa- nych jonami i elektronami	8	36	70 800
dr Piotr Czarnecki (IF UAM) Badanie struktury i anizotropowych własności dielektrycznych kryszta- łów czterofluoroboranu pirydyniowego	6	12	50 000
dr Wojciech Medycki (IFM PAN) Badanie gęstości spektralnych dla ruchu deuteronów w asymetrycznym potencjale metodą $^2\text{H}$ NMR	2	24	40 000
doc. Zbigniew Trybuła (IFM PAN) Wpływ promieniowania UV na stan elektronowy kompleksu żelazowo- -glicynowego w kryształach TGS:Fe $^{3+}$ (promotorski)	2	12	10 000

**PÓŁPRZEWODNIKI I IZOLATORY**

prof. Tomasz Dietl (IF PAN) Niskotemperaturowe zjawiska kwantowe w strukturach półprzewodni- kowych	12	36	250 000
prof. Marek Szymoński (IF UJ) Elektronowo stymulowana desorpcja cienkich warstw epitaksjalnych izo- latorów jonowych	6	24	150 000
prof. Jerzy Czyżewski (IFD UWŹ) Eksperymentalna weryfikacja teoretycznych modeli elektronowo i ter- micznie wzbudzonej desorpcji – DIET. Układy: gaz-metal i gaz-pół- przewodnik	7	36	140 000
dr Wojciech Szuszkiewicz (IF PAN) Własności magnetyczne i dynamika sieci nowej rodziny półprzewodni- ków półmagnetycznych kryształów HgS domieszkowanych jonami metali przejściowych	7	24	100 000
dr Elżbieta Jartych (KF PL) Oddziaływania nadsubtelne w materiałach nanokrystalicznych	5	24	81 400

dr Krzysztof Świątek (IF PAN)	7	29	80 000
Procesy generacji i rekombinacji wzbudzeń w cienkich warstwach i strukturach kwantowych wybranych półprzewodników $A_{II}B_{VI}$			
prof. Włodzimierz Zawadzki (IF PAN)	3	36	60 000
Magneto-optyka i magneto-transport w półprzewodnikowych systemach dwu i trzywymiarowych			
dr Ryszard Hrabański (KF PCz)	3	36	57 000
Przejścia fazowe i fazy niewspółmierne w układach $A_2BX_4$			
prof. Jan Blinowski (IFT UW)	3	24	48 000
Nowa klasa półprzewodników półmagnetycznych $A_{1-x}Cr_xB$ - teoria własności magnetycznych i elektronowych			
prof. Andrzej Twardowski (IFD UW)	2	18	40 000
Polaron magnetyczny w $Cd_{1-x}Cr_xS$ - nowa sytuacja			
mgr Anna Stachow (IFD UW)	1	12	9 200
Zbadanie magnetycznego diagramu fazowego warstw $Zn_{1-x}Mn_xTe$ o dużej zawartości Mn ( $0.5 < x < 1.0$ )			

---

## WSPOMNIENIA – ROCZNICE

**Lucjan Piela**

*Wydział Chemii  
Uniwersytet Warszawski  
Warszawa*

### **Wspomnienie o Włodzimierzu Kołosie (1928 – 1996)**

#### **Recollection on Włodzimierz Kołos (1928 – 1996)**

Włodzimierz Kołos urodził się w 1928 r. w Pińsku w rodzinie kolejarskiej. Jeszcze przed II wojną światową Kołosowie osiedli w Środzie Wielkopolskiej. Tam w czasie okupacji niemieckiej kilkunastoletni Włodek pracował w zakładzie fotograficznym.

Studia Włodzimierz Kołos rozpoczął na Uniwersytecie Poznańskim. Musiał wcześniej olśnić profesorów swoimi zdolnościami, bo jeszcze jako student został asystentem w Katedrze Chemii Organicznej. Młody asystent rzucił jednak w pewnym momencie chemię organiczną i przeniósł się do Warszawy. Powodem były zamiłowania do matematyki i fizyki. Jako mistrza wybrał prof. Leopolda Infelda z Instytutu Fizyki Teoretycznej UW, wsławionego bliską współpracą z Albertem Einsteinem w okresie, gdy Einstein pracował w Instytucie Badań Zaawansowanych w Princeton. Przeniesienie się do Warszawy oznaczało stratę finansową, ale tu Kołos był pryncypialny: należy wybrać najznakomitszy zespół w dziedzinie, którą się kocha. W takim zespole wiedzą, co jest ważne, a co jest marginalne i zajmują się tylko tym, co podstawowe. Ta prosta z pozoru recepta jest kluczowo ważna dla młodych i przyszłych adeptów nauki, którzy może ten tekst będą mieli okazję czytać.



Włodzimierz Kołos doktorat u prof. Infelda wykonał w rekordowo krótkim czasie dwóch lat. Rozprawa doktorska dotyczyła teoretycznego opracowania wpływu zahamowanej rotacji na rozpraszanie neutronów. Wkrótce potem Kołos zajął się problemem korelacji elektronów. Było to wyzwanie intelektualne o wielkim znaczeniu w skali światowej, gdyż bardzo wiele wielkości fizycznych i chemicznych zależy od korelacji ruchów elektronów. Uczonemu od specjalisty naukowca (podobnie jak mistrza od nauczyciela rzemiosła) odróżnia się po tym, że ten pierwszy zmagają się z problemami fundamentalnymi, a temu drugiemu wystarczają problemy wąskie. Dlatego pewnie problem korelacji elektronowej stał się problemem centralnym całego naukowego życia prof. Kołosa.

Po doktoracie Kołos wyjechał do USA, gdzie na Uniwersytecie Chicagowskim rozpoczął współpracę z Clemensem Roothaanem w laboratorium prof. Roberta Mullikena (późniejszego noblisty). Roothaan wsławił się tym, że był obok Hunda pierwszym, który zastosował powszechnie obecnie używane tzw. przybliżenie analityczne do orbitali molekularnych, czyli przedstawienie tych orbitali jako liniowych kombinacji orbitali atomowych. Rezultatem współpracy z Roothaanem były publikacje dotyczące cząsteczki wodoru, które uczyniły z chemii, posługującej się dotychczas koncepcjami jakościowymi, gałąź fizyki teoretycznej. Między innymi dzięki Kołosowi chemia teoretyczna przestała być filozofią, a stała się nauką ścisłą w najbardziej rygorystycznym znaczeniu tego słowa. Te obliczenia i późniejsze prace Włodzimierza Kołosa z jego uczniem Lutosławem Wolniewiczem (pracującym obecnie na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu) rozślawiły Polskę. Chyba wszystkie podręczniki chemii kwantowej na świecie podają ich teoretyczne przewidywania. Obliczenia były wykonane z taką precyzją, że przez dziesiątki lat były najdokładniejszymi, jakie wykonano w chemii kwantowej. Ich jakość przewyższała jakość porównywanych z nimi pomiarów spektroskopowych, a te ostatnie były najdokładniejszymi pomiarami, jakie wykonał Człowiek. Rzecz nie polegała na dostępie Kołosa do najszybszych komputerów świata, którymi były wtedy (lata pięćdziesiąte i sześćdziesiąte!) komputery sił powietrznych USA. Aby wykonać takie obliczenia, trzeba było uwzględnić wszystkie znane efekty fizyczne, a tego nikt przed Kołosem nie zrobił nawet dla najprostszych cząsteczek.

Wyniki Kołosa i Wolniewicza wywołały w świecie nauki sensację i niepokój, bo nie zgadzały się z doświadczeniem i to w sposób, który zdawał się przeczyć podstawom teorii kwantowej. Były tylko trzy możliwości: albo mechanika kwantowa jest niesłuszna, albo teoretycy popełnili błąd, albo eksperymetatorzy (wśród nich przyszły laureat Nagrody Nobla Herzberg) popełnili błąd. Obliczenia Polacy wykonali ponownie, tym razem w tzw. podwójnej precyzji – wynik ten sam. Zaniepokojony Herzberg wykonał nowe pomiary i uzyskał nieco inny wynik, który już nie przeczył teorii. Rozpoczął się wyścig teoretyków i eksperymetato-



Włodzimierz Kołos

rów, który trwa do dziś, przy czym teoretycy są zwykle o jeden krok do przodu. Rezultatem jest ugruntowana w świecie opinia, że obliczenia wykonywane przez Polaków to najwyższa klasa światowa. Był to też punkt odniesienia dla wszystkich innych obliczeń, bo są one z reguły uzyskiwane przy zastosowaniu wielu przybliżeń o niekontrolowalnej zasadności. W tej sytuacji wyniki Kołosa i Wolniewicza stanowiły i stanowią praktycznie jedyny punkt orientacyjny pozwalający osądzać zasadność tych przybliżeń.

Profesor Kołos stał się w świecie i w polskiej chemii niekwestionowanym autorytetem, jego nazwisko otwierało jego uczniom drzwi do najlepszych instytucji światowych jako rękojmią najwyższej jakości badań. Otrzymał doroczny, pierwszy z rozdanych, złoty medal Międzynarodowej Akademii Nauk Kwantowo-Molekularnych, został członkiem Academia Europea. Do prof. Kołosa (profesorem został w wieku trzydziestu kilku lat) garnęli się najlepsi z najlepszych, zbudował z nich na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego zespół nazywany żartobliwie w świecie „Colosseum”. Tam, w Pracowni Chemii Kwantowej, zaczęły powstawać prace, z których może najważniejsze dotyczyły oddziaływań międzycząsteczkowych (współczesna teoria tych oddziaływań powstała w Warszawie), ale także: syntezy jądrowej katalizowanej mionami, wyznaczenia masy neutrina, znajdowa-

nia najbardziej stabilnych struktur chemicznych poprzez optymalizację globalną itp. Publikacje Kołosa i jego uczniów owocowały i owocują tysiącami cytowań w literaturze światowej, prawdopodobnie są to najczęściej cytowane w literaturze dzieła polskich uczonych.

Włodzimierz Kołos zmarł w Warszawie dnia 3 czerwca 1996 r.

Tak brak nam dobrych wzorców! Polska, jeśli zechce, może czerpać z życia Profesora Włodzimierza Kołosa wielką siłę. On pokazał, że nie ma łatwych dróg, że wielka praca daje wielkie plony, że stać nas na wiele. Jego życie przejdzie do historii nauki, a dla nas będzie wyzwaniem. Czy potrafimy kroczyć drogą, którą on kroczył?

## DYDAKTYKA FIZYKI

**Janusz Eugeniusz Dmochowski**

*Instytut Fizyki PAN*  
*Warszawa*

### Historia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie (w 75. rocznicę powstania)

A history of School Science Laboratory in Vilnius  
(at 75th anniversary)

*Abstract:* A brief history of science laboratory established in 1921 to facilitate nature study for many primary and secondary school pupils in Vilnius is presented.

W ostatnim okresie w *Postęпах Fizyki* pojawiają się artykuły w cyklu „Wspomnienia–Rocznice” związane z 75-leciem działań podejmowanych przez środowiska naukowe i pedagogiczne po odzyskaniu przez Rzeczpospolitą niepodległości w 1918 r. Między innymi ukazał się artykuł prof. Andrzeja Hrynkiewicza „Fizyka w Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie”, związany z 75-leciem wskrzeszenia tej Uczelni w 1919 r. Artykuł ten opisuje głównie dokonania profesorów fizyki Uniwersytetu na polu badań naukowych. Aktywność wileńskiego środowiska fizyków nie ograniczała się jednak do badań naukowych. Ośrodek wileński w okresie międzywojennym był jednym z najbardziej pionierskich w dziedzinie dydaktyki fizyki, w szczególności w zakresie szkół podstawowych i średnich, nazywanych wówczas szkołami powszechnymi, gimnazjami i liceami.

W niniejszym szkicu pragnę przedstawić fragment historii działań na tym polu w ośrodku wileńskim. Profesor Maciej Suffczyński, przewodniczący Komisji Historycznej przy Zarządzie Głównym Polskiego Towarzystwa Fizycznego, gorąco

zachęcał mnie do podzielenia się wiedzą, jaką na ten temat uzyskałem dzięki rodzinnej tradycji i przechowywanych przez moich przodków – dziada Eugeniusza Dmochowskiego i ojca Zbigniewa Dmochowskiego – dokumentów i artykułów dotyczących historii Szkolnej Pracowni Przyrodniczej, założonej i prowadzonej przez mojego pradziada Aleksandra Dmochowskiego. Prośba Redakcji *Postępów Fizyki* w związku z przypadającą 75. rocznicą powstania Pracowni i uwagi mojego ojca Zbigniewa, że w chwili obecnej chyba nie znajdują się inni bezpośredni świadkowie działalności Pracowni dysponujący takim materiałem, stanowiły dodatkową motywację do przedstawienia niniejszego szkicu. Nie jest on w pełni oryginalnym studium historii Pracowni, gdyż w dużej mierze opiera się na artykułach opublikowanych [1-3], ale ze względu na bardzo ograniczony dostęp do tych materiałów źródłowych pozwoliłem sobie dokonać wyboru i kompilacji zasadniczych tez tych artykułów.



1914 33, Aleksander  
Dmochowski  
m. Wilno

Szkolna Pracownia Przyrodnicza w Wilnie powstała w roku 1921, a więc zaraz po odzyskaniu przez Polskę niepodległości i trudnych doświadczeniach wojny 1920 r. Twórca Pracowni, Aleksander Dmochowski wykładając w latach 1919–20 fizykę w kilku szkołach wileńskich i zwiedzając różne zakłady naukowe w Wilnie, spotkał się z powojennym zniszczeniem urządzeń szkolnych i jednoczesnym brakiem funduszy na wyposażenie w pomoce naukowe poszczególnych nowo powstających szkół, przede wszystkim powszechnych. Wówczas to, wkrótce po wkroczeniu wojsk polskich generała Żeligowskiego do Wilna, powziął śmiałą i nader twórczą myśl zorganizowania w Wilnie centralnego gabinetu fizycznego dostępnego dla tych szkół, które nie posiadały własnych pomocy naukowych.

Idea ta wynikała z głębokiego przekonania, że nauczanie podstaw fizyki, chemii i mineralogii, czyli tego, co nazywano wówczas przyrodą nieożywioną, musi być oparte na eksperymencie. Opisując w kilka lat później na Zjazdach Fizyków Polskich swoje doświadczenia twórca Pracowni twierdził [4-7]:

„Obecnie jest rzeczą zbyt dużą dowodzić konieczności zastosowania przy nauczaniu fizyki metody, opartej o ćwiczenia uczniowskie. (...) Ćwiczenia własnoręczne uczniów nie tylko w szkołach powszechnych, lecz także i w średnich powinny stanowić fundament kursu fizyki, a nie tylko jego drugorzędny dodatek. Demonstracje nauczyciela uzupełniają tylko ćwiczenia uczniowskie. Dążymy do tego, aby każde zjawisko fizyczne uczeń sam wywołał i zbadał za pomocą przyrządów prostych, na własnym stole do ćwiczeń, nie zaś obserwował je biernie i zdaleka, podczas gdy nauczyciel pokazuje to zjawisko ze stołu demonstracyjnego. Każda lekcja musi się odbywać w pracowni fizycznej, posiadającej również urządzenia do demonstracji. Lekcja z ćwiczeniami trwa dwie godziny lekcyjne z rzędu (90 minut), przyczem ćwiczenia przerabia się metodą równorzędną, tj. każda grupa uczniów otrzymuje przyrządy jednakowe i przerabia jednakowe ćwiczenia. (...)

Nauczanie fizyki, nie oparte na doświadczeniach, a więc prowadzone tylko pałamięciowo z podręcznika, stanowi tzw. »fizykę kredową«, gdzie wszystko odbywa się na tablicy przy pomocy kredy, bez żadnych ćwiczeń i żadnych demonstracji”.

U źródeł idei stworzenia międzyszkolnej pracowni leżała również konstatacja, że dydaktykę fizyki należy dostosować do zastanej sytuacji Państwa i społeczeństwa Rzeczypospolitej:

„Ze względów finansowych niemożliwością jest w warunkach obecnych organizowanie pracowni fizycznych przy każdej szkole powszechnej; należy natomiast urządzać wspólne pracownie dla szeregu szkół. Taką wspólną pracownię należy traktować jako szkołę powszechną, w której odbywa się nauczanie nie wszystkich przedmiotów, lecz jedynie przyrody dla tej samej młodzieży, która uczęszcza do szkół powszechnych. (...) z ilości uczącej się młodzieży, wynoszącej przeszło 3 000 000 (...) przeszło 90% kończy swe wykształcenie na szkole powszechnej, skąd wyjdą w życie jako drobni rolnicy, rzemieślnicy, robotnicy fabryczni itp. Tylko bardzo nieliczny odsetek tej młodzieży trafi na kursy dokształcające, obejmujące nauczanie fizyki” [4]. „Nie potrzeba dowodzić, że elementarną wiedzę z dziedziny fizyki powinien posiadać każdy robotnik, rolnik, rzemieślnik, gdyż fizyka jest fundamentem, na którym buduje się wiedzę i umiejętności techniczne” [5].

Realizacja idei powołania Pracowni miała doprowadzić do jak najszerszego dostępu uczniów szkół powszechnych Wilna i okolic do właściwie prowadzonego kursu fizyki.

Po prawie całorocznych zabiegach wśród nauczycielstwa Aleksandrowi Dmochowskiemu udało się zainteresować sprawą powołania pracowni Departament Oświaty byłej Litwy Środkowej oraz Zarząd miasta Wilna. Przy pomocy znanego przyrodnika Zygmunta Fedorowicza i przedstawicieli władz Litwy Środkowej

Władysława Lichterowicza i Mieczysława Engiela udało mu się spełnić warunki niezbędne do założenia pracowni przyrodniczej oraz ogrodu botanicznego: zdobył stosunkowo niewielki i bardzo zniszczony podczas wojny lokal w domu mieszkającym (na rogu ulicy Zawalnej i Małej Pohulanki) wraz z przyległym do niego podwórzem, zawalonym rupieciami, kamieniami i starymi szynami tramwajowymi, z przeznaczeniem na ogród botaniczny. Uzyskał też niewielką sumę pieniędzy (3300 zł) na umeblowanie, organizację muzeum przyrodniczego i półroczne pobyty personelu, w tej liczbie i samego twórcy i kierownika.

