

Nr indeksu 369721

---

PTF

DWUMIESIĘCZNIK  
POŚWIĘCONY  
UPOWSZECHNIANIU  
WIEDZY  
FIZYCZNEJ

# POSTĘPY FIZYKI

TOM 46  
ZESZYT 5  
1995

---

# POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

## ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes:	Prof. dr HENRYK SZYMCZAK
Wiceprezesi:	Prof. dr STANISŁAW K. HOFFMANN Prof. dr JERZY NIEWODNICZAŃSKI
Sekretarz Generalny:	Prof. dr IRENEUSZ STRZAŁKOWSKI
Skarbnik:	Dr LUCJAN ZEMŁO
Członkowie Zarządu:	Prof. dr EWA DOBIERZEWSKA-MOZRZYMAS Dr ZOFIA GOŁĄB-MEYER Prof. dr STEFAN POKORSKI Dr EDMUND ŚNIADEK Doc. dr ANDRZEJ WIĘCKOWSKI Mgr MARIA ZABOROWSKA-KUŚMIEREK

## 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>
Prof. dr JAN KALINOWSKI – <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)
Dr ALEKSANDRA WRONKOWSKA (Bydgoszcz)	Prof. dr TADEUSZ GÓRECKI (Opole)
Dr JERZY J. WYSŁOCKI (Częstochowa)	Prof. dr ANDRZEJ WIĘCKOWSKI (Poznań)
Dr KRYSZTYN KOZŁOWSKI (Gdańsk)	Prof. dr RYSZARD KEPA (Rzeszów)
Prof. dr ZYGMUNT KLESZCZEWSKI (Gliwice)	Prof. dr HENRYK WREMBEL (Stąpsk)
Prof. dr JERZY WARCZEWSKI (Katowice)	Prof. dr TADEUSZ REWAJ (Szczecin)
Dr MAREK PAJEK (Kielce)	Prof. dr ANDRZEJ BIELSKI (Toruń)
Prof. dr ANDRZEJ SZYTUŁA (Kraków)	Prof. dr BRONISŁAW ORŁOWSKI (Warszawa)
Prof. dr STANISŁAW HAŁAS (Lublin)	Prof. dr ZYGMUNT GALASIEWICZ (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 46, ZESZYT 5  
1995

Zeszyt dofinansowany  
przez Komitet Badań Naukowych

Wydano pod patronatem  
Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Warszawa 1995

## 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: Krzysztof Burzyński, Tomasz Dietl, 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:

Mgr Piotr Malinowski (Białystok)  
Dr Wanda Ciużyńska (Częstochowa)  
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)  
Dr Roman Bukowski (Gliwice)  
Dr Janusz Frąckowiak (Katowice)  
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)  
Dr Anna Kapuścik (Kraków)  
Mgr Tomasz Durakiewicz (Lublin)  
Prof. dr Leszek Wojtczak (Łódź)  
Dr hab. Bożena Pędzisz (Opole)  
Prof. dr Andrzej Graja (Poznań)  
Mgr Danuta Ficek (Słupsk)  
Dr Ewa Weinert-Rączka (Szczecin)  
Dr Józefina Turło (Toruń)  
Dr Ewa Jędryka (Warszawa)  
Dr hab. Bernard Jancewicz (Wrocław)

**Peter Armbruster, Sigurd Hofmann**

*Gesellschaft für Schwerionenforschung  
Darmstadt, Niemcy*

**Adam Sobiczewski**

*Instytut Problemów Jądrowych  
im. A. Soltana  
Warszawa*

## Synteza pierwiastków 110 i 111

### Synthesis of the elements 110 and 111

*Abstract:* Synthesis of the elements 110 and 111, performed at GSI-Darmstadt in November-December 1994, is described. Theoretical interpretation of the results as well as prospects for a synthesis of even heavier elements are discussed.

#### 1. Wstęp

Prace nad syntezą pierwiastków ciężkich nie występujących w naturze (pierwiastki transuranowe, tj. o liczbie atomowej  $Z > 92$ ) podjęte zostały przez Enrica Fermiego w Rzymie w 1934 r., a niewiele później przez Irenę Curie w Paryżu i Ottona Hahna w Berlinie. Naświetlali oni uran neutronami ze źródeł naturalnych (np. ze źródła berylowo-radonowego). Pierwsza udana synteza przeprowadzona została jednak dopiero w 1940 r. w Berkeley, gdy dysponowano już cyklotronem. Otrzymany w niej został neptun ( $^{239}\text{Np}$ ) przez naświetlanie uranu ( $^{238}\text{U}$ ) neutronami otrzymanymi w reakcji jądrowej przeprowadzonej za pomocą cyklotronu.