Żadnych absolutnie zbiorów, przyrządów fizycznych ani umeblowania pracowni nie otrzymała. Wszystko trzeba było tworzyć od początku: wszystko projektował, planował, tworzył i organizował osobiście kierownik z zapałem młodzieńczym (mimo dochodzących 50 lat), z głęboką znajomością rzeczy, z niestrudzoną energią i wiarą w przyszłość.

W początkowym okresie funkcjonowania Szkolnej Pracowni Przyrodniczej, jako centralnego muzeum nauk przyrodniczych ze szkolnym ogrodem botanicznym, Pracownia stawiała sobie za cel gromadzenie pomocy szkolnych z dziedzin przyrodznawstwa oraz organizację wykładów nauk przyrodniczych dla wileńskich szkół powszechnych. Wkrótce jednak program ten został poważnie rozszerzony. Przystąpiono do zorganizowania na jej terenie ćwiczeń uczniowskich z dziedziny fizyki, chemii, mineralogii i przyrody żywej dla tych szkół, które nie posiadały odpowiednich urządzeń i pomocy naukowych.

Do Pracowni od początku uczęszczali uczniowie nie tylko szkół powszechnych, ale i średnich, w liczbie coraz to większej, tak że z czasem korzystały z niej prawie wszystkie szkoły wileńskie różnych typów, o różnych językach wykładowych, w liczbie przeszło 100, a roczna frekwencja w Pracowni przewyższała w niektórych latach 150 tys. osób. Na przykład, w roku szkolnym 1925/26 uczęszczały do Pracowni dzieci z 83 szkół, w tej liczbie było 51 szkół powszechnych i 32 średnie. Z Pracowni korzystało 58 szkół polskich i 25 szkół innych narodowości (żydowskich, białoruskich, litewskich, rosyjskich i niemieckich).

Pomimo że Pracownia powstawała niemal z niczego i rozporządzała stale bardzo szczupłymi środkami materialnymi, zdołała ona w ciągu swojego krótkiego istnienia, nie obciążając skarbu państwa, zgromadzić prawie wszystkie pomoce naukowe z zakresu przyrodznawstwa wymagane przez programy ministerialne dla szkół powszechnych i średnich, urządzić szkolny ogród botaniczny, bibliotekę przyrodniczą i warsztaty mechaniczne oraz skonstruować szereg prostych i tanich przyrządów fizycznych. Przyrządy te były dostosowane do polskich warunków życiowych, uwzględniających brak w wielu miastach i prawie we wszystkich wsiach elektryczności, gazu, wodociągów i kanalizacji. Aleksander Dmochowski pisał w 1931 r.: „Przy studiowaniu literatury obcej przyszedłem do przekonania,



Grono wileńskich nauczycieli szkół powszechnych, korzystających ze Szkolnej Pracowni Przyrodniczej. Czwarty od prawej siedzi Aleksander Dmochowski, dyrektor Pracowni (fot. Bronisław Miedzionis, 1932 r.).

że zagraniczne podręczniki i przyrządy, przeznaczone na niższy poziom nauczania, są dla nas zupełnie nieodpowiednie ze względu na rozbieżność programów i na nieprzystosowanie do naszych warunków życiowych. (...) Wobec powyższego poszedłem własną drogą; przystąpiłem do układania ćwiczeń, wymagających najprostszych przyrządów, które każdy nauczyciel, jeżeli zechce, może u siebie w szkole sporządzić, korzystając z lekcji robót ręcznych, lub posługując się pomocą przeciętnego stolarza i ślusarza. Do sporządzania tych przyrządów wybierałem materiały, które u nas w Polsce, nawet w małym mieście można znaleźć”.

Przy dużej frekwencji każde ćwiczenie było przerabiane wielokrotnie przez dzieci różnego wieku i z różnych szkół, co dawało podstawy do oceny jego wartości dydaktycznej. Jednocześnie, dzięki czynionym spostrzeżeniom, Pracownia miała możliwość sporządzać coraz praktyczniejsze przyrządy i udoskonalać ćwiczenia dawniej obmyślane, jak również układać nowe, z podstawowych działów fizyki (mechaniki, światła, ciepła, elektryczności, magnetyzmu) i chemii.





Szkoła powszechna nr 14 w Pracowni Wileńskiej (otrzymywanie obrazów za pomocą soczewek).

Pracownia została upaństwowiona w roku 1925 i była własnością Kuratorium Okręgu Szkolnego Wileńskiego. Personel jej składał się z jej założyciela i dyrektora A. Dmochowskiego, z mechanika, ogrodnika, dwóch woźnych-laborantek i jednego zwyczajnego woźnego. Prócz personelu stałego kuratorium przydzielano do Pracowni od czasu do czasu – dla nauki lub pomocy – nauczycieli szkół powszechnych i średnich.

Personel Pracowni był mianowany i opłacany przez Kuratorium Okręgu Szkolnego Wileńskiego oraz był zależny od niego. Wydatki na lokal, opał, światło i zaopatrzenie w wodę ponosił magistrat, który opłacał również woźnego. Co zaś do wydatków naukowych i na pomoce naukowe, ogród szkolny, bibliotekę itd., to Pracownia korzystała jedynie z doraźnych, jednorazowych zapomóg, udzielanych przez kuratorium, lub Ministerstwo Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego oraz niektóre instytucje społeczne, jak również z niedużych opłat wnoszonych przez prywatne szkoły średnie. Szkoły powszechnie – publiczne i prywatne – jak również szkoły średnie państwowe miały prawo bezpłatnie korzystać z Pracowni.

Wartość inwentarza Pracowni – umeblowania, biblioteki, przyrządów fizycznych, zbiorów mineralogicznych, zoologicznych, botanicznych, szkła i odczynników chemicznych, przeźroczy itp., wynosiła w dniu 1 lipca 1926 r. 74 468 zł 94 gr



Szkoła powszechna nr 39 w Pracowni Wileńskiej (ważenie wody).

i była prawie trzykrotnie większa od wpływów do kasy Pracowni za lata 1921–26 (28 993 zł 29 gr) dzięki otrzymaniu przez Pracownię bezpłatnie całego szeregu cennych zbiorów muzealnych od fabryk, zakładów przemysłowych, szkół, instytucji społecznych i osób prywatnych.

Organizacja pracy w Pracowni była następująca: w pierwszym tygodniu każdego roku szkolnego odbywały się w Pracowni zebrania nauczycieli przyrody wszystkich szkół powszechnych Wilna, celem ustalenia godzin ćwiczeń z fizyki, chemii i mineralogii. Dla klas VI i VII każdej szkoły Pracownia przeznaczała po 2 godziny tygodniowo, uzgadniane z planem lekcyjnym danej szkoły. Następnie na początku każdego półrocza kierownik Pracowni dokonywał wspólnie z nauczycielami rozkładu materiału z przyrodoznawstwa dla klas VI i VII. Materiał przypadający na jeden tydzień był ilustrowany odpowiednimi ćwiczeniami, które uczniowie danej szkoły przerabiali w Pracowni w ciągu 2 godzin dla niej przeznaczonych. Godziny pozostałe z rozkładu (1 lub 2) służyły do dalszego omówienia, ale już w klasie, zjawisk zaobserwowanych w Pracowni. W ten sposób, podstawą nauczania przyrody martwej w szkołach powszechnych Wilna stały się własne obserwacje i ćwiczenia, wykonywane przez uczniów w Pracowni.

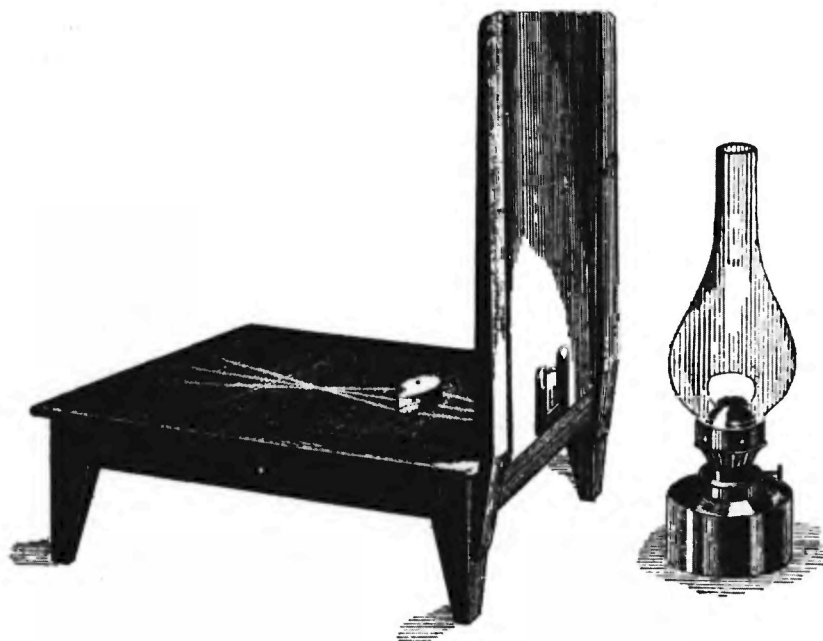
Ze względu na duże znaczenie prawidłowego prowadzenia tych lekcji, dyrektor Pracowni zorganizował od jesieni 1923 r. z nauczycielami przyrody klas VI

i VII stałe konferencje, które odbywały się regularnie w Pracowni co tydzień w godzinach popołudniowych. Na konferencjach tych nauczyciele przerabiali osobiście przypadające na najbliższy tydzień ćwiczenia i demonstracje pod kierunkiem kierownika Pracowni, który udzielał jednocześnie niezbędnych wyjaśnień oraz wskazówek merytorycznych i metodycznych. Dzięki tym konferencjom każdy nauczyciel zaznajamiał się z przyrządami i opracowywał lekcję, na którą w przeciągu tygodnia miał przyprowadzić swoją klasę (oddział).

Wszystkie przyrządy przygotowywał zawczasu dla każdej lekcji personel Pracowni – 2 laborantki-woźne i mechanik, tak aby nauczyciel przybywający ze swą klasą zastał wszystko do lekcji przygotowane i mógł zająć się jedynie przeprowadzeniem ćwiczeń ze swymi uczniami. Wobec tego, że każda szkoła miała godziny wcześniej ustalone, pomimo ogromnego ruchu udawało się zachować porządek w kolejnym i nieustannym zmienianiu się szkół w Pracowni w ciągu dnia pracy. Ujednoczenie ćwiczeń dla wszystkich szkół powszechnych znacznie ułatwiało pracę personelu Pracowni. Każda klasa natychmiast po przybyciu była wprowadzana do odpowiedniej sali, gdzie zastawała potrzebne jej przyrządy ustawione na stołach, dokoła których rozsadzano uczniów, podzielonych na trzyosobowe grupy. Każda z tych grup otrzymywała takie same przyrządy i każda przerabiała takie same ćwiczenia. Nauczyciel dawał uczniom niezbędne wskazówki, bacząc, aby każdy uczeń danej grupy pracował i przerabiał część doświadczeń, składających się na całość ćwiczenia. Lekcje przeplatane były stosowną pogadanką, prowadzoną przez nauczyciela, w której zwracało się uwagę przede wszystkim na zastosowanie praw fizyki w całej przyrodzie, a także na łączność fizyki z praktyką. Najważniejsze spostrzeżone zjawiska uczniowie systematycznie i zwięźle notowali, ilustrując opis schematycznymi rysunkami, następnie zaś przyswojony na lekcji materiał wciągali do czystych zeszytów, które były często przez nauczyciela przeglądane i poprawiane, gdyż zastępowały poniekąd uczniowi podręcznik.

O ile doświadczenie jakieś, ze względu na niebezpieczeństwo lub wysoką cenę i skomplikowaną budowę przyrządu, nie mogło być przez uczniów wykonane własnoręcznie, przerabiane było przez nauczyciela i odpowiednio przez niego omawiane. W ten sposób podczas lekcji w Pracowni przeplatały się ćwiczenia własnoręczne uczniów, demonstracje nauczyciela, wykonywanie rysunków i sporządzanie notatek przez uczniów oraz odpowiednie pogadanki nauczyciela. Po skończonym ćwiczeniu klasa opuszczała salę, przy czym każda grupa musiała zostawić na stole przyrządy w takim porządku, w jakim je zastała; nauczyciel sprawdzał, czy wszystkie przyrządy i okazy były w całości, laborantki zaś natychmiast rozpoczynały przygotowania dla następnej szkoły.

Co 5–6 tygodni, po wyczerpaniu jakiegoś działu programu (np. ciepła, światła, mechaniki itp.) jeden tydzień przeznaczony był w szkołach powszechnych



Stolik optyczny projektu Aleksandra Dmochowskiego.

na powtórzenie, uzupełnienie i ujęcie ogólne przyswojonych wiadomości. Następnie zaś dyrektor Pracowni egzaminował osobiście dany oddział każdej szkoły, przeglądał zeszyty uczniów wyrażając opinie o ogólnym poziomie oddziału oraz udzielał niezbędnych rad nauczycielowi. Na konferencji poprzedzającej egzaminu A. Dmochowski rozdawał zwykle nauczycielom odbity na powielaczu spis pytań, które zamierzał stawiać uczniom. Pytania te były omawiane poprzednio przez kierownika Pracowni z nauczycielami. Były one tak układane, by odpowiedzi wymagały nie tylko przyswojonej wiedzy, lecz przede wszystkim ogólnego rozwoju i pojęcia o całokształcie zagadnień danego działu fizyki.

Nauczyciele gimnazjów, chcący korzystać z Pracowni, musieli także wcześniej ustalać swoje godziny i zamawiać ćwiczenia. Ćwiczenia z zakresu programu klasy II i III gimnazjum zostały opracowane i wydane drukiem w 1924 r. w Wilnie przez A. Dmochowskiego pod tytułem: *Ćwiczenia z fizyki i chemii w klasach II i III według programu gimnazjum niższego*. Każdy więc nauczyciel gimnazjum mógł je wcześniej przestudiować, a następnie przerobić wieczorem w Pracowni i pozostało mu jedynie uzgodnić, które ćwiczenie będzie prowadzone w danym dniu.

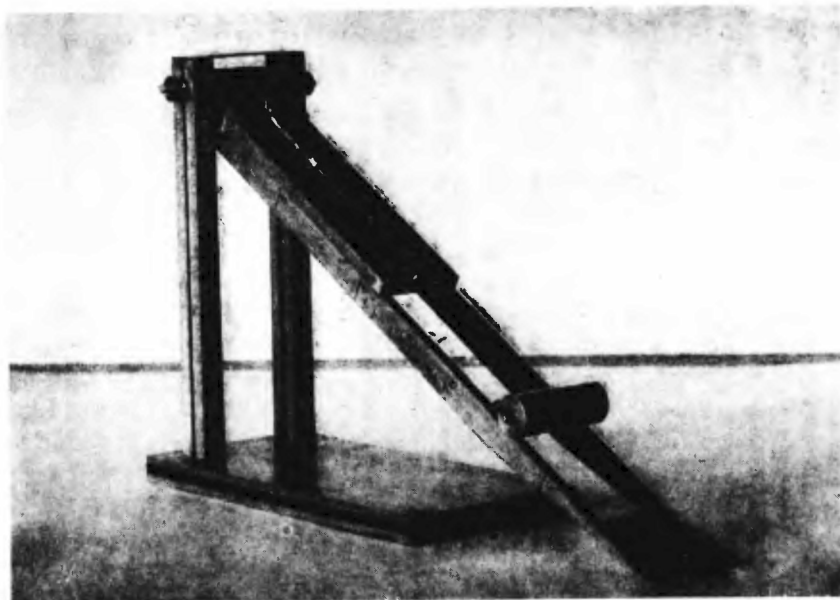
Klasy wyższe szkół średnich, jak też niektóre szkoły prywatne, wymagały ćwiczeń lub demonstracji specjalnych. Nauczyciele tych szkół zgłaszali się osobiście do dyrektora Pracowni w celu szczegółowego omówienia nowych doświadczeń.

W przypadku, gdy przyrządów niezbędnych do danego doświadczenia Pracownia nie posiadała, były one konstruowane przez miejscowego mechanika lub wypożyczane za pośrednictwem i na odpowiedzialność Pracowni z nielicznych gabinetów fizycznych, istniejących przy paru miejscowych gimnazjach.

Przy układaniu rozkładu godzin z nauczycielami uwzględniano zawsze odległość szkół od Pracowni w ten sposób, że szkoły dalej położone otrzymywały w Pracowni na ćwiczenia godziny ostatnie (od 12<sup>00</sup>), aby dzieci zaraz po ćwiczeniach mogły rozejść się do domów, lub też pierwsze, aby dzieci i nauczyciele mogli zebrać się od razu w Pracowni. Z czasem, dla szkół dalej położonych, zorganizowanych zostało na peryferiach miasta kilka filii Pracowni.

Wileńska Pracownia Przyrodnicza utrzymywała ścisły kontakt z pracownikami naukowymi i profesorami Uniwersytetu Stefana Batorego w Wilnie, zwłaszcza z Józefem Trzebińskim, profesorem botaniki oraz Janem Muszyńskim, profesorem farmakologii i twórcą ogrodu roślin lekarskich. Do współpracowników A. Dmochowskiego należeli również: zastępca profesora fizyki USB Wacław Staszewski, późniejszy założyciel Liceum im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Wilnie, docent botaniki Bronisław Szakien, Hanna Obiezińska (instruktorka przyrody żywej Pracowni), Antoni Szemiako (nauczyciel szkół wileńskich i doskonały pedagog) oraz Stanisław Trzebiński, Janina Bohdanowiczówna, Antonina Świdzińska i wielu innych.

Publikacje A. Dmochowskiego [4-20] zawierające doświadczenia związane z organizacją i prowadzeniem Pracowni, drukowane w *Pracy Szkolnej* – dodatku do *Głosu Nauczycielskiego*, w miesięczniku *Przyrodnik*, w dwutygodniku *Przyjaciół Szkoły*, w rocznikach *Fizyka i Chemia w Szkole* oraz w kolejnych (poczynając od roku 1924/25) *Sprawozdaniach Pracowni Wileńskiej*, spotkały się z dużym zainteresowaniem środowiska nauczycielskiego. Nauczyciele i kierownicy szkół z różnych stron Polski zgłaszali się do Pracowni w Wilnie z prośbą o pomoc w założeniu pracowni fizycznej lub ogrodu szkolnego. Przyrządy Pracowni wileńskiej oraz nasiona i sadzonki ze szkolnego ogrodu botanicznego docierały do bardzo wielu szkół ze wszystkich dzielnic Polski. Pracownia pozostawała w stałym kontakcie z wieloma z tych szkół, prowadząc obszerną korespondencję. W ten sposób A. Dmochowski za pośrednictwem swej Pracowni wywierał stały wpływ na szkolnictwo polskie. Stał się on z czasem wybitnym ekspertem polskim z dziedziny nauczania fizyki, organizacji pracowni fizycznych dla szkół powszechnych i średnich, programów fizyki, kształcenia nauczycieli fizyki itp. W tej roli wygłosił szereg referatów na posiedzeniach sekcji pedagogicznej i dydaktycznej kolejnych zjazdów fizyków polskich (IV Zjazd Fizyków Polskich – Wilno 1928 r., V – Poznań 1930 r., VI – Warszawa 1932 r., VII – Kraków 1934 r., IX – Wilno 1938 r.).



Równia pochyła do ćwiczeń z mechaniki.

W referacie wygłoszonym na posiedzeniu Sekcji Pedagogicznej VII Zjazdu A. Dmochowski stwierdzał: „(...) centralnych pracowni fizycznych (...) obecnie posiadamy około 200, rozmieszczonych w różnych dzielnicach Polski. Nie zrobimy wielkiego błędu, jeżeli licząc przeciętnie od 10 do 15 szkół na jedną pracownię powiemy, że z pracowni centralnych korzysta obecnie 2000 do 3000 szkół powszechnych, tj. znaczna część szkół wyżej zorganizowanych”.

A. Dmochowski był także autorem wielu wystąpień kierowanych do Ministerstwa Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego w imieniu tych Zjazdów, a przeciwstawiających się działaniom, które pozornie miały porządkować problematykę nauczania przyrody martwej i żywej, a w praktyce prowadziły poprzez biurokratyczne i nieprzemyślane decyzje reformowania i unifikacji programów szkół powszechnych i średnich do zahamowania, a następnie regresu nauczania fizyki w szkołach powszechnych i średnich w Polsce międzywojennej.

Doświadczenia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie opisywane były nie tylko w czasopiśmie krajowym, ale także za granicą, głównie w czasopiśmie angielskim i amerykańskim, zajmujących się metodyką i dydaktyką nauk przyrodniczych. O wyjątkowej oryginalności inicjatywy mówią słowa jej twórcy: „Pracownie fizyczne dla szkół powszechnych, które powstały samorzutnie, nadzwyczajnym wysiłkiem wybitniejszych przedstawicieli naszego nauczycielstwa, przedstawiają

dziś skarb swoisty, którego inne narody nie znają". Działalność Pracowni spotykała się niejednokrotnie z wyrazami uznania ze strony władz miejskich i władz państwowych. Świadczy o tym m.in. wizyta w Pracowni Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, prof. Ignacego Mościckiego w dniu 3 lipca 1927 r. i jego wielkie zainteresowanie jej doświadczeniami. Za zorganizowanie i wzorowe prowadzenie Pracowni A. Dmochowski został w roku 1928 odznaczony Złotym Krzyżem Zasługi.

Wybuch drugiej wojny światowej nie od razu przerwał działalność Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie. Po zajęciu Wilna przez wojska radzieckie (18.IX.1939), przekazaniu go władzom litewskim (28.X.1939) oraz utworzeniu radzieckiej Republiki Litewskiej (15.IX.1940) Szkolna Pracownia Przyrodnicza funkcjonowała nadal, a jej dyrektor korzystał z każdej okazji, aby dać zatrudnienie nauczycielom szkół polskich pozbawionym pracy (choćby w charakterze pracowników pomocniczych), by w ten sposób uchronić ich oraz ich rodziny przed ostateczną nędzą, głodem i dać możliwość przetrwania. Wywołało to kilkakrotnie scysje z władzami, podejrzania i wreszcie stało się podstawą do sformułowania przeciwko dyrektorowi aktu oskarżenia.

Z początkiem 1941 r. A. Dmochowski przeszedł kilkumiesięczną ciężką chorobę. Dnia 14 czerwca, w przededniu wybuchu wojny niemiecko-radzieckiej dyrektor Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie wraz z żoną Heleną i córką Haliną wywieziony został na Syberię do Kraju Ałtajskiego. Na skutek tzw. amnestii zesłańców polskich, rodzina Dmochowskich przenosi się w październiku 1941 r. na południe do Turkiestanu. Tam na skutek podeszłego wieku, wyczerpania przebytą ostatnio chorobą i strasznych warunków życia Aleksander Dmochowski zapada na tyfus plamisty, który po kilku dniach choroby kończy jego życie w dniu 17 kwietnia 1942 r.

Dalsze losy Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie po wywiezieniu jej założyciela i dyrektora nie są bliżej znane. Wiadomo, że przez krótki okres pracował w niej syn twórcy, Eugeniusz, który przechował część dokumentów i opracowań. Po repatriacji do Polski próbował on po wojnie wraz z Wacławem Staszewskim podobnych inicjatyw, ale sytuacja polityczna nie sprzyjała ich szerszemu rozwinięciu<sup>1</sup>.

Historia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie stanowi przykład wysokiego poziomu kultury oświatowej w Polsce międzywojennej. Wiele doświadczeń wileńskiej Pracowni zachowało do dziś swą aktualność.

---

<sup>1</sup> Profesor Wacław Staszewski zapoczątkował istniejące do dziś w ośrodku lubelskim „pokazy z fizyki” – chyba najlepiej funkcjonujący w Polsce powojennej system wykładów-pokazów z fizyki dla młodzieży.

## Literatura

- [1] *Straty kultury polskiej 1939–1944*, praca zbiorowa pod redakcją A. Ordegi i T. Terleckiego, t. II (Książnica Polska, Glasgow 1945).
- [2] Z. Dmochowski, „Historia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie”, *Materiały I Międzynarodowej Konferencji „Wilno-Wileńszczyzna jako Krajobraz i Środowisko wielu Kultur”*, Biblioteka Pamięci i Myśli (Towarzystwo Literackie im. Adama Mickiewicza w Białymstoku, Białystok 1992).
- [3] J. Dmochowski, „Historia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie”, *Materiały Konferencji „Edukacja w Polsce a prawa rodziny”*, Koszalin, Katolicka Szkoła Podstawowa im. Jana Pawła II, 3–5 września 1993 r.
- [4] A. Dmochowski, „Organizacja pracowni fizycznych dla szkół powszechnych i niższych klas szkół średnich”, referat wygłoszony na posiedzeniu sekcji pedagogicznej IV Zjazdu Fizyków Polskich w Wilnie 29.IX.1928.
- [5] A. Dmochowski, „Program fizyki i warunki jego realizacji (W szkole powszechnej i gimnazjum niższym)”, referat wygłoszony na Sekcji Pedagogicznej V Zjazdu Fizyków Polskich w Poznaniu, 26.IX.1930
- [6] A. Dmochowski, „Kształcenie Nauczycieli Fizyki. A. Szkolnictwo powszechne”, odczyt wygłoszony na VI Zjeździe Fizyków Polskich w Warszawie 1932 r.
- [7] A. Dmochowski, „Realizacje nowego programu fizyki a pracownie fizyczne w szkołach powszechnych i średnich”, referat wygłoszony 28.IX.1934 na posiedzeniu Sekcji Dydaktycznej VII Zjazdu Fizyków Polskich w Krakowie.
- [8] A. Dmochowski, *Szkolna Pracownia Przyrodnicza w Wilnie*.
- [9] A. Dmochowski, „Przyrządy do ćwiczeń uczniów z mechaniki”, *Fizyka i chemia w szkole* (1927).
- [10] A. Dmochowski, „Ćwiczenia uczniów z zakresu nauki o świetle”, *Fizyka i chemia w szkole* (1927).
- [11] A. Dmochowski, „Ćwiczenia z magnetyzmu”, *Fizyka i chemia w szkole* (1928).
- [12] A. Dmochowski, „Elementarne ćwiczenia uczniów z magnetyzmu i elektryczności”, *Fizyka i chemia w szkole*, nr 1-6 (1932/33).
- [13] A. Dmochowski, „Elementarne ćwiczenia uczniów z dziedziny promieniowania cieplnego”, *Fizyka i chemia w szkole*, z. 8 (1934).
- [14] A. Dmochowski, „Elementarne ćwiczenia uczniów z dziedziny badania barw”, *Fizyka i chemia w szkole*, z. 7 (1934).
- [15] A. Dmochowski, „Elementarne ćwiczenia uczniów z nauki o cieczech i gazach”, *Fizyka i chemia w szkole*, z. 11 (1935).
- [16] A. Dmochowski, „Elementarne ćwiczenia uczniów z wirownicą”, *Fizyka i chemia w szkole*, z. 12 (1935).
- [17] A. Dmochowski, „Otrzymywanie żelaza z rudy żelaznej”, *Fizyka i chemia w szkole*, z. 3 (1936).
- [18] A. Dmochowski, „Indukcyjna maszyna elektryczna do elementarnych ćwiczeń uczniowskich”, *Fizyka i chemia w szkole*, z. 4 (1936).



- [19] A. Dmochowski, „Elementarne ćwiczenia uczniów z dziedziny rozpraszania światła”, *Fizyka i chemia w szkole*, z. 4 (1937).
- [20] A. Dmochowski, *Dziesięć lat istnienia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej* (Wilno 1932).

Zbigniew Trybuła

*Instytut Fizyki Molekularnej PAN  
Poznań*

## Lato z Helem '96

### Summer with helium

*Abstract:* The activities of scientific summer camp for high school students and physics undergraduates, organized by Laboratory of Low Temperature Physics, are presented.

„Lato z Helem” to nie wakacje na Helu – to wyjątkowy sposób spędzania wakacji przez studentów i uczniów szkół średnich, których już od dwunastu lat gromadzi wokół siebie co roku w Odolanowie prof. Jan Stankowski. Właśnie tu, w Odolanowie, dziewiętnaście lat temu powstała na terenie Zakładu Odazotowania Gazu „KRIO” Pracownia Fizyki Niskich Temperatur Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu. W Pracowni wykorzystuje się w badaniach niskotemperaturowych najcenniejszy odolanowski produkt, jakim jest ciekły hel. Dlatego właśnie w Odolanowie odbywa się „Lato z Helem”.

Tematem tegorocznego obozu naukowego (24 czerwca – 6 lipca) były najniższe temperatury. Na zaproszenie prof. Stankowskiego przyjechali do Odolanowa znakomici fizycy z różnych ośrodków naukowych, aby z młodymi ludźmi dzielić się swoją wiedzą i fascynacją poznawania i tworzenia tego, co nowe w nauce. Uczestniczyło 6 studentów fizyki UAM wraz z kierowniczką obozu Agnieszką Kaczmarek, 6 studentów Politechniki Poznańskiej i 9 uczniów szkół średnich z różnych stron Polski, w tym stypendyści Krajowego Funduszu na rzecz Dzieci. Wraz z kadrą naukową dwóch zespołów IFM PAN – poznańskiego kierowanego przez prof. Jana Stankowskiego i odolanowskiego kierowanego przez autora tego artykułu, włączyli się w poznawanie fizyki najniższych temperatur. Od rana do wieczora trwała wyteżona praca. Przed południem wykłady, z przerwą na kawę, na rozmowy naukowe ze znanymi fizykami, a po południu ćwiczenia w grupach w pracowni.



Uczestnicy obozu „Lato z Helem '96”.

Osobiste kontakty z naukowcami, oprócz wykładów i uczestniczenia w badaniach naukowych, to jeden z najważniejszych elementów „Lata z Helem”. Żadna książka nie zastąpi wspólnego odkrywania i poznawania zjawisk własnymi oczami. Oprócz wspomnianych powyżej grono naukowców stanowili: dr Wojciech Kempniński, dr Lidia Piekara-Sady, dr Borysław Czyżak, dr Jan Martinek, mgr Szymon Łoś, mgr Bartłomiej Andrzejewski i mgr Małgorzata Trybuła. Wśród nich są tacy, których zauroczyła fizyka właśnie w czasie poprzednich „Lat z Helem”.

Program naukowy był bardzo bogaty. Pierwszego dnia w świat niskich temperatur wprowadzali uczestników prof. Stankowski (opiekun naukowy obozu) wykładem „Badania ciał stałych w niskich temperaturach” i doc. Trybuła, który mówił o kriogenice. Po południu w Pracowni Fizyki Niskich Temperatur dr Wojciech Kempniński i mgr Szymon Łoś pokazywali przejście helu w stan nadpłynny. Drugiego dnia bardzo interesujące wykłady mieli specjaliści fizyki niskich temperatur z Instytutu Fizyki PAN (IF PAN) z Warszawy: prof. Tadeusz Skośkievicz („W milikelwinach – chłodniej niż gdziekolwiek we Wszechświecie. Pomiar bezwzględny temperatury wykorzystujący efekt tunelowania pojedynczego elektronu”) i prof. Tomasz Dietl („Na granicy miniaturyzacji elementów elektronicz-



nych”). W piątek wystąpili młodzi pracownicy Instytutu Fizyki Molekularnej – dr Wojciech Kempniński mówił o fullerenach, a mgr Bartłomiej Andrzejewski o zastosowaniu nadprzewodników. Sobota była poświęcona zastosowaniu niskich temperatur w medycynie. Konstrukcje komór kriogenicznych i innych urządzeń stosowanych w leczeniu przy użyciu par azotu o temperaturze od 120 do 160 K przedstawił mgr inż. Zbigniew Raczkowski z Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych (INTiBS) we Wrocławiu, a Wojciech Romanowski, ordynator szpitala reumatologicznego w Śremie w sposób bardzo interesujący omówił pozytywne wyniki stosowania niskich temperatur w leczeniu schorzeń reumatologicznych. W drugim tygodniu doc. Andrzej Jeżowski (INTiBS) mówił o kriokryształach, doc. Maciej Nowak (IF PAN) o badaniach molekuł w matrycach gazów szlachetnych, a prof. Jerzy Dembczyński (Politechnika Poznańska) zapoznał słuchaczy z metodą ochładzania laserowego pojedynczych atomów. Na zakończenie cyklu wykładów dr Borysław Czyżak i dr Jan Martinek z IFM PAN w Poznaniu mówili o badaniach nadprzewodników wysokotemperaturowych.

Wykłady były bardzo ciekawe, a ze wszystkich zaproszonych wykładowców młodzież wyróżniła Tomasza Dietla, Tadeusza Skośkiewicza i Wojciecha Romanowskiego. Przeprowadzony po zakończeniu wykładów quiz pokazał, że słuchacze przyswoili sobie dużą część przekazywanej im wiedzy. Zwycięzcami w quizie byli Małgorzata Maciąg i Zbigniew Długaszewski, a wśród uczniów – Ambroży Rybicki i Piotr Fita.

Nauka, pomiary i wykłady wypełniają czas, wszystko to we wspólnocie serc i umysłów daje wielką radość. Dlatego wszyscy potrafili się wspólnie bawić. Dotychczas co roku rozgrywany był mecz koszykówki: kadra–studenci. W ostatnich latach zwyciężali studenci. W tym roku nastąpiła zmiana dyscypliny na siatkówkę. Wygrała zdecydowanie kadra, 3:1. To wspaniałe, że młodzi ludzie część swoich wakacji poświęcają nauce i autentycznie pragną ją poznawać. Oprócz wysłuchania wykładów opracowują i przygotowują doświadczenia, które starają się zrozumieć i sami wyciągnąć wnioski z nich płynące.

Ostatni dzień to podsumowanie i seminarium młodych, którzy mówią w sposób bardzo dojrzały o swoich pomiarach wykonanych w czasie trwania obozu i o dalszych planach. Co roku wyjeżdżają z nowymi pomysłami i oczekują następnego „Lata z Helem”.

Wszyscy uczestnicy tegorocznego obozu „Lato z Helem '96” pragną serdecznie podziękować sponsorom: Komitetowi Fizyki PAN, Instytutowi Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu, Uniwersytetowi Adama Mickiewicza, Politechnice Poznańskiej, a także gminnej spółdzielni Samopomoc Chłopska w Odolanowie, która udostępniła salę wykładową.

## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

## XXVI Dni Aktynowców i Szkoła „Elektrony 5f w ciałach stałych”

W dniach 11–14 kwietnia 1996 r. odbyły się w Szklarskiej Porębie, w Domu Centrum Rehabilitacji Rolników (dawny „Granit”) XXVI Dni Aktynowców (Journées des Actinides). Konferencje te organizowane są od wielu lat w głównych krajach Wspólnoty Europejskiej. Tylko czterokrotnie odbyły się poza jej obszarem (1982 r. – Izrael, 1990 r. – Republika Czeska, 1994 r. – Austria i 1996 r. – Polska). Niewątpliwie złożyły się na to zmiany ustrojowe zachodzące w tej części Europy, ale również możliwość zapewnienia wysokiego standardu, z którego słynęły te spotkania.