Pierwiastki od neptunu ( $Z = 93$ ) do mendelewu ( $Z = 101$ ) otrzymane zostały w reakcjach jądrowych wywołanych strumieniem neutronów lub lekkich cząstek naładowanych (głównie cząstek  $\alpha$ ). Synteza dalszych pierwiastków wymagała już użycia cięższych jąder, przyspieszonych w akceleratorach w postaci zjonizowanych

(na ogół wielokrotnie) atomów, czyli tzw. ciężkich jonów. Przeprowadzona ona została w trzech ośrodkach: Laboratorium im. Lawrence'a w Berkeley (USA), Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej (Rosja) i Instytucie Ciężkich Jonów (Gesellschaft für SchwerIonenforschung – GSI) w Darmstademie (Niemcy). W tym ostatnim Instytucie dokonano syntezy trzech najcięższych znanych do 1994 r. pierwiastków o  $Z = 107$  [1], 108 [2] i 109 [3], oraz zaproponowano dla nich odpowiednio nazwy: nielsbohr (Ns), hass (Hs) i meitner (Mt). Pewne wskazówki na niezależne wytworzenie pierwiastka 108 podane także zostały przez fizyków dubieńskich [4].

W *Postęпах Fizyki* synteza pierwiastków transuranowych opisana została w artykule [5], a prace teoretyczne dotyczące własności jąder tych pierwiastków, zarówno obserwowanych już jak i dopiero przewidywanych, omówione zostały w artykule [6] i w cytowanych tam pracach wcześniejszych.

Głównym celem niniejszego artykułu jest opis syntezy dwóch najcięższych pierwiastków: 110 [7] i 111 [8], dokonanej ostatnio (listopad i grudzień 1994 r.) w GSI, oraz dyskusja otrzymanych wyników i ich relacji z wynikami teoretycznymi. Postaramy się jednak opisu tego szczególnego wydarzenia dokonać w taki sposób, by Czytelnik miał pewien obraz ogólny jak wygląda obecnie eksperyment, w którym syntetyzuje się najcięższe jądra, w tym nowe pierwiastki. Postaramy się też odpowiedzieć na pytanie, jakiego postępu technicznego wymaga synteza coraz cięższych pierwiastków i, w szczególności, dlaczego trzeba było czekać aż 10 lat, by po syntezie pierwiastka 108 (1984 r.) można było podjąć udaną próbę syntezy pierwiastka 110. Da to pewien przegląd wysiłków podjętych w ostatnich kilkunastu latach, które doprowadziły do syntezy pięciu najcięższych pierwiastków o  $Z = 107 - 111$ .

Omówimy także perspektywy dalszego rozszerzania tablicy Mendelejewa.

## 2. Problemy techniczne

Głównymi elementami układu eksperymentalnego, za pomocą którego syntetyzuje się nowe jądra, są: źródło jonów, akcelerator, tarcza, układ selekcyjny i układ detekcyjny. Źródło jonów ma dostarczyć zjonizowanych atomów pocisków, które muszą być przyspieszone w akceleratorze do odpowiednio dużej energii, by mogły wywołać reakcję jądrową z jądrami tarczy. Układ selekcyjny ma za zadanie oddzielić pożądanę, bardzo nieliczną produkty reakcji od produktów niepożądanych, a przede wszystkim od najliczniejszych jąder pocisków, które przeszły przez tarczę bez żadnego oddziaływania jądrowego (zderzenia).

Większość problemów technicznych, jakie należało rozwiązać, związana jest

z małym przekrojem czynnym na syntezę jąder ciężkich. Jak omówione zostanie w rozdz. 3, przekrój czynny na syntezę pierwiastka 110 oszacowany został na ok. 1 pb. By przy tak małym przekroju otrzymać przynajmniej jedno lub dwa jądra w rozsądnym czasie dysponowania wiązką (miesiąc – dwa) należało podnieść efektywność układu eksperymentalnego ok. dziesięciokrotnie w stosunku do efektywności z roku 1984, kiedy zsyntetyzowany został pierwiastek 108. Możliwości podniesienia tej efektywności poszukiwano niemal w każdym elemencie układu: źródle jonów, tarczy, układzie selekcyjnym i układzie detekcyjnym. Chodziło o zwiększenie natężenia wiązki, obniżenie poziomu tła, zwiększenie efektywności detektora.