Po raz pierwszy natomiast odbyła się, z inicjatywy dra G.H. Landera, Szkoła „Elektrony 5f w ciałach stałych”, której celem było zapoznanie młodych badaczy ze specyfiką badań aktynowców. Szkoła odbyła się we Wrocławiu w dniach 9 i 10 kwietnia 1996 r. w Sali Wykładowej Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN im. W. Trzebiatowskiego. Na Szkołę złożyło się 8 wykładów, które w założeniu miały zapoznać młodych uczestników przede wszystkim z metodami teoretycznymi i doświadczalnymi stosowanymi w badaniach aktynowców. Taką rolę dobrze spełniły następujące wykłady: M.S.S. Brooksa z Europejskiego Instytutu Transuranowców w Karlsruhe, który mówił o metodach obliczeń struktury elektronowej, G.H. Landera z tego samego Instytutu, który zapoznał słuchaczy z szerokim zastosowaniem metod neutronografii w badaniach aktynowców, J.-C. Krupy z Uniwersytetu Paris Sud w Orsay, który szeroko omówił wykorzystanie metod spektroskopowych w zagadnieniach pola krystalicznego, J. Schoenena z Politechniki w Brunszwiku, który przedstawił metody spektroskopii optycznej i magnetoptycznej, oraz J.-M. Fourniera z Uniwersytetu J. Fouriera w Grenoble, który dał przegląd metod badania przenoszenia elektronowego w zastosowaniu do materiałów f-elektronowych. Pewną wartością metodologiczną odznaczał się wykład M. Kuznietza (Negev), który mówił o interpretacji licznych badań roztworów stałych, natomiast pozostali wykładowcy, tzn. J. Spalek z Uniwersytetu Jagiellońskiego, który mówił o lokalizacji momentów magnetycznych w związkach d- i f-elektronowych, oraz P. Santini z Uniwersytetu w Lozannie, który proponował model magnetyzmu zlokalizowanego w aktynowcach, przecenili elementarny poziom słuchaczy i przedstawili (znakomicie) bardziej zaawansowane podejście. Należy stwierdzić ze smutkiem, że Szkoła, której zorganizowanie okazało się jak najbardziej celowe, a kosztowało sporo wysiłku, nie znalazła właściwego odzewu wśród słuchaczy (studentów) polskich, szczególnie ze środowiska wrocławskiego, mimo jej dość szerokiego rozpropagowania. Być może złożył się na to niezbyt fortunny termin, tuż po świętach Wielkiejnocy. W dyskusji stwierdzono, że podobne szkoły powinny być organizowane w przyszłości, choć nie co roku. Ponadto uczestnicy Szkoły po jej zakończeniu mogli poznać działalność niektórych zakładów Instytutu, co miało pozytywny skutek propagandowy.

Bezpośrednio po Szkole jej uczestnicy udali się do Szklarskiej Poręby, gdzie rano, 11 kwietnia, już w szerszym gronie, rozpoczęły się XXVI Dni Aktynowców. Numer kolejny wskazuje, że tradycja tych Dni jest już długa i ściśle ustalona, a nowości dotyczą przede wszystkim osiągnięć naukowych, a tylko w drobnym stopniu niuansów organizacyjnych, jak wieczór połączony z konsumpcją pieczonego barana podlanego obficie dobrym piwem „Heineken”. W Dniach uczestniczyło 90 naukowców przede wszystkim z 13 krajów Europy, choć większość słuchaczy i wykładowców pochodziła z Trójkąta Weimarskiego (z Francji 19, z Niemiec 13 i z Polski 34 osoby). Dzięki wsparciu Fundacji Batorego przyjechały 3 osoby z Ukrainy. Był też jeden gość z Japonii i po dwóch z USA i Rosji. Z 4 uczestników z Izraela dwaj przyjechali do Polski m.in. szukać swoich korzeni. Wyniki naukowe przedstawiano jako komunikaty ustne (30- i 15-minutowe) oraz plakaty w ciągu trzech i pół dnia, odliczywszy czas na wycieczkę. Tradycyjnie tematyka Dni obejmuje fizykę i chemię, jednak od paru lat obserwuje się dominację tej pierwszej, z zakresu której przedstawiono łącznie 62 komunikaty, podczas gdy z zakresu drugiej tylko 14. Jest to być może spowodowane faktem, że wielu chemików pracujących w dziedzinie aktynowców zajmuje się przede wszystkim przeróbką paliwa jądrowego czy też badaniami produktów rozpadu, a ta tematyka jest zwykle prezentowana na innych, większych konferencjach. Komunikaty ustne zostały zgrupowane w następujące bloki tematyczne: własności ogólne, związki półmetaliczne, związki międzymetaliczne, chemia i spektroskopia.

Jeśli chodzi o tematykę konferencji, to prócz pogłębiającej się różnicy w liczbie doniesień z fizyki i chemii, rzucała się w oczy ogromna przewaga prac dotyczących związków uranu. Mimo stale rosnącej liczby tych prac, tak wielkiej ich dominacji nie obserwowano na poprzednich konferencjach. Wiąże się to zapewne ze znaczną liczbą prac z instytucji polskich, ukraińskich i Uniwersytetu Karola w Pradze, gdzie prowadzi się intensywne badania aktynowców (ale tylko związków uranu), a także z powszechnym w Europie ograniczeniem funduszy na badania podstawowe (a prace z transuranowcami są kosztowne).

Tak więc w trakcie Konferencji przedstawiono wyniki badań struktury i własności fizycznych wielu nowych związków, często w formie monokrystalicznej, takich jak  $UPtSn$ ,  $UNi_{2-x}Sn_x$ ,  $UFe_6Ga_6$ ,  $UFe_6Al_6$ , związków o egzotycznej stechiometrii, które są przedstawicielami szeroko badanych w świecie interkalatów czy związków „niedopasowania” (misfit):  $Tl_{0.6}UTe_3$  i  $Cu_{0.36}UTe_3$ , wreszcie związków w postaci cienkich warstw czy warstw amorficznych. Przedstawiono ciekawe wyniki badań powierzchniowej struktury magnetycznej  $UO_2$  metodą rezonansowego rozpraszania promieni rentgenowskich. Ta ostatnia metoda zdobywa sobie w ostatnich latach coraz większą popularność ze względu na większą dostępność promieniowania synchrotronowego oraz jej istotną zaletę w badaniach aktynowców, jaką stanowi możliwość rozróżniania składowej spinowej i orbitalnej momentu magnetycznego. Pewną nowość stanowiły wysokotemperaturowe badania oporu elektrycznego monochalkogenidków plutonu oraz analiza wysokotemperaturowej podatności monopniknidków i monochalkogenidków pierwiastków f-elektronowych. Analiza ta jednak w przypadku połączeń lekkich aktynowców jest niezwykle trudna, gdyż wiedza o udziale pola krystalicznego czy paramagnetyzmu typu Pauliego w tych materiałach jest jeszcze bardzo fragmentaryczna. Więcej niż zwykle przedstawiono wyników zarówno prac teoretycznych, jak i badań magnetoptycznych, oraz badań efektu Mössbauera z użyciem jądra  $^{119}Sn$ . W pracach teoretycznych przedstawiono wyniki obliczeń struktury pasmo-

wej, widm magnetoptycznych oraz wiązań chemicznych w związkach o bardziej skomplikowanej strukturze niż zwykle dotąd rozważana struktura regularna typu NaCl.

Ogólnie można stwierdzić, że konferencja stanowiła nie tylko okazję do przedstawienia ciekawych wyników badań, ale do długich roboczych dyskusji, które ciągnęły się w czasie posiłków, a nawet różnych spotkań towarzyskich.

Program towarzyski zawierał liczne atrakcje, jak wspomniany już pieczony baran, ale przyczyną wielu niezamierzonych urozmaiceń były obfite opady śniegu, które nie tylko spowodowały trudności komunikacyjne, dwie kontuzje, ale i ograniczenie programu krajoznawczego do wycieczki autokarowej do świątyni Wang i do Cieplic oraz krótkiego spaceru do wodospadu Szklarka, który w zimowej scenerii przedstawiał się niezwykle malowniczo. Mimo tych trudności, w zgodnej ocenie uczestników, udokumentowanej licznymi listami nadchodzącymi na ręce głównego organizatora prof. R. Trocia, XXVI Dni Aktynowców należą do jednych z najlepszych w sensie programu naukowego oraz organizacji i warunków socjalnych. Jak wiele wymagało to wysiłków i zabiegów, może ocenić bliski, choć nie bezpośrednio zaangażowany obserwator, jakim jest niżej podpisany. Prof. R. Troć jako przewodniczący, dr Kaczorowski jako sekretarz i grupa ich współpracowników w trudzie zapracowali na wyrazy uznania.

Konferencję współorganizowały następujące instytucje: Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN im. W. Trzebiatowskiego, Wydział Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego i Międzynarodowe Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych i Niskich Temperatur, które częściowo ją też finansowały. Do sukcesu Konferencji przyczynili się także sponsorzy zewnętrzni, mianowicie Komitet Badań Naukowych, Komitet Fizyki PAN, Fundacja Batorego, Państwowa Agencja Atomistyki oraz Polskie Towarzystwo Fizyczne.

Książka streszczeń zgłoszonych komunikatów została wręczona uczestnikom konferencji. Wydanie innych materiałów nie jest planowane.

Następne, XXVII Dni Aktynowców odbędą się w kwietniu 1997 r. w Dijon we Francji.

*Wojciech Suski*

Instytut Niskich Temperatur  
i Badań Strukturalnych PAN  
Wrocław

## **XI Dni Wymiany Doświadczeń w Nauczaniu Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych**

W środowisku fizyków polskich będących nauczycielami akademickimi w uczelniach technicznych stały się już tradycją organizowane co dwa lata „Dni Wymiany Doświadczeń w Nauczaniu Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych”. Konferencje te są spotkaniami mającymi na celu wymianę opinii na temat wszelkich zagadnień związanych z nauczaniem fizyki w szybko zmieniających się warunkach funkcjonowania wyższych uczelni technicznych w Polsce.



W dniach 27–28 czerwca 1996 r. Instytut Fizyki Politechniki Warszawskiej zorganizował pod auspicjami Polskiego Towarzystwa Fizycznego kolejne „XI Dni Wymiany Doświadczeń...”, które zgromadziły 134 uczestników. Konferencja była sponsorowana przez Ministerstwo Edukacji Narodowej i Politechnikę Warszawską.

Program konferencji obejmował referaty plenarne, komunikaty ustne, plakaty oraz demonstracje nowych ćwiczeń laboratoryjnych i pokazów wykładowych. Przewidziano położenie szczególnego nacisku na analizę procesu nauczania fizyki pod kątem oczekiwań i potrzeb wydziałów, poświęcając temu zagadnieniu I sesję plenarną obrad. W ramach tej sesji przedstawiono zarówno w pełni akceptowane, jak i polemiczne próby odpowiedzi na pytania: „Czy fizyka użyteczna inżynierowi musi być fizyką stosowaną?” (prof. M. Witkowski, prorektor PW), „Fizyka filozofią techniki, czyli jak kształcić inżyniera współcześnie” (prof. M. Handke, rektor AGH), „Czy kursowy wykład z fizyki ogólnej jest niezbędny w uczelni technicznej?” (prof. A. Neimitz, rektor Politechniki Świętokrzyskiej). Wśród konkluzji znalazły się stwierdzenia: „Czas, aby fizyka w uczelniach technicznych przestała pełnić rolę usługową w stosunku do techniki”, „Współczesną filozofią techniki jest fizyka, a osią kształcenia inżyniera musi być fizyka”, „Bez fizyki nie ma szkół technicznych”, „Nad koncepcją nauczania fizyki w szkołach technicznych nadmiernie cięży eksponowanie zastosowań, fizyka jest także nauką o pięknie i harmonii przyrody”. Pozostały nadal otwarte pytania: co wykładać? jak? ile? kiedy?

Tematyka pozostałych sesji obejmowała następujące problemy: rola fizyki w kształtowaniu umiejętności inżynierskich (II sesja plenarna zaplanowana w formie panelowego forum dyskusyjnego), nowe programy i nowe techniki nauczania (III sesja plenarna), oraz aktualne problemy warsztatu dydaktycznego (IV sesja plenarna). Zorganizowano także sesję plakatowo-pokazową, w ramach której przedstawiono wiele nowych, interesujących pomysłów demonstracji i ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki (łącznie 40 prac).

Wśród interesujących stwierdzeń i wniosków można wymienić następujące:

- 1) Fizyka pełni szczególną, niezwykłą rolę w kształtowaniu twórczych cech umysłu przyszłego inżyniera (wyobraźni, intuicji poznawczej, kreatywności myślenia, innowacyjności i racjonalności w działaniu). Poziom wiedzy fizycznej przyszłego inżyniera decyduje o jego poziomie intelektualnym.
- 2) Fizyka uczy pokory poznawczej, krytycyzmu w stosunku do przyjętych prawd oraz zmusza do przystosowania się do ciągłej ewolucji nauki.
- 3) Za potrzebą nauczania podstaw fizyki, często kwestionowaną jako działalność odległa od zastosowań, czyli mało użyteczna dla współczesnej cywilizacji, przemawia niezwykle doniosły fakt (nie zawsze sobie uświadamiany na co dzień w szerokich kręgach społecznych): najważniejsze wynalazki, które stworzyły cywilizację drugiej połowy XX w., to wynalazki, które powstały ku wielkiemu niekiedy zaskoczeniu, nieoczekiwaniu, bezpośrednio z fundamentalnej fizyki. Są to: wynalazek tranzystora, lasera, reaktora jądrowego, światłowodów i obrazowania za pomocą rezonansów magnetycznych. Co więcej, współczesna fizyka fundamentalna stwarza najgłębsze podstawy naukowe takiej domeny inżynierskiej, jak metrologia, dając kwantowy wzorzec volta (efekt Josephsona) i oma (kwantowy efekt Halla), nie mówiąc już o kwantowych granicach możliwości pomiaru długości i czasu, wynikających z zasady nieoznaczoności.
- 4) Dla zapewnienia właściwego poziomu przyszłego społeczeństwa środowisko konferencji przyznaje najwyższą rangę sprawom edukacji młodego pokolenia i udziela pełnego

poparcia nauczycielom szkół średnich w ich staraniach o właściwe programy nauczania fizyki i zwiększenie udziału fizyki w programach liceów ogólnokształcących. Zaleca się kontynuację współpracy nauczycieli akademickich z nauczycielami szkół podstawowych i średnich w różnorodnych formach (konkursy, popularyzacja osiągnięć naukowych, współpraca przy opracowaniu programów nauczania, egzaminów itp.).

5) Uczestnicy konferencji apelują o wspieranie przez Polskie Towarzystwo Fizyczne wszelkich działań środowiska nauczycieli akademickich w uczelniach technicznych w zakresie nauczania fizyki.

6) Zaproponowano także, aby kontynuując cykl konferencji uprościć ich nazwę: „Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych”. Uczestnicy konferencji jednomyślnie zwrócili się do kolegów z Poznania, aby organizatorem następnej, XII Konferencji w roku 1998 był Instytut Fizyki Politechniki Poznańskiej.

Wszystkie nadesłane i zakwalifikowane do przedstawienia na konferencji materiały zostały opublikowane pt. *Nauczanie fizyki w wyższych szkołach technicznych* przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Warszawskiej w zeszycie 10, w serii Prace Naukowe, Konferencje, Warszawa, 1996. Redaktorzy wydania i jednocześnie autorzy tego komunikatu sądzą, że materiały konferencyjne będą stanowiły wartościową pomoc w realizowaniu ważnego zadania edukacji przyszłych inżynierów w dziedzinie fizyki.

*Ireneusz Strzałkowski, Franciszek Krok*

Instytut Fizyki PW

Warszawa

## Konferencja GIREP-ICPE

Ubiegłoroczna konferencja GIREP-u, która odbyła się w dniach 21-27 sierpnia 1996 r. w Lublanie, nosiła tytuł „New Ways of Teaching Physics” i zorganizowana została przez obecnego sekretarza GIREP-u Setę Oblak z Ministerstwa Edukacji Słowenii (GIREP – to akronim: Groupe International de Recherche sur l’Enseignement de la Physique; ICPE – to akronim: International Commission on Physics Education).

Jak było łatwo przewidzieć, konferencję zorganizowano wzorowo. W zespole organizacyjnym (40 osób) oprócz szefowej i innych pracowników Ministerstwa Edukacji byli zarówno nauczyciele fizyki, jak i pracownicy Uniwersytetu w Lublanie.

Słowenia prowadzi bardzo mądrą politykę edukacyjną. Szkoły są na wysokim poziomie, dobrze wyposażone, nauczyciele bardzo kompetentni i twórczy. Mają zapewnione ciągle doksztalcanie, biorą grupowo udział w wyjazdach studyjnych, szkoleniowych i konferencjach, na których przedstawiają swoje doświadczenia. W tym małym kraju są prowadzone badania naukowe z dydaktyki fizyki. Młodzież i nauczyciele znają język angielski, w księgarniach można znaleźć światową literaturę fachową po angielsku. Wydaje się, że i społeczeństwo, i elity rządzące rozumieją wpływ wykształcenia na dobrobyt kraju. To nie Słowenia zasila kraje Europy Zachodniej w tanią, niewykwalifikowaną siłę roboczą. Bankiet konferencyjny zaszczylił swą osobą minister edukacji.

Konferencja była w tym roku liczniejsza niż w ostatnich latach (ok. 270 uczestników). Większy akcent położono na plenarne wykłady *sensu stricto* dydaktyczne. W stosunku do konferencji organizowanych przez dawnego prezesa GIREP-u George'a Marxa, mniej było fajerwerków typu wykładów sławnych ludzi czy noblistów. Jak zawsze wysoką klasę pokazał Jon Ogborn (Londyn) przedstawiając nowy sposób „przemycania” drugiej zasady termodynamiki przy użyciu łatwo przyswajalnych przez dzieci piktogramów. Paul Black (również z Londynu) przedstawił wyniki badań reformy edukacyjnej w 12 krajach ze szczegółowym omówieniem przyczyn, dla których reforma się nie powiodła. Może powinno się z nimi zapoznać nasze Ministerstwo Edukacji?

W czasie licznych warsztatów nauczyciele przedstawiali swoje pomysły, choć nie zawsze oryginalne, to jednak pokazane w ciekawy i nowy sposób. Było co podpatrywać i czego się uczyć. Szkoda, że nasi nauczyciele nie biorą w GIREP-ach udziału. Polska „drużyna” składała się głównie z pracowników wyższych uczelni – a to przecież nie dla nich głównie są konferencje GIREP-u. Najliczniejszą grupą przyjeżdżającą na konferencje GIREP-u Włosi. Na ogół słabo znają angielski – ale to, jak się okazuje, nie jest istotną przeszkodą ani w prezentacji własnych wyników (są przecież sesje plakatowe), ani w porozumiewaniu się z kolegami z innych krajów.

Zawsze też liczny udział biorą w GIREP-ach nauczyciele ze Słowenii. Zwykle liczna grupa węgierska dziwnie zmalała, od kiedy George Marx ustąpił ze stanowiska prezesa. Czyżby była to oznaka przemian na Węgrzech?

Jak zwykle, oprócz porannych sesji plenarnych z porządnymi i ciekawymi wykładami, najistotniejsze były sesje warsztatowe i dyskusje panelowe. Oczywiście wiele miejsca zajmował komputer oraz MBL czyli Microcomputer Based Laboratory. Tutaj były już tradycyjnie polskie wystąpienia (H. Szydłowski, J. Turło, Z. Mazur, J. Dunin-Borkowski). Wiele miejsca poświęcono środkom multimedialnym. Duże zainteresowanie wzbudziła prezentacja Eksploratorium z Kalifornii (założonego przez Franka Oppenheimera, brata Roberta) oraz możliwości jego zwiedzania poprzez Internet. Nawet najzagorzalsi przeciwnicy Internetu skapitulują widząc jego funkcję edukacyjną.

Podczas warsztatów pokazywano nie tylko nowe doświadczenia czy modele, ale prezentowano programy, podręczniki na płytach kompaktowych, wideofilmy. Dyskutowano o nowych podejściach do nauczania (projekt grupy z Karlsruhe) oraz narzekano na ograniczanie liczby godzin fizyki w szkołach. Zarysował się obecnie nowy problem w dydaktyce fizyki – wyjście poza konwencjonalną naukę szkolną. Większość krajów ma i wspaniałe, i skromniejsze muzea nauki i techniki. W Polsce, poza warszawskim niewielkim muzeum Marii Curie-Skłodowskiej i Muzeum Techniki nie ma nic! Aż wierzyć się nie chce.

Szczegółowe informacje o konferencji można znaleźć w Internecie: <http://www.pef.uni-lj.si/girep>. Na wiosnę ukażą się obszerne materiały konferencyjne.

Następna konferencja GIREP-u odbędzie się za dwa lata, w 1998 r. w Monachium. Jednym z tematów będzie fizyka zabawek.

Zofia Gołąb-Meyer

Instytut Fizyki UJ  
Kraków

## RECENZJE

Albert Einstein: **Zapiski autobiograficzne**

z jęz. angielskiego tłumaczył Jacek Bieroń; wstęp: Andrzej Staruszkiewicz

Wydawnictwo Znak, Kraków 1996, s. 52

*Zapiski autobiograficzne* zostały napisane przez Alberta Einsteina w wieku 67 lat, na prośbę Paula A. Schilppa, redaktora *Biblioteki Żyjących Filozofów*. Ukazały się one drukiem w 1949 r. po niemiecku i po angielsku w pierwszym tomie zbioru artykułów, wchodzącym w skład tej *Biblioteki*, a zatytułowanym *Albert Einstein: Philosopher-scientist* (Open Court, La Salle, Illinois). Dzieło to jest niezbyt łatwo dostępne w Polsce, a ze względu na jego znaczenie, poświęcę mu kilka wierszy na wstępie tej recenzji. W jego skład wchodzi, oprócz *Zapisków*, 25 artykułów napisanych przez wybitnych fizyków i filozofów; w drugim tomie jest *Odpowiedź Einsteina* o podtytule *Remarks on the Essays Appearing in this Collective Volume*, a na samym końcu – bibliografia prac i pism Einsteina obejmująca w wydaniu z 1970 r. okres do maja 1951 r. Wśród autorów esejów są: N. Bohr, M. Born, L. de Broglie, K. Gödel, W. Heitler, L. Infeld, M. von Laue, G.E. Lemaitre, W. Pauli i A. Sommerfeld. *Odpowiedź* jest bardzo interesująca, gdyż Einstein polemizuje w niej z esejami, w których są słowa krytyczne pod adresem jego poglądów na mechanikę kwantową. Kluczowe na ten temat zdanie Einsteina (w moim przekładzie) brzmi: „Jestem, w istocie, niezbitnie przekonany o tym, że zasadniczo statystyczny charakter współczesnej teorii kwantów należy przypisać jedynie temu, iż ta teoria zajmuje się niepełnym opisem układów fizycznych”. Byłoby dobrze udostępnić także ten tekst Einsteina polskiemu czytelnikowi; trudno jednak to zrobić w oderwaniu od samych esejów, a one zajmują ok. 560 stron.

Przekład na polski *Zapisków* został zrobiony z późniejszego wydania, przygotowanego w związku z setną rocznicą urodzin Einsteina (1979). W polskim wydaniu jest interesująca przedmowa, napisana przez Andrzeja Staruszkiewicza; podkreśla on w niej m.in. wypowiedź Einsteina na temat miejsca stałych bezwymiarowych w fizyce: „(...) nie istnieją arbitralne stałe tego rodzaju; innymi słowy, natura ma tę właściwość, że da się sformułować prawa logicznie tak silnie zdeterminowane, że pojawiają się w nich tylko stałe całkowicie określone rozumowo (...)”.

Pierwsze strony *Zapisków* zawierają rozważania filozoficzne, uwagi o sensie życia i o tym „co to znaczy myśleć”. Einstein wspomina swoich nauczycieli: Hurwitza i Minowskiego, a następnie pokrótce przedstawia stan fizyki w czasie, gdy zaczynał badania i pisze o wpływie, jaki wywarły na niego poglądy Macha na mechanikę. Warto zacytować następujący ustęp z tej części: „Tym większe wrażenie wywiera dana teoria, im prostsze są jej założenia, im więcej tłumaczy zjawisk i im rozleglejszy jest obszar jej zastosowań. Z tej właśnie przyczyny tak wielkie wrażenie zrobiła na mnie termodynamika klasyczna.

Jest to jedyna uniwersalna teoria fizyczna, co do której jestem przekonany, że w ramach stosowności swoich podstawowych pojęć nie będzie nigdy odrzucona (to pod rozważę sceptyków dla zasady)". Dużo miejsca poświęca Einstein początkom fizyki kwantowej (prace Plancka, analiza ruchów Browna). Wspomina o swoim zafascynowaniu, w wieku szesnastu lat, następującym paradoksem: „jeżeli podążam za promieniem światła z prędkością  $c$  (prędkość światła w próżni), powinienem widzieć promień jako nieruchome, przestrzennie oscylujące pole elektromagnetyczne". Dalsze strony przynoszą krótki i piękny opis tego, jak Einstein dochodził do szczególnej i ogólnej teorii względności. Podkreśla on znaczenie „ogólnych zasad” przy konstruowaniu podstawowych teorii fizycznych (nieistnienie *perpetuum mobile*, niezmienniczość praw fizyki względem przekształceń Lorentza, ogólna niezmienniczość tych praw, gdy trzeba uwzględnić grawitację). Einstein przyznaje, że „równań grawitacji nie można uznać za równania dla całkowitego pola (...) gdybyśmy znali równania dla całkowitego pola, musielibyśmy postawić wymóg, aby cząstki były reprezentowane jako całkowicie wolne od osobliwości rozwiązania zupełnych równań pola. Tylko wtedy ogólna teoria względności byłaby zupełna". Ostatnie strony *Zapisków* zawierają bardzo zwarte omówienie, rozpatrywanej w latach czterdziestych przez Einsteina, takiej „zupełnej” (dziś mówimy raczej: jednolitej) teorii pola, mającej opisywać grawitację i elektromagnetyzm, opartej na asymetrycznym tensorze metrycznym i związanej z nim koneksji liniowej. Obszerniejszy wykład Einsteina na ten temat można znaleźć w jego książce *Istota teorii względności* (PWN, Warszawa, 1958).

Sądzę, że należy podziękować Wydawnictwu *Znak* w Krakowie za udostępnienie polskiemu czytelnikowi *Zapisków autobiograficznych* Einsteina, a tłumaczowi – pogratulować bardzo starannego przekładu tego cennego i niełatwego tekstu.

Andrzej Trautman

Instytut Fizyki Teoretycznej UW  
Warszawa

Roger G. Newton: **Zrozumieć przyrodę**  
z jęz. angielskiego tłumaczyła Agnieszka Górnicka  
Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 1996, s. 222

Czytając tę książkę zadawałem sobie pytanie, dla kogo, dla jakich czytelników książka została napisana. W przedmowie Autor stwierdza: „Postawiłem sobie za cel napisanie książki zrozumiałej dla czytelników nie mających specjalnego wykształcenia w dziedzinie nauk ścisłych ani głębszej znajomości matematyki”. Nie mogłem jednak oprzeć się wrażeniu, że może być ona przydatna jedynie dla profesjonalnych fizyków-teoretyków. Poprosiłem więc kilku moich znajomych, mających wyższe wykształcenie, choć w innych niż fizyka dziedzinach, o przeczytanie książki lub choćby jednego rozdziału i wyrażenie opinii. Rezultaty tego mini-testu były jednoznaczne – nikt nic nie zrozumiał. Trudno się temu dziwić – fizycy, a w szczególności teoretycy posługują się językiem specyficznym dla tej dziedziny wiedzy. Często też używają skrótów myślowych, przyjmują różne rezultaty

za oczywiste. Pisząc dla ludzi spoza branży trzeba koniecznie wyrażać się w sposób bardziej przejrzysty i precyzyjny, bez zawodowych naleciałości. A jak to wygląda u Autora?

Na przykład na s. 38 czytamy: „Siła ciężenia jest zachowawcza, podobnie jak większość sił, z którymi mamy do czynienia w fizyce”. I pół strony dalej: „Większość sił spotykanych w życiu codziennym nie jest zachowawcza. Mimo to należy przyjąć upraszczające założenie, że siły są zachowawcze, zbudować na tej podstawie teorię, a następnie badać skutki naruszenia tego założenia”. Brzmi to bardzo przekonująco, nieprawdaż?

A jak wprowadza Autor trudne na ogół do popularyzacji pojęcia z fizyki kwantowej? Jakoś tak wypadło, że czyni to po raz pierwszy przy okazji omawiania pola elektromagnetycznego. A więc (s. 83): „Do opisu pola elektromagnetycznego użyto nowych narzędzi matematycznych w ten sam sposób, w jaki zrobiono to w mechanice. Po pierwsze, układ opisano za pomocą funkcji falowej. Kwadrat jej wartości określa prawdopodobieństwo znalezienia cząstek lub układu w pewnym obszarze przestrzeni lub w pewnym stanie”. (Co to jest ten stan? – J.M.). Dalej już szybciej (dosłownie w czterech zdaniach) o nieoznaczoności i związanej z nią nieprzemienności operatorów położenia i pędu. Potem jeszcze (prawie cała s. 84) dywagacja na temat nieprzemienności obrotów i już można stwierdzić (s. 85): „»Kwantowanie« klasycznych równań ruchu dla układu mechanicznego polega na zastąpieniu funkcji o wartościach liczbowych, opisujących położenia i pędy, operatorami, które spełniają zadane »związki komutacyjne«. Związki te pozwalają określić różnicę pomiędzy wynikami działania dwóch operatorów użytych w różnej kolejności, wyrażoną jako wielokrotność stałej Plancka. Wszystkie niezwykle konsekwencje mechaniki kwantowej wynikają z tych prostych związków”. Rzeczywiście, bardzo to proste i naturalne. Można już powrócić do kwantowania pola elektromagnetycznego (s. 85): „W przypadku pola elektromagnetycznego należało zastosować procedurę dokładnie analogiczną do użytej w mechanice. Innymi słowy, funkcje określające pole elektromagnetyczne w każdym punkcie przestrzeni i w każdej chwili trzeba było zastąpić operatorami”. Na próżno jednak czytelnik będzie szukał tu funkcji falowej dla pola elektromagnetycznego, której kwadrat modułu „określa prawdopodobieństwo znalezienia cząstek lub układu w pewnym obszarze przestrzeni lub w pewnym stanie”. Znajdzie natomiast następujące stwierdzenie dotyczące stanów (s. 85): „Jeżeli operator kreacji działa na stan zawierający  $n$  fotonów, zmienia go w stan złożony z  $n+1$  fotonów”. Autor nie uznał jednak za potrzebne wyjaśnić, co to jest „stan zawierający  $n$  fotonów”.

W kilku miejscach Autor podaje (w ramkach) dodatkowe informacje „matematyczne”. I tak np. na s. 69 tekst w ramce ma przybliżyć czytelnikowi funkcję logarytmiczną. Została ona „elegancko” wprowadzona jako rozwiązanie równania funkcyjnego. A więc logarytm to taka funkcja, która spełnia równanie  $\log(ab) = \log(a) + \log(b)$ ; trzeba jeszcze dodać pół zdania, że równanie to nie wyznacza podstawy logarytmu i już można wprowadzić logarytm liczb zespolonych. (*Nota bene* Autor zapomniał, że w dziedzinie zespolonej logarytm jest wieloznaczny). W sam raz dla czytelników bez przygotowania matematycznego.

Nawet rozdział o symetrii, wdzięczny temat dla popularyzacji, jest zupełnie niezrozumiały. Czegóż tu nie ma! I twierdzenie Noether o związku symetrii z prawami zachowania w fizyce klasycznej i kwantowej, i grupy punktowe kryształów, i symetrie ukryte atomu wodoru, i łamanie parzystości, jak również symetrii CP, i niezmienniczość względem cechowania. I jeszcze liczne ilustracje symetrii z dziedziny architektury, zdobnictwa,

przyrody, a nawet muzyki. I wszystko, i zarazem nic, bo przecież bez odpowiedniego przygotowania z fizyki teoretycznej nikt tego wszystkiego po prostu nie przeczyta.

Dobór materiału w książce jest charakterystyczny dla fizyków pracujących w dziedzinie fizyki oddziaływań fundamentalnych. A więc mamy tu rozdział o mechanice klasycznej, o chaosie, rozdział o mechanice statystycznej, rozdział o teorii pola (głównie elektromagnetycznego), rozdział o falach (również nieliniowych i solitonach), o teorii kwantów, o teorii względności, o pojęciu cząstki elementarnej, o symetrii. Fizyki „mezoskopowej” dotyczy rozdział o zjawiskach kolektywnych, ale również i te problemy zostały tu omówione ze względu na ich rolę w fizyce oddziaływań fundamentalnych.

Dobór materiału jest oczywiście sprawą subiektywną i trudno dziwić się temu, że Autor pisze o tym, co go ciekawi. Nie mogłem jednak w książce dopatrzeć się jakiejś myśli przewodniej, czegoś co rzeczywiście pozwoliłoby czytelnikowi „zrozumieć przyrodę”. Wydaje się raczej, że rozważania Autora krążą wokół różnych problemów fizyki oddziaływań fundamentalnych, skojarzenia prowadzą go do coraz to nowych zagadnień, które koniecznie według niego muszą być choćby krótko omówione. W rezultacie książka stanowi niespójny zbiór uwag i stwierdzeń. Zawodowy fizyk znajdzie tam sporo ciekawych sformułowań, ale czytelnik bez przygotowania odłoży tę książkę na bok jako zupełnie niezrozumiałą.

Uważam, że Autor całkowicie rozminął się z oczekiwaniami i możliwościami percepcji fizyki przez czytelników bez odpowiedniego, głębokiego przygotowania. Naprawdę nie mogę sobie wyobrazić, dla kogo Autor tę książkę napisał. Chyba jednak przede wszystkim dla siebie.

Na obwolucie książki umieszczony jest cytat: „Ta książka to arcydzieło. Żałuję, że nie ja ją napisałem. Sheldon Glashow, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1979 r.”. Nie jestem laureatem Nagrody Nobla, ale wcale nie żałuję, że to nie ja napisałem tę książkę.

Polskie wydanie zostało przygotowane bardzo starannie. Tłumaczenie na język polski jest poprawne i tekst czyta się gładko. Również strona wydawnicza nie budzi zastrzeżeń.

Nie sądzę jednak, żeby książka R.G. Newtona przyczyniła się do szerszego zrozumienia przyrody.