### 2.1. Źródło jonów

W omawianym eksperymencie [7,8] zastosowane zostało nowe źródło jonów typu ECR (Electron Cyclotron Resonance). Opracowanie, zbudowanie i sprawdzenie jego działania wpłynęło w dużej mierze na termin syntezy pierwiastków 110 i 111. Jest to źródło, które dostarcza atomów wielokrotnie zjonizowanych (np. 9-krotnie zjonizowanych atomów niklu:  $^{64}\text{Ni}^{9+}$ ), które łatwo jest przyspieszać. Ma ono także bardzo dużą wydajność, pozwalając na osiągnięcie dużego natężenia wiązki pocisków. Jest bardzo stabilne w pracy i charakteryzuje się bardzo małym zużyciem materiału. Na przykład przy wytwarzaniu wiązki  $^{64}\text{Ni}$  zużywany był zaledwie 1 mg tego izotopu na godzinę. Ma to duże znaczenie, gdyż często używa się w źródle izotopów, które są mało rozpowszechnione w przyrodzie, a więc są odpowiednio drogie.

W poprzednich eksperymentach używano źródeł typu PIG (Penning Ionization Gauge), w których jony pożądanego izotopu wytwarzano za pomocą plazmy zawierającej jony argonu, otrzymywanej w zwykłym łuku elektrycznym. Pożądane jony wytwarzane były jednak ze zbyt małym ładunkiem (zwykle 3+) by mogły być przyspieszone do odpowiedniej energii. Wymagało to dodatkowej jonizacji. Dokonywano tego przez przepuszczanie wstępnie przyspieszonej wiązki przez gazowy azot, co powodowało zdercie z jonów wiązki dalszych ok. 9 elektronów, dając ostatecznie jony o ładunku ok. 12+. Ta dodatkowa jonizacja obniżała jednak natężenie wiązki 3 – 4-krotnie. Nowe źródło ECR pozwoliło tego uniknąć.

Źródło typu PIG było mniej stabilne w pracy od źródła ECR i zużywało kilkanaście razy więcej materiału.

### 2.2. Wiązka jonów

Nowe źródło jonów pozwoliło na otrzymanie wiązki o dużym natężeniu:  $3 \times 10^{12}$  jonów na sekundę, ok. 3 razy większym od natężenia stosowanego uprzednio. Jony tej wiązki przyspieszane były w liniowym akceleratorze UNILAC (UNI-

versal Linear ACcelerator) do energii potrzebnej do pokonania bariery odpychania kulombowskiego między jądrem pocisku a jądrem tarczy. Akcelerator ten został oddany do użytku w GSI w r. 1976. Absolutna dokładność określenia energii jonów niklu była  $\pm 0.6$  MeV, a względna (tj. przy zmianach, których można dokonywać w sposób ciągły)  $\pm 0.2$  MeV.

Tak duże natężenie wiązki pozwoliło np. na naświetlenie w ciągu 3.5 dnia tarczy ołowiowej dozą ok.  $0.78 \times 10^{18}$  jonów  $^{64}\text{Ni}$  o energii 313 MeV (tj. 4.89 MeV/nukleon), w wyniku czego zaobserwowano 6 przypadków syntezy jądra  $^{271}_{110}$ .

### 2.3. Tarcza

Tarcza musi spełniać kilka podstawowych warunków. Przede wszystkim powinna być możliwie „czysta” izotopowo, tzn. zawierać w możliwie wysokim procencie tylko jeden, pożądany izotop danego pierwiastka. Na przykład, przy syntezie pierwiastka 110 stosowana była tarcza ołowiowa ze wzbogaconą zawartością izotopu  $^{208}\text{Pb}$ . Skład jej wynosił: 99%  $^{208}\text{Pb}$ , 0.7%  $^{207}\text{Pb}$  i 0.3%  $^{206}\text{Pb}$ . Dla porównania, skład izotopowy ołowiu naturalnego jest: 52.4%  $^{208}\text{Pb}$ , 22.1%  $^{207}\text{Pb}$ , 24.1%  $^{206}\text{Pb}$  i 1.4%  $^{204}\text{Pb}$ . Przy syntezie zaś pierwiastka 111, tarcza zawierała izotop  $^{209}\text{Bi}$  wzbogacony do 99.99%.