*Jan Mostowski*

Instytut Fizyki PAN i Szkoła Nauk Ścisłych  
Warszawa

## LISTY DO REDAKCJI

## Siła działająca na fluksoidy w nadprzewodniku

W dwóch poważnych opracowaniach, a mianowicie w rozdz. „Nadprzewodnictwo” autorstwa Eugeniusza Trojnarą w *Encyklopedii fizyki współczesnej* (PWN, Warszawa 1983, s. 418), a ostatnio w monografii Michela Cyrota i Davora Pavuna *Wstęp do nadprzewodnictwa*, tłumaczonej przez T. Skośkiewicza i A. Wiśniewskiego (PWN, Warszawa 1996, s. 90), jest zawarte to samo błędne stwierdzenie, poparte stosownym rysunkiem, że siła działająca w nadprzewodniku II rodzaju na fluksoid ze strony prądu płynącego przez nadprzewodnik jest siłą Lorentza. W drugim opracowaniu jest to dopowiedziane wzorem  $\mathbf{f} = \mathbf{j} \times \Phi$ , gdzie  $\mathbf{f}$  jest siłą działającą na jednostkę długości fluksoidu,  $\mathbf{j}$  gęstością prądu,  $\Phi$  strumieniem fluksoidu. Tymczasem siła, o której mowa, jest akurat przeciwna do siły Lorentza i wyraża się wzorem

$$\mathbf{f} = \Phi \times \mathbf{j} . \quad (1)$$

Uzasadnienie intuicyjne i zdroworozsądkowe jest takie, że przecież jest to siła reakcji względem siły Lorentza. Uzasadnienie ścisłe jest następujące. Prąd płynący w nadprzewodniku wytwarza pole magnetyczne o natężeniu  $\mathbf{H}$  takim, że

$$\mathbf{j} = \text{rot } \mathbf{H} . \quad (2)$$

Moment magnetyczny jednostki długości fluksoidu jest równy  $\Phi/\mu_0$ , gdzie  $\mu_0$  jest przenikalnością magnetyczną próżni. Ów moment ma we wspomnianym wcześniej polu magnetycznym energię potencjalną

$$U = -\mu_0 \mathbf{H} \cdot \frac{\Phi}{\mu_0} = -\mathbf{H} \cdot \Phi . \quad (3)$$

Na jednostkę długości fluksoidu działa więc siła

$$\mathbf{f} = -\text{grad } U = \text{grad}(\mathbf{H} \cdot \Phi) . \quad (4)$$

Według znanej tożsamości matematycznej prawa strona równania (czyli i  $\mathbf{f}$ ) jest równa

$$\mathbf{f} = (\Phi \cdot \nabla) \mathbf{H} + \Phi \times \text{rot } \mathbf{H} + (\mathbf{H} \cdot \nabla) \Phi + \mathbf{H} \times \text{rot } \Phi . \quad (5)$$

W przypadku jednorodnego prądu, tylko drugi składnik sumy po prawej stronie równania jest różny od zera i na mocy (2) otrzymujemy równanie (1).

Szczegół, który podniosłem, nie ma konsekwencji praktycznych dotyczących zjawiska, ale powinien być wyjaśniony.

*Andrzej Zastawny*

Instytut Fizyki PŚI  
Gliwice



## K R O N I K A

### PTF

#### Nagroda im. Arkadiusza Piekary za pracę magisterską

W 1996 r. Polskie Towarzystwo Fizyczne przyznało nagrodę I stopnia im. Arkadiusza Piekary za wyróżniającą się pracę magisterską Arkadiuszowi Wójsowi. Laureat uzyskał w 1995 r. tytuł magistra inżyniera fizyki na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej, a jego praca magisterska „Kropki kwantowe” zawiera wyniki kilku publikacji, których był współautorem, ogłoszonych w międzynarodowych czasopismach.

B. W.

### CERN

Przewodniczącym Rady CERN-u został wybrany Luciano Maiani, profesor fizyki teoretycznej Uniwersytetu Rzymskiego La Sapienza. Okres sprawowania tej funkcji wynosi jeden rok i może być przedłużony do trzech lat. Maiani był delegatem Włoch do Rady od 1993 r.

Rada CERN-u składa się z delegatów 19 krajów członkowskich (delegatami Polski są prof. Jerzy Niewodniczański, prezes Państwowej Agencji Atomistyki i prof. Ryszard Sosnowski z Instytutu Problemów Jądrowych) i jest najwyższym organem CERN-u. Jej zadaniem jest m.in. zatwierdzanie planów naukowych i finansowych tej organizacji. Zasadniczej wagi zadaniem stojącym przed CERN-em w najbliższych latach jest doprowadzenie do uru-

chomienia Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC).

*Phys. Today* 49, nr 12 (1996)

B. W.

#### Nagroda FNP dla Paczyńskiego

Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej przyznała nagrody za rok 1996. W dziedzinie nauk ścisłych nagrodę otrzymał prof. Bohdan Paczyński (Uniwersytet w Princeton) za „odkrycie nowej metody wykrywania obiektów kosmicznych i wyznaczania ich masy poprzez soczewkowanie grawitacyjne”.

Przypomnijmy, że jest to już piąta nagroda przyznana przez Fundację w dziedzinie nauk ścisłych. W 1992 r. otrzymał ją prof. Aleksander Wolszczan za odkrycie pierwszego pozasłonecznego układu planetarnego, w 1993 r. prof. Stanisław Lech Woronowicz za prace dotyczące grup kwantowych i ich związków z  $C^*$  algebrami, w 1994 r. prof. Zbigniew Ryszard Grabowski za opracowanie nowych metod generowania cząsteczek w stanach charakteryzujących się silnym przemieszczeniem ładunku elektronowego w cząsteczce, i w 1995 r. prof. Adam Sobieczewski za prace, w których przewidziane zostało istnienie nieoczekiwanie bardzo stabilnych jąder atomowych najcięższych pierwiastków, potwierdzone doświadczalnie w połowie 1993 r. (por. *Postępy Fizyki* 44, 235 (1993); 46, 89 i 431 (1995); 47, 29 (1996)).

W 1986 r., w artykule dla *Astrophysical Journal*, Paczyński zaproponował metodę wykrywania obiektów astronomicznych naszej Galaktyki wykorzystującą zja-

wisko mikrosoczewkowania grawitacyjnego (patrz artykuł K.Z. Stanka „Poszukiwanie ciemnej materii za pomocą mikrosoczewkowania grawitacyjnego”, *Postępy Fizyki* 46, 69 (1995)). Zjawisko to zachodzi, gdy jakieś ciało o dużej masie znajdzie się w pobliżu linii łączącej obserwatora i źródło promieniowania elektromagnetycznego. Zakrzywienie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym masy powoduje, że większa liczba fotonów wysłanych przez źródło może trafić do detektora. Przejawia się to zwiększeniem obserwowanej jasności źródła. Prosta teoria tego zjawiska przewiduje, że punktowa masa w pobliżu linii widzenia powoduje powstanie podwójnego obrazu punkтового źródła. W przypadku obiektów należących do Galaktyki obrazy te znajdują się od siebie w typowej odległości milisekundy łuku i ich rozdzielenie nie jest możliwe za pomocą teleskopów optycznych. Stąd wzięło się pojęcie mikrosoczewkowania grawitacyjnego, którego obserwacja z konieczności ogranicza się do rejestracji zmian jasności źródła, czyli jego krzywej zmian blasku. Kształt takich krzywych jest charakterystyczny dla soczewkowania.

Obiekty Galaktyki poruszają się z prędkościami rzędu kilkuset kilometrów na sekundę i obiekt mogący zakrzywić promienie źródła zauważalnie wzmacnia jego blask tylko przez skończony czas. Bardziej masywne obiekty mają oczywiście większy zasięg działania; przy innych parametrach ustalonych, charakterystyczny czas trwania zjawiska jest proporcjonalny do pierwiastka z masy obiektu. Pozostałe parametry to: składowa prędkości obiektu względem linii widzenia oraz wzajemne odległości obserwatora, źródła i masy. Rozkład masy w Galaktyce i rozkład prędkości w przestrzeni są znane na tyle dobrze, że badając statystycznie własności mikrosoczewkowania grawitacyjnego będzie można określić widmo mas „soczewek”.

Zastugą Paczyńskiego było wskazanie źródeł promieniowania i metody obserwacji, która mogłaby prowadzić do wykrycia znaczącej liczby zjawisk w skończonym czasie. W pracy z 1986 r. pokazał, że przy ciągłym monitorowaniu ok. miliona gwiazd w sąsiednich galaktykach można się spodziewać ok. jednego przypadku mikrosoczewkowania rocznie, pod warunkiem, że bezpośrednio nie obserwowana materia w otoczce Galaktyki („ciemna materia”, o której obecności świadczą ruchy gwiazd i gazu) składa się ze zwartych obiektów masywniejszych od Merkurego i nie przekraczających 100 mas Słońca. W pięć lat później Paczyński zaproponował monitorowanie gwiazd w sąsiedztwie centrum Galaktyki, w obszarze słabo przesłoniętym przez pył, tzw. oknie Baadego. Większa gęstość materii w dysku Galaktyki powoduje, że obserwacje w tym kierunku pozwalają częściej wykrywać przypadki mikrosoczewkowania. Trzeba podkreślić, że dla realizacji obu wariantów projektu wystarczy posłużyć się metrowym teleskopem. Współczesne detektory promieniowania pozwalają w ciągu kilkunastu minut zmierzyć za jego pomocą jasności kilkudziesięciu tysięcy gwiazd.

Podstawowym rezultatem zaproponowanych przez Paczyńskiego obserwacji będzie ustalenie widma mas obiektów stanowiących ciemną materię Galaktyki. W szczególności otrzymamy odpowiedź na pytanie, czy stanowią ją obiekty o masach gwiazd lub planet i czy można wykluczyć obecność w Galaktyce znaczącej ilości ciemnej materii w formie tzw. słabo oddziałujących cząstek o dużej masie.

Entuzjazm Paczyńskiego pozwolił na podjęcie współpracy pomiędzy warszawskim Obserwatorium Astronomicznym, Princeton Observatory i Carnegie Institutions of Washington. W ten sposób po-

wstała grupa OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), która w latach 1992–95 prowadziła, w należącym do Carnegie obserwatorium Las Campanas w Chile, obserwacje gwiazd w centrum Galaktyki, wykrywając 18 prawdopodobnych przypadków mikrosoczewkowania. Obecnie, dzięki funduszom KBN i Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, w Las Campanas działa polski teleskop o średnicy 1.3 m, którego konstrukcja i oprzyrządowanie pozwolą na prowadzenie szczególnie wydajnej fotometrii masowej gwiazd. Pierwotna idea tego przedsięwzięcia również pochodzi od Paczyńskiego.

O ważności zaproponowanego programu badawczego świadczy fakt, że co najmniej trzy inne grupy astronomów na świecie prowadzą podobne obserwacje (MACHO – grupa amerykańsko-australijaska, EROS i DUO we Francji). Produktem ubocznym poszukiwań zjawiska mikrosoczewkowania przez grupę OGLE jest niezwykle bogata baza danych fotometrycznych dla obiektów Galaktyki. Już obecnie pozwoliły one wykryć wiele nowych obiektów, takich jak gwiazdy zmienne różnych typów. Wyznaczono także diagramy kolor-jasność oraz mapę ekstynkcji obszarów w pobliżu centrum Galaktyki.

*Michał Jaroszyński*

Bohdan Paczyński urodził się 8 lutego 1940 r. w Wilnie. Wiosną 1945 r. rodzina Paczyńskich z pięcioletnim Bohdanem i jego młodszą siostrą Ewą opuściła Wilno na zawsze i osiedliła się na stałe w Warszawie. Tutaj Bohdan Paczyński, po ukończeniu szkoły podstawowej i liceum im. Kołłątaja, rozpoczął w 1957 r. studia astronomiczne na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Jego wybitne zdolności sprawiły, że już w 1959 r., jako student trzeciego roku, rozpoczął pracę w Obserwatorium

Astronomicznym UW (OAUW) na etacie asystenta technicznego. Po uzyskaniu tytułu magistra w 1962 r. został zatrudniony w Zakładzie Astronomii PAN, przemianowanym w 1975 r. na Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika (CAMK). W roku 1964, w dwa lata po ukończeniu studiów, uzyskał stopień doktora, zaś w 1967 r. odbyła się jego habilitacja, której tematem była ewolucja ciasnych układów podwójnych. W 1974 r. Paczyński zostaje profesorem nadzwyczajnym, zaś w 1976 r. najmłodszym członkiem korespondentem Polskiej Akademii Nauk. Tytuł profesora zwyczajnego uzyskuje w 1979 r. W 1991 r. zostaje członkiem rzeczywistym PAN.

W roku 1965 Bohdan Paczyński poślubił Hannę Adamską, swoją szkolną koleżankę, absolwentkę matematyki UW, która stała się odtąd nieodłączną towarzyszką jego życia.

Paczyński interesował się astronomią od wczesnego dzieciństwa. Już w 1954 r., jako czternastoletni chłopiec, obserwował w Ostrowiku (stacji podmiejskiej OAUW) gwiazdy zmienne metodą Argelandera. Pierwsze prace Paczyńskiego po ukończeniu studiów nosiły także charakter obserwacyjny. W czasie pierwszego rocznego pobytu w USA, w obserwatorium Licka (1962/63) spędził ok. 140 nocy przy teleskopie fotometrując gwiazdy zmienne pulsujące typu RR Lyrae i gwiazdy zaćmieniowe. Odkryta przez niego wtedy gwiazda AW UMa weszła do podręczników jako nie pobita do chwili obecnej rekordzistka stosunku mas (1:13) wśród układów kontaktowych, co sprawia, że jej krzywa blasku ma płaskie dno w obu zaćmieniach. Teleskop, którym Paczyński wtedy obserwował, tzw. Crossley, był starej daty i jego obsługa związana była z niebezpieczeństwem spadnięcia z dużej wysokości (obserwatorium na Crossleyu zdarzało się łamać koń-

czynny w czasie takich upadków). Paczyński pytany przez osoby zwiedzające Obserwatorium Licka, czy nie boi się pracować w tak niebezpiecznych warunkach, odpowiadał, że przecież jest tatarnikiem. Raz jednak spadł z platformy obserwatora. Na szczęście wyszedł z tego cało i już po dziesięciu minutach, zastąpiwszy zerwany w czasie spadku kabel nowym, obserwował dalej. W Tatrach nie spadł nigdy. Wyjazdy w Tatry, połączone ze wspinaczką, a potem wyjazdy w Alpy, były ulubioną formą jego wypoczynku.

Przez kilka następnych dziesięcioleci Paczyński zajmował się prawie wyłącznie pracą teoretyczną w wielu dziedzinach astrofizyki. Pierwsze jego głośne prace teoretyczne, rozpoczęte w połowie lat sześćdziesiątych, dotyczyły modelowania ewolucji ciasnych układów podwójnych z wymianą masy. Za nimi poszły prace dotyczące modeli dysków akrecyjnych, powstawania mgławic planetarnych, późnych stadiów ewolucji gwiazd. Wyniki tych prac stanowią dzisiaj materiał podręcznikowy. W ciągu ostatnich dziesięciu lat jego prace poświęcone były głównie dwóm dziedzinom: soczewkowaniu grawitacyjnemu w różnych jego aspektach (i z tym związana jest przyznana obecnie nagroda) i teorii błysków gamma. Odkryte ok. ćwierć wieku temu błyski gamma okazały się jednym z najdonioślejszych zjawisk astronomicznych naszego stulecia. Działająca obecnie aparatura odkrywa średnio raz dziennie, w losowym kierunku na niebie, błysk gamma przewyższający często blaskiem wszystkie inne, łącznie wzięte, źródła gamma na niebie. Natura błysków jest dotychczas nie wyjaśniona, a astrofizycy podzielili się na dwa obozy. Zwolennicy tzw. hipotezy lokalnej sądzą, że pochodzą one od gwiazd neutronowych położonych w koronie naszej rodzimej Galaktyki, inni uważają, że stanowią one

nową klasę obiektów o odległościach kosmologicznych. O tym, jak ważne jest rozwiązanie tego problemu świadczy fakt, że w kwietniu 1995 zorganizowano w USA tzw. Drugą Wielką Debatę astronomiczną stulecia (zwaną też Debatą Diamentowego Jubileuszu). W pierwszej Wielkiej Debatcie, przed siedemdziesięciu pięciu laty, poświęconej problemowi odległości tzw. „białych” mgławic wystąpili: Harlow Shapley broniący opinii, że te mgławice są obiektami lokalnymi, położonymi w naszej Galaktyce, i Heber D. Curtis, zwolennik poglądu, że są one innymi galaktykami, położonymi na zewnątrz naszej. W cztery lata później Edwin Hubble dowiódł obserwacyjnie, że to Curtis miał rację, co stało się przełomem w ówczesnym rozumieniu Wszechświata. Bohaterami Drugiej Wielkiej Debaty stulecia, która odbyła się w tej samej sali co pierwsza, byli Bohdan Paczyński i Donald Q. Lamb. Lamb bronił hipotezy lokalnych odległości błysków gamma, Paczyński wystąpił jako zwolennik ich odległości kosmologicznych. O kosmologicznym pochodzeniu błysków gamma Paczyński jest przekonany od kilkunastu lat, a jego prace podają silne argumenty na korzyść tej interpretacji. Pogląd ten zyskuje coraz większe poparcie obserwacyjne. Odległości kosmologiczne czynią z błysków gamma najsilniejsze i najciekawsze źródła promieniowania elektromagnetycznego we Wszechświecie, których znaczenie dla zrozumienia ewolucji Wszechświata jako całości trudno byłoby przecenić.

Profesor Bohdan Paczyński mieszka obecnie wraz z rodziną w USA, gdzie w roku 1981 zastał go stan wojenny. Pracował wówczas w Kalifornijskim Instytucie Technologii (Caltech), ale w roku 1982 przeniósł się do Uniwersytetu w Princeton, gdzie objął specjalnie dla niego utworzone stanowisko profesora astrofizyki. Tam pracuje dotychczas.

Mieszkając od piętnastu lat w Ameryce Paczyński pozostaje cały czas gorącym polskim patriotą. Jest jedynym Polakiem, jaki kiedykolwiek był członkiem zagranicznym Amerykańskiej Akademii Nauk – z reguły Polacy po osiedleniu się w USA stają się jej członkami krajowymi, tak jak Amerykanie. Jego kontakty z krajem zawsze pozostawały żywe, nawet w najtrudniejszych czasach. Dzięki niemu tuż po zakończeniu stanu wojennego Obserwatorium Astronomiczne UW otrzymało swoje pierwsze komputery, które stały się zalążkiem tego, co dziś funkcjonuje jako obserwatoryjna sieć komputerowa. Komputery wysyłał Paczyński nie tylko do OA UW, lecz także do innych placówek astronomicznych w kraju, takich jak CAMK, czy Obserwatorium Astronomiczne UJ. Nie szczędząc związanych z tym trudów Paczyński organizuje i wspiera finansowo wyjazdy zagraniczne polskich astronomów, a dom Paczyńskich w Princeton gościł dziesiątki rodaków. Interesuje się żywo pracami astronomicznymi prowadzonymi w kraju. Niejednokrotnie jest ich inicjatorem i współautorem. Z jego inicjatywy i dzięki jego pomocy Polska ma obecnie na półkuli południowej pierwszy nowoczesny, sprawnie działający teleskop.

Bohdan Paczyński jest niewątpliwie najwybitniejszym polskim astrofizykiem i jednym z pierwszych w astrofizycznej czołówce światowej. Jego dorobek naukowy liczy obecnie 217 publikacji. Paczyński należy nie tylko do najczęściej cytowanych w literaturze naukowej astrofizyków, ale także znajduje się w światowej czołówce astrofizyków, którym inni najczęściej dziękują w swoich pracach. Jest laureatem szeregu nagród, w tym polskiej Nagrody Państwowej (1980), nagrody Jurzykowskiego (1982) i Medalu Eddingtona Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego (1987).

Profesor Paczyński jest obdarzony talentem pięknego i przystępnego przedstawiania wyników naukowych przed audytorium o każdym poziomie. Wielokrotnie wygłaszał tzw. referaty na zaproszenie na międzynarodowych zjazdach astronomów. Polskich uczestników XVII Kongresu Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Montrealu (1979) głęboko poruszył fakt, że na tym kongresie, w grupie trzech prelegentów inaugurujących obrady, Paczyńskiemu towarzyszyli dwaj laureaci nagrody Nobla.

Najistotniejszą cechą charakteru prof. Paczyńskiego w jego pracy naukowej jest, obok wybitnych zdolności i pracowitości, jego ogromny entuzjazm. Tym entuzjazmem potrafi natchnąć także swoich kolegów i współpracowników. I na koniec trzeba wspomnieć o czymś także bardzo istotnym. Profesor Paczyński jest zupełnie wolny od jakże często spotykanej w środowisku naukowców zawiści zawodowej. Wręcz przeciwnie, sprawia mu radość, jeśli ktoś z jego otoczenia zrobi ładną i wartościową pracę. W kontaktach z ludźmi cechuje go skromność, prostota i bezinteresowna życzliwość.

*Irena Semeniuk*

### **Doktorat honorowy dla Davida Shugara**

Dnia 23 listopada 1996 r. w Auditorium Maximum odbyła się uroczystość nadania prof. Davidowi Shugarowi tytułu doktora *honoris causa* Uniwersytetu Warszawskiego. Środowisko uniwersyteckie uhonorowało w ten sposób uczonego o światowym autorytecie naukowym i twórcę polskiej szkoły biofizyki molekularnej.

Urodzony w 1915 r. w Opatowie, wyjeżdża wkrótce z rodziną do Kanady, gdzie kończy studia na Wydziale Fizyki Uniwer-

sytetu McGill w Montrealu. Doktoryzuje się i pracuje w Kanadzie do 1948 r. Po dwuletnim pobycie w Paryżu (w Instytucie Biologii Fizykochemicznej oraz Instytucie Pasteura) oraz dwuletnim w Brukseli (Uniwersytet i Centrum Badań Jądrowych) przybywa, w pewnej mierze pod wpływem prof. Leopolda Infelda, do Warszawy w 1954 r. Obejmuje kierownictwo Zakładu Biochemii Państwowego Zakładu Higieny oraz organizuje od podstaw Zakład Fizykochemii Biologicznej w Instytucie Biochemii i Biofizyki PAN, którym kieruje (w późniejszym okresie jako Zakładem Biologii Molekularnej) do chwili przejścia na emeryturę w 1985 r.

Kontakty z warszawskim środowiskiem fizyków, a zwłaszcza z prof. Jerzym Pniewskim, doprowadziły do powierzenia mu organizacji i kierownictwa Katedry Biofizyki na Wydziale Fizyki UW. Była to wówczas pierwsza w Polsce i jedna z nielicznych w świecie katedra biofizyki na wydziale fizyki. Inicjatywa ta wyprzedzała o wiele lat szersze zaangażowanie się fizyków w badania zjawisk biologicznych. Ze swoimi współpracownikami prof. Shugar opracował nowoczesny program dydaktyczny biofizyki, biologii molekularnej, genetyki, chemii fizycznej oraz molekularnej mechaniki kwantowej dla fizyków, na którego strukturze wzorowało swoje programy dydaktyczne wiele innych instytucji o interdyscyplinarnym charakterze. Profesor Shugar, skupiając wokół siebie współpracowników o różnych specjalnościach oraz wykazując wielką umiejętność wyszukiwania istotnych, a równocześnie możliwych do badań w Polsce problemów, był nie tylko inicjatorem, ale także codziennym uczestnikiem prowadzonych prac badawczych.

David Shugar opublikował ok. 450 prac w czasopismach i wydawnictwach o zasięgu międzynarodowym. W zakresie nauk przyrodniczych jest jednym z najczę-

ściej cytowanych w kraju badaczy. Pod jego kierunkiem ponad 40 naukowców uzyskało stopień doktora, a kilkunastu uczniów i współpracowników zajmuje stanowiska profesorskie w kraju i za granicą. Jego prace dotyczą bardzo szerokiej problematyki – od prac podstawowych w dziedzinie fizyki procesów biomolekularnych, po złożone syntezy chemiczne i elektrochemiczne związków przeciwwirusowych i przeciwnowotworowych oraz zastosowania medyczne w chemioterapii i diagnostyce.

Do klasyki światowej należą prace Profesora dotyczące tzw. zjawiska tautomerii, związane ze stabilnością struktury nośników informacji genetycznej, oraz prace wskazujące na uszkodzenia informacji genetycznej wskutek oddziaływania elementów układu genetycznego z promieniowaniem elektromagnetycznym. Badania nad strukturą i właściwościami syntetycznych, modelowych składników DNA, z wykorzystaniem różnorodnych metod typowych dla obszarów konwencjonalnej fizyki i fizykochemii, w tym metod spektroskopii molekularnej, doprowadziły do głębszego zrozumienia zasad budowy i funkcjonowania nośników informacji genetycznej. Badania kwasów rybonukleinowych, rRNA, zawoconowały w późniejszym okresie znaczącym udziałem uczniów Profesora w odkryciu katalitycznych właściwości rRNA, bardzo ważnego zjawiska zarówno z punktu widzenia biomolekularnych procesów regulacyjnych, jak również procesów ewolucyjnych na poziomie molekularnym. Badania podstawowych mechanizmów naprawczych informacji genetycznej, prowadzone przez prof. Shugara, zostały rozwinięte przez jego współpracowników do poziomu zastosowań medycznych.

Równoległe do badań nośników informacji genetycznej prof. Shugar rozwijał badania białek, szczególnie enzymów i reakcji przez nie katalizowanych. To właśnie

sytetu McGill w Montrealu. Doktoryzuje się i pracuje w Kanadzie do 1948 r. Po dwuletnim pobycie w Paryżu (w Instytucie Biologii Fizykochemicznej oraz Instytucie Pasteura) oraz dwuletnim w Brukseli (Uniwersytet i Centrum Badań Jądrowych) przybywa, w pewnej mierze pod wpływem prof. Leopolda Infelda, do Warszawy w 1954 r. Obejmuje kierownictwo Zakładu Biochemii Państwowego Zakładu Higieny oraz organizuje od podstaw Zakład Fizykochemii Biologicznej w Instytucie Biochemii i Biofizyki PAN, którym kieruje (w późniejszym okresie jako Zakładem Biologii Molekularnej) do chwili przejścia na emeryturę w 1985 r.

Kontakty z warszawskim środowiskiem fizyków, a zwłaszcza z prof. Jerzym Pniewskim, doprowadziły do powierzenia mu organizacji i kierownictwa Katedry Biofizyki na Wydziale Fizyki UW. Była to wówczas pierwsza w Polsce i jedna z nielicznych w świecie katedra biofizyki na wydziale fizyki. Inicjatywa ta wyprzedzała o wiele lat szersze zaangażowanie się fizyków w badania zjawisk biologicznych. Ze swoimi współpracownikami prof. Shugar opracował nowoczesny program dydaktyczny biofizyki, biologii molekularnej, genetyki, chemii fizycznej oraz molekularnej mechaniki kwantowej dla fizyków, na którego strukturze wzorowało swoje programy dydaktyczne wiele innych instytucji o interdyscyplinarnym charakterze. Profesor Shugar, skupiając wokół siebie współpracowników o różnych specjalnościach oraz wykazując wielką umiejętność wyszukiwania istotnych, a równocześnie możliwych do badań w Polsce problemów, był nie tylko inicjatorem, ale także codziennym uczestnikiem prowadzonych prac badawczych.

David Shugar opublikował ok. 450 prac w czasopiśmie i wydawnictwach o zasięgu międzynarodowym. W zakresie nauk przyrodniczych jest jednym z najczę-

ściej cytowanych w kraju badaczy. Pod jego kierunkiem ponad 40 naukowców uzyskało stopień doktora, a kilkunastu uczniów i współpracowników zajmuje stanowiska profesorskie w kraju i za granicą. Jego prace dotyczą bardzo szerokiej problematyki – od prac podstawowych w dziedzinie fizyki procesów biomolekularnych, po złożone syntezy chemiczne i elektrochemiczne związków przeciwwirusowych i przeciwnowotworowych oraz zastosowania medyczne w chemioterapii i diagnostyce.

Do klasyki światowej należą prace Profesora dotyczące tzw. zjawiska tautomerii, związane ze stabilnością struktury nośników informacji genetycznej, oraz prace wskazujące na uszkodzenia informacji genetycznej wskutek oddziaływania elementów układu genetycznego z promieniowaniem elektromagnetycznym. Badania nad strukturą i właściwościami syntetycznych, modelowych składników DNA, z wykorzystaniem różnorodnych metod typowych dla obszarów konwencjonalnej fizyki i fizykochemii, w tym metod spektroskopii molekularnej, doprowadziły do głębszego zrozumienia zasad budowy i funkcjonowania nośników informacji genetycznej. Badania kwasów rybonukleinowych, RNA, zaowocowały w późniejszym okresie znaczącym udziałem uczniów Profesora w odkryciu katalitycznych właściwości RNA, bardzo ważnego zjawiska zarówno z punktu widzenia biomolekularnych procesów regulacyjnych, jak również procesów ewolucyjnych na poziomie molekularnym. Badania podstawowych mechanizmów naprawczych informacji genetycznej, prowadzone przez prof. Shugara, zostały rozwinięte przez jego współpracowników do poziomu zastosowań medycznych.

Równoległe do badań nośników informacji genetycznej prof. Shugar rozwijał badania białek, szczególnie enzymów i reakcji przez nie katalizowanych. To właśnie

uczniowie Shugara, już jako samodzielni badacze, określili strukturę przestrzenną proteazy wirusa HIV, enzymu, którego trzy inhibitory zostały w ciągu ostatniego roku dopuszczone do terapii AIDS.

Inspirujące działania prof. Shugara, jego kontakty z prof. Włodzimierzem Kołosem i innymi badaczami w dziedzinie chemii teoretycznej doprowadziły do znacznego rozwinięcia metod modelowania molekularnego i ich zastosowań w wielu dziedzinach biologii i biofizyki molekularnej.

Profesor Shugar jest członkiem Polskiej Akademii Nauk oraz redaktorem wielu międzynarodowych czasopism naukowych i współautorem fragmentów kilku encyklopedii. Wyrazem uznania jego pozycji naukowej było przyznanie mu doktoratu *honoris causa* Uniwersytetu w Gandawie (1969 r.), złotego medalu im. Nielsa Finsena przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Fotobiologiczne, medalu im. Leona Marchlewskiego przez Komitet Biochemii i Biofizyki PAN, medalu Europejskiego Towarzystwa Biofizycznego oraz nagrody Fundacji im. Jurzykowskiego. Profesor Shugar pozostaje przy tym człowiekiem niezwykle skromnym, a jego ofiarna praca dla dobra nauki i intelektualnego rozwoju młodzieży nie była przez długie lata należycie doceniana. Tak np. po 1968 r., kiedy decyzje polityczno-administracyjne uniemożliwiły mu pozostanie na stanowisku kierownika Katedry Biofizyki Uniwersytetu Warszawskiego, przez wiele lat kierował pracami naukowymi Katedry nie pobierając za swoją pracę żadnego wynagrodzenia. Przed 1989 r. sprawa nadania Shugarowi tytułu profesora zwyczajnego zawsze napotykała na bliżej nieokreślone trudności ze strony ówczesnych wysokich szczebli władzy.

Przyznanie tytułu doktora *honoris causa* Uniwersytetu Warszawskiego było radosną wiadomością dla nas wszyst-

kich, którzy mieli szczęście współpracować z prof. Shugarem.

Maciej Geller

## O dobrą polszczyznę

We wrześniu 1996 r. Prezydium Polskiej Akademii Nauk powołało na pięcioletnią kadencję Radę Języka Polskiego. Jest to organ doradczy PAN mający wydawać opinie w sprawach publicznego używania języka polskiego. Członkowie Rady mają m.in. rozstrzygać wątpliwości dotyczące słownictwa i wydawać opinie o nowych nazwach. Przewodniczącym Rady jest prof. Walery Pisarek (UJ). Spośród fizyków w skład trzydziestoosobowej Rady weszli profesorowie: Łukasz Turski (CFT PAN) i Janusz Zakrzewski (UW).

*Forum Akademickie*, nr 10 (1996)

B. W.

## Konkurs na doświadczenia pokazowe z fizyki rozstrzygnięty!

Na wiosnę 1996 r. Oddział Krakowski PTF i Instytut Fizyki UJ ogłosiły konkurs otwarty na doświadczenia pokazowe z fizyki. Celem konkursu było wydobycie na światło dzienne często niedocenianych mistrzów demonstracji fizycznych, poszukiwanie nowych talentów i popularyzacja najlepszych pomysłów, które mogłyby trafić do szkół i sal wykładowych. Napłynęły zgłoszenia od 39 autorów z całej Polski, a nawet z Wiednia. Wśród autorów byli nauczyciele szkół podstawowych, średnich i akademickich, uczniowie i renciści. Finał konkursu odbył się 5 grudnia 1996 r. Nagrody pieniężne ufundował Instytut Fizyki UJ.

Projekty rozpatrywane były przez szesnastoosobową komisję konkursową złożoną z przedstawicieli organizatorów, wszystkich ośrodków fizycznych Krakowa



oraz Wojewódzkiego Ośrodka Metodycznego w Krakowie. Finał oceniało jury w składzie: Wiesław Błasiak (WSP Kraków), Wojciech Gawlik (UJ), Zofia Gołąb-Meyer (UJ), Józef Mościcki (UJ), Kazimierz Przewłocki (AGH), Krzysztof Sokalski (UJ), Krzysztof Tomala (UJ), Jacek Turnau (IFJ) i Bronisław Zajączkowski (PK).

A oto wyniki konkursu:

I nagroda (800 zł) – Jan Tokar (Krowiarki k. Raciborza) za cykl doświadczeń z elektryczności i magnetyzmu wykorzystujący wskaźniki przepływu prądu z diod luminescencyjnych;

II nagroda (500 zł) – Marek Gołąb (Pracownia Pokazów IF UJ) za demonstrację różnej zależności współczynnika lepkości cieczy i gazów od temperatury;

III nagroda (300 zł) – Adam Starnawski (Pracownia Pokazów IF UJ) za demonstracje z zakresu elektrostatyki (model generatora Van de Graaffa);

IV miejsce – Tadeusz Skośkiewicz (IF PAN i Szkoła Nauk Ścisłych w Warszawie) za pokaz indukcji elektromagnetycznej i reguły Lenza przy ruchu magnesu w rurkach wykonanych z metali o różnym przewodnictwie;

V miejsce – Jerzy Mucha (Pracownia Pokazów IF UJ) za demonstrację fal stojących w napiętym i rozgrzanym przez przepływ prądu drucie.

Jury przyznało ponadto trzy wyróżnienia autorom, których propozycje nie całkiem odpowiadały warunkom konkursu, a które mimo to posiadały bezsporne walory dydaktyczne. Wyróżnienia otrzymali: Krzysztof Tabaszewski (Zakład Dydaktyki Fizyki UW) za zestaw umożliwiający demonstracje praw dynamiki uczniom niewidomym, Kazimierz Mikulski (Zespół Szkół Elektronicznych w Bydgoszczy) za zestaw kilkunastu ćwiczeń laboratoryjnych dotyczących fotoogniw, Wojciech i Tadeusz

Dindorfowie (Szkoła Europejska w Wiedniu) za książeczkę *The Sun on the Floor*, obejmującą kilkadziesiąt prostych, „domowych” doświadczeń i pokazów.

Wojciech Gawlik

## Kłopoty ortograficzne bazy danych

Wiceprezes European Association of Science Editors, A.J. van Loon, w liście do czasopisma *Science* zwraca uwagę, że powstaje konieczność ujednoczenia pisowni amerykańskiej i angielskiej. Chodzi tu o rejestrowanie informacji – różna pisownia tego samego słowa powoduje trudności z odnalezieniem go w bazie danych. Oczywiście takie ujednoczenia wymagają konsultacji specjalistów w danej dziedzinie, a także językoznawców. Nawet amerykańska pisownia nie jest spójna; van Loon jako przykład podaje, jakie wyrażenia na dwutlenek siarki znalazł w czasopismach amerykańskich: SO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, sulfur dioxide, sulphur dioxide, sulfur dioxide, sulphur dioxide.

*Science* 384, nr 6604 (1996)

B. W.

## Korespondencja Pauliego

Wolfgang Pauli (1900 – 1958) pozostawił ogromną ilość korespondencji naukowej. Uczony ten, jeden z twórców mechaniki kwantowej, wymieniał listy nie tylko z innymi „wielkimi”, jak Einstein, Bohr czy Heisenberg. Mimo powszechnie znanej jego arogancji i wybuchowości, wielu fizyków, często jeszcze na długo przed osiągnięciem swego szczytu naukowego, zwracało się do niego z prośbą o radę i opinię (np. Freeman Dyson, C.N. Yang, czy choćby noblista z 1995 r. Frederick Reines – patrz jego artykuł w *PF*, zes. 5 (1996)).

Zebranie korespondencji naukowej Pauliego wymagało ogromnej pracy. Zajmowała się tym pani Franca Pauli, wspomagana przez Charlesa Enza, ostatniego asystenta Pauliego w Zurychu, i Victora Weisskopfa, jednego z pierwszych asystentów Pauliego. Pani Franca Pauli ofiarowała zbiory CERN-owi, przekazując też prawa autorskie, a CERN podjął się opublikowania korespondencji i utworzył Archiwum Pauliego oraz powołał Komitet Pauliego, którego zadaniem jest opracowanie i wydanie tej korespondencji. W Komitecie od początku był Weisskopf, obecnie poza nim działają tam: Charles Enz (Genewa), Hans Primas (ETH, Zurych), Karl von Meÿenn (Inst. Maxa Plancka, Monachium) i archiwistka CERN-u Roswitha Rahmy. Przewodniczącym Komitetu jest Maurice Jacob, który reprezentuje dyrektora generalnego CERN-u. Zawarto porozumienie z firmą wydawniczą Springer na publikację *Wolfgang Pauli, wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a./Scientific correspondence with Bohr, Einstein, Heisenberg a.o.* Dotychczas wyszły drukiem: tom 1 (opubli-

kowany w 1979 r.) pod redakcją A. Hermann, K. von Meÿenna i V. Weisskopfa, zawierający 242 listy z okresu 1919–29; tom 2 (1985 r.) pod redakcją K. von Meÿenna – 364 listy z lat 1930–39 oraz nieco materiałów z poprzedniego okresu; tom 3 (1993 r.), red. K. von Meÿenn – 486 listów z lat czterdziestych. Tom 5, obejmujący okres lat pięćdziesiątych, został ze względu na olbrzymią ilość materiału podzielony na 5 części. Część 1, nadal pod redakcją K. von Meÿenna, zawiera 400 listów z lat 1950–52. W druku zachowano oryginalną pisownię (nieraz z błędami ortograficznymi i gramatycznymi autora – listy pisane były po niemiecku, angielsku lub francusku).

Komitet Pauliego patronował także wydaniu prac Pauliego z filozofii nauki: *W. Pauli, writings on physics and philosophy* (red. C. Enz i K. von Meÿenn, Springer 1992). Ukazą się też tłumaczenia tej książki na francuski, hiszpański i japoński, przy czym Komitet słusznie wymaga, aby tłumaczenia te były robione z oryginałów, a nie z wersji angielskiej.

*CERN Courier* 36, nr 7 (1996)

B. W.

## KALENDARZ IMPREZ

Informacje podajemy w następującej kolejności: data i miejsce imprezy, nazwa, instytucje organizujące, nazwisko osoby, która może udzielić bliższych informacji, Z – termin nadsyłania zgłoszeń, A – termin nadsyłania streszczeń, P – przewidziane wydanie materiałów, U – liczba uczestników, O – wysokość opłaty konferencyjnej, język (jeśli inny niż polski).

### 1997

3 – 8 marca 1997, Zakopane

#### **European Conf. on Liquid Crystals: Science and Technology**

Wydział Chemii i Fizyki Technicznej WAT i Polska Sekcja SPIE; prof. Jerzy Zieliński, Inst. Fizyki Technicznej WAT, Kaliskiego 2, 01-489 Warszawa, tel.: (22) 6859558 lub (22) 9109, fax: (22) 6669041, adr.el.: zielj@wat.waw.pl.  
ang.

22 – 25 kwietnia 1997, Poznań

#### **XVII Conference on Radio- and Microwave Spectroscopy (Specialized Colloque AMPERE – RAMIS '97)**

Inst. Fizyki Molekularnej PAN i Inst. Fizyki UAM; dr L. Piekara-Sady, IFM PAN, Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań, tel.: (61) 612381, fax: (61) 684524, adr.el.: lpiekara@ifmpan.poznan.pl.  
O: 200 USD.

10 – 17 maja 1997, Zakopane

#### **XXXII Zakopane School of Physics: Condensed Matter Studies by Nuclear Methods**

Inst. Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego, Inst. Fizyki UJ; dr Kazimierz Łątka, IF UJ, Reymonta 4, 30-059 Kraków, tel.: (12) 336377 w. 546 lub (12) 324888, fax: (12) 337086, adr.el.: uflatka@cyf-kr.edu.pl.  
Z: 30.04.97, P, U: 100, O: 600 zł, ang.

11 – 18 maja 1997, Łądek Zdrój

#### **13. Międzynarodowa Szkoła Biofizyki Transportu Membranowego**

Katedra Fizyki i Biofizyki AR we Wrocławiu; dr hab. Bożena Roszak, KFB AR, Norwida 25, 50-375 Wrocław, tel. i fax: (71) 205172, adr.el.: biophys@ozi.ar.wroc.pl.

12 – 16 maja 1997, Jurata

#### **13th FASE Symposium on Hydroacoustics and Ultrasonics**

Komitet Akustyki PAN, Polskie Tow. Akustyczne, Akademia Marynarki Wojennej, Politechnika Gdańska; prof. E. Kozaczka, AMW, Śmidowicza 71, 81-919 Gdynia, tel.: (58) 262872, 262868, fax: (58) 254846, adr.el.: amw@beta.nask.gda.pl.  
O: 200 USD, ang.

2 – 5 czerwca 1997, Lublin

#### **II Sympozjum Krajów Europy Środkowo-Wschodniej: Kształcenie przyrodniczo-techniczne dla rozwoju społeczno-gospodarczego**

Uniw. Marii Curie-Skłodowskiej i Międzynarodowa Organizacja Nauczania Przedmiotów Przyrodniczych i Technicznych (IOSTE); dr Ryszard Maciej Janiuk, Prac. Dydaktyki Chemii, Wydz. Chemii UMCS, 20-031 Lublin, tel.: (81) 375503, fax: (81) 33669, adr.el.: filip@hermes.umcs.lublin.pl.

U: 80, O: 30 USD, dla członków IOSTE 20 USD, ang.

7 – 8 czerwca 1997, Ustroń-Jaszowiec

**Przed szkole Fizyki Półprzewodników**

Inst. Fizyki PAN; prof. J. Kossut, IF PAN, al. Lotników 32, 02-668 Warszawa, tel.: (22) 437001.  
w. 3193, fax: (22) 430926, adr.el.: kossut@ifpan.edu.pl.

9 – 13 czerwca 1997, Ustroń-Jaszowiec

**XXVI Int. School on Physics of Semiconducting Compounds**

Inst. Fizyki PAN, Wydz. Fizyki UW, Centrum Badań Wysokociśnieniowych PAN; dr W. Szuskiewicz, IF PAN, al. Lotników 32, 02-668 Warszawa, tel.: (22) 435626, fax: (22) 430926, adr.el.: szusz@ifpan.edu.pl.

U: 250.

8 – 12 czerwca 1997, Puszczykowo k. Poznania

**5th Int. Seminar on Highly Conducting Organic Materials for Molecular Electronics, ISME '97**

Inst. Fizyki Molekularnej PAN; prof. A. Graja, IFM PAN, Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań, tel.: (61) 612475 lub 612365, fax: (61) 684524, adr.el.: graja@ifmpan.poznan.pl lub swietlik@ifmpan.poznan.pl

Z: 1.4.97, A: 15.5.97, P, U: 80, O: 450 zł (wraz z wyżywieniem, zakwaterowaniem i transportem z Poznania).

10 – 12 czerwca 1997, Jarnottówek-Opole

**Int. Symposium on Plasma Research and Application, PLASMA '97**

Sekcja Fizyki Plazmy Komitetu Fizyki PAN, Inst. Fizyki Uniw. Opolskiego; prof. Józef Musielok, IF UO, Oleska 48, 45-052 Opole, tel.: 545841-2212, adr.el.: plasma97@uni.opole.pl

Z: 15.4.97, A: 10.2.97, P, O: 100 USD, ang.

17 – 24 czerwca 1997, Jaszowiec

**Int. Conf. Quantum Optics IV**

Inst. Fizyki PAN i Centrum Fizyki Teoretycznej PAN; dr hab. Leszek Sirko, IF PAN, al. Lotników 32, 02-668 Warszawa, tel.: (22) 437001 w. 3385, fax: (22) 430926, adr.el.: qo4@ifpan.edu.pl.

O: 400 USD, P, ang.

15 – 18 lipca 1997, Poznań

**Int. Symp. on Scanning Probe Spectroscopy and Related Methods – SPS '97**

Inst. Fizyki PP i Uniw. w Hamburgu, patronat PTF; dr Ryszard Czajka, IF PP, Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: (61) 782749 lub 782326, fax: (61) 782324, adr.el.: sps97@pozn.lv.put.poznan.pl.

Z: 1.12.96, A: 1.12.96, P, O: 220 USD, ang.

3 – 8 sierpnia 1997, Warszawa

**XVIII Int. Conf. on Photochemistry**

Inst. Chemii Fizycznej PAN; dr J. Waluk, IChF PAN, Kasprzaka 44, 01-224 Warszawa, tel.: (22) 6327269, fax: (22) 6325274, adr.el.: icp@alfa.ichf.edu.pl.

ang.

6 – 12 września 1997, Szklarska Poręba

**2nd Int. Conf. on Cryocrystals and Quantum Crystals**

Inst. Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, Inst. Chemii Fizycznej i Teoretycznej PWiR; dr A. Jeżowski, INTiBS PAN, skr. poczt. 937, 50-950 Wrocław 2, tel.: (71) 35021 lub 443206, fax: (71) 441029, adr.el.: an.je@highscreen.int.pan.wroc.pl.

U: 120.

15 – 18 września 1997, Katowice

**XXXIV Zjazd Fizyków Polskich**

Oddział Katowicki PTF i Inst. Fizyki UŚI; prof. Jerzy Warczewski, IF UŚI, Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice, tel./fax: (32) 588431, adr.el.: zfp@us.edu.pl.

15 – 18 września 1997, Warszawa

**2nd Int. Colloquium on Micro-tribology**

Politechnika Warszawska; prof. Z. Rymuza, Inst. Konstrukcji Przyrządów Precyzyjnych i Optycznych PW, Chodkiewicza 8, pok. 623, 02-525 Warszawa, fax: 490392, adr.el.: kup\_ryz@mp.pw.edu.pl.  
ang.

19 – 23 września 1997, Polanica-Zdrój

**2nd Int. Conf. on Progress in Inorganic and Organometallic Chemistry**

Inst. Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich PWr; dr hab. P. Drożdżewski, IChNiMPR PWr, Smoluchowskiego 23, 50-372 Wrocław, tel. i fax: (71) 224330, adr.el.: pioc@ichn.ch.pwr.wroc.pl.  
O: 500 USD, ang.

**1998**

23 – 27 lipca 1998, Toruń

**The Jabłoński Centennial Conference on Luminescence and Photophysics**

Inst. Fizyki UMK; prof. J.S. Kwiatkowski, IF UMK, Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, tel. (56) 21065, fax: (56) 25397, adr.el.: lum98@phys.uni.torun.pl.  
Z: 31.3.98, A: 15.4.98, P, ang.

## NOWE KSIĄŻKI

- Stanisław Ossowski, *Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym*, WNT, Warszawa 1996, s. 349.
- Zbigniew Jacyna-Onyszkiewicz, *Zasady termodynamiki kwantowej*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań 1996, s. 112.
- Henryk Szydłowski, *Wstęp do pracowni biofizyki molekularnej*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań 1996, s. 74.
- Henryk Gurgul, *Molekularna fizyka morza z elementami ochrony środowiska*, Wyd. Naukowe USz, Szczecin 1996, s. 373, cena 15 zł.
- Wojciech Sadowski, *Wzrost kryształów nadprzewodników wysokotemperaturowych i ich właściwości transportowe*, Wyd. PG, Gdańsk 1996.
- *Duch w atomie*, oprac. P.C.W. Davies, J.R. Brown, z jęz. angielskiego tłum. Piotr Amsterdamski; Wyd. CIS, Warszawa 1996, s. 181.
- Herman Haken, Hans Christoph Wolf, *Atomy i kwanty. Wprowadzenie do współczesnej spektroskopii atomowej*, z jęz. angielskiego tłum. Irena Deperasińska, Jerzy Prochorow; PWN, Warszawa 1997, s. 540.
- James Gleick, *Chaos*, z jęz. angielskiego tłum. Piotr Jaśkowski; Zysk i S-ka, Poznań (brak roku wydania), s. 336.
- *Spektroskopia ciała stałego*, red. Mirosław Drozdowski; Wyd. PP, Poznań 1996, s. 200.
- Dietrich Stauffer, H. Eugene Stanley, *Od Newtona do Mandelbrota – wstęp do fizyki teoretycznej*, z jęz. angielskiego tłum. Łukasz Turski; WNT, Warszawa 1996, s. 268 + dyskietka, cena 24.00 zł.

## Informacje dla autorów

Komitet Redakcyjny 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). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.
- 2) Maszynopisy pracy (**oryginał i jedną pełną – z rysunkami, tabelami itd. – kopię**) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres (również komputerowy) do dalszej korespondencji.
- 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) 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, tabele (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.
- 5) Układ strony tytułowej (tytuł polski, angielski, streszczenie angielskie, ...), tekstu, odnośników literaturowych itd. powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły np. w tym numerze).
- 6) *Postępy Fizyki* są składane komputerowo. Aby skrócić cykl wydawniczy prosimy autorów przygotowujących swe artykuły na komputerach o nadsyłanie, **wraz z maszynopisami**, tekstów artykułów pocztą elektroniczną (nasz adres: [postepy@fuw.edu.pl](mailto:postepy@fuw.edu.pl)) lub na dyskietkach, najlepiej w T<sub>E</sub>X-u, w formacie MeX. Redakcja gwarantuje zwrot dyskietek natychmiast po skopiowaniu zapisów.
- 7) Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej.
- 8) Autor otrzymuje bezpłatnie 25 egz. odbitek pracy.
- 9) **Maszynopisów prac nie zamówionych i nie zakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.**

## WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 1997 r. wynosi 10 zł 80 gr za pół roku, 21 zł 60 gr za rok.

### PRENUMERATA ZA POŚREDNICTWEM „RUCH” S.A.

- 1) Wpłaty na prenumeratę przyjmują jednostki kolportażowe „RUCH” S.A. właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora. Dostawa egzemplarzy następuje w uzgodniony sposób.
- 2) Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej. Wpłaty przyjmuje „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy na konto w PBK SA XIII O/Warszawa nr 11101053-16551-2700-1-67 lub w kasach Oddziału. Dostawa odbywa się pocztą zwykłą, z wyjątkiem zlecenia dostawy pocztą lotniczą, której koszt w pełni pokrywa zamawiający.
- 3) Terminy przyjmowania wpłat od osób zamieszkałych w kraju: do 5 grudnia – na I półrocze roku następnego, do 5 czerwca – na II półrocze roku bieżącego (prenumerata krajowa) oraz do 20 listopada – na I półrocze roku następnego, do 20 maja – na II półrocze roku bieżącego (prenumerata zagraniczna).
- 4) Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru w danym roku kalendarzowym.

### PRENUMERATA ZA POŚREDNICTWEM ZG PTF

Prenumeratę można także zamówić w Zarządzie Głównym PTF, drogą wpłaty na konto ZG PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 10201097-335245-270-1-111 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową na wskazany adres.

### PRENUMERATA ZNIŻKOWA DLA CZŁONKÓW PTF

Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w Oddziałach PTF na cały rok, otrzymują 20% zniżki. W przypadku, gdy Oddział zamawia liczbę egzemplarzy przekraczającą 50% liczby członków, zniżka wynosi 30%. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem Oddziału PTF.

### INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, Poland.



## SPIS TREŚCI

W.A. Kamiński – Podwójny rozpad beta: laboratorium fizyki niestandardowej	3
<b>RÓŻNE</b>	
W. Kołos – Czy fizyk może nie być platonikiem? .....	31
Granty KBN z fizyki – X i XI konkurs .....	43
<b>WSPOMNIENIA – ROCZNICE</b>	
L. Piela – Wspomnienie o Włodzimierzu Kołosie (1928 – 1996) .....	53
<b>DYDAKTYKA FIZYKI</b>	
J.E. Dmochowski – Historia Szkolnej Pracowni Przyrodniczej w Wilnie (w 75. rocznicę powstania) .....	57
Z. Trybuła – Lato z Helem '96 .....	71
<b>ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI</b> .....	75
<b>RECENZJE</b> .....	81
<b>LISTY DO REDAKCJI</b> .....	85
<b>KRONIKA</b> .....	87

## CONTENTS

W.A. Kamiński – Double beta decay and non-standard physics .....	3
<b>MISCELLANEA</b>	
W. Kołos – Can a physicist not be a Platonist? .....	31
Grants in physics of the State Research Committee .....	43
<b>RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES</b>	
L. Piela – Recollection on Włodzimierz Kołos (1928 – 1996) .....	53
<b>PHYSICS TEACHING</b>	
J.E. Dmochowski – A history of School Science Laboratory in Vilnius (at 75th anniversary) .....	57
Z. Trybuła – Summer with helium .....	71
<b>MEETINGS AND CONFERENCES</b> .....	75
<b>REVIEWS</b> .....	81
<b>LETTERS TO THE EDITOR</b> .....	85
<b>CHRONICLE</b> .....	87