Tarcza powinna być również dostatecznie cienka, by zsyntetyzowane jądra nie były zatrzymywane w materiale tarczy, ale wylatywały z niego i biegły do detektora. Jednocześnie jednak powinna być ona dostatecznie gruba, by możliwie duża część pocisków miała szanse zderzenia się z jednym jądrem tarczy. Grubość tarczy określa się zwykle przez podanie masy materiału tarczowego przypadającego na  $1 \text{ cm}^2$  powierzchni tarczy. Wielkość tę nazywa się wprost „grubością” tarczy, chociaż by dostać rzeczywistą grubość trzeba tę wielkość podzielić przez masę tego materiału przypadającą na  $1 \text{ cm}^3$ , czyli gęstość. We wspomnianej tarczy ołowiowej tak określona „grubość” tarczy wynosiła  $450 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , co przy gęstości ołowiu  $11.3 \text{ g}/\text{cm}^3$  daje na grubość w zwykłym sensie ok.  $0.40 \mu\text{m}$ , co z kolei przy średnicy atomu ołowiu ok.  $3.4 \text{ \AA}$  daje ok. 1200 warstw atomowych.

Warto zwrócić uwagę, że w tak cienkiej tarczy stosunek pola przekroju poprzecznego jąder do pola powierzchni tarczy jest bardzo mały, rzędu  $10^{-6}$ . Tarcza taka jest więc dla padających jąder bardzo przezroczysta i ogromna ich większość przelatuje przez tarczę bez żadnego oddziaływania z jej jądrami.

Techniczna realizacja tak cienkiej, delikatnej tarczy, by miała ona jednocześnie dostateczną wytrzymałość mechaniczną i termiczną, jest trudna. Problemy związane z tym omówione są w artykule [9]. W dyskutowanej powyżej tarczy ołowiowej rozwiązano je następująco. Metaliczny ołów naparowywany był na folię węglową o grubości  $40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  do grubości  $450 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  ołowiu. Ta warstwa ołowiu

została jeszcze pokryta cienką warstwą węgla o grubości  $8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , co znacznie zwiększa zdolność wypromieniowywania ciepła, a więc chłodzenia tarczy. Osem takich tarcz, o rozmiarach  $12.2 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  każda, zamontowanych zostało na odpowiednio dużych otworach wywierconych w równych odstępach na obrzeżu metalowego koła. Pokazane jest to na rys. 1. Koło to wiruje podczas naświetlania z prędkością 1125 obr./min. Wymiary tarcz i prędkość wirowania koła są odpowiednio dobrane do czasu trwania impulsu wiązki (5.5 ms) i przerwy pomiędzy impulsami (14.5 ms). Chodziło o to, by każda tarcza naświetlana była możliwie równomiernie (wirowanie) i by przerwa pomiędzy kolejnymi naświetleniami tej samej z 8 tarcz (tj. czas jej chłodzenia) była możliwie długa (160 ms). Zapobiega to zbyt szybkiemu niszczeniu tarcz przez wiązkę. Mimo to, co pewien czas któraś z tarcz ulegała przepaleniu przez wiązkę i średnio co ok. 3 dni w czasie trwania eksperymentu koło tarczowe było wymieniane.



Rys. 1. Koło tarczowe z ośmioma identycznymi tarczami zamontowanymi na jego obrzeżu

Chłodzenie tarcz odbywało się tylko na drodze promieniowania cieplnego. Efektywność tego chłodzenia powiększają dwie płyty miedziane, umieszczone po obu stronach koła tarczowego, wewnątrz komory próżniowej, chłodzone ciekłym alkoholem ( $-20^\circ\text{C}$ ).

Głównym ulepszeniem tarcz od r. 1984 było właśnie ulepszenie ich chłodzenia, co zwiększyło czas pracy tarczy, mimo zwiększonego natężenia wiązki. Istotne także było powiększenie odległości między tarczami a brzegami otworów w kole

tarczowym, na których są one zamontowane. Pozwoliło to na znaczne obniżenie tła od jąder wiązki rozproszonych na tych brzegach.

Układ eksperymentalny, poczynając od koła tarczowego, aż po detektor pokazany jest na rys. 2.

Z wylatujących z tarczy jąder (stanowiących mieszaninę różnych produktów reakcji oraz jąder wiązki pierwotnej, tj. pocisków, które uniknęły reakcji z jądrami tarczy) formowana jest przez soczewki magnetyczne nowa wiązka. Ważne tu jest umieszczenie koła tarczowego możliwie blisko pierwszej soczewki, by wychwycić możliwie dużą część produktów reakcji. W tej nowej wiązce tylko bardzo rzadko (kilka przypadków na cały eksperyment) znajduje się pożądaný produkt syntezy. Cała reszta to jądra tła, które należy oddzielić i zatrzymać, by nie dostawały się do detektora.

#### *2.4. Oddzielenie pożądaných jąder od jąder tła*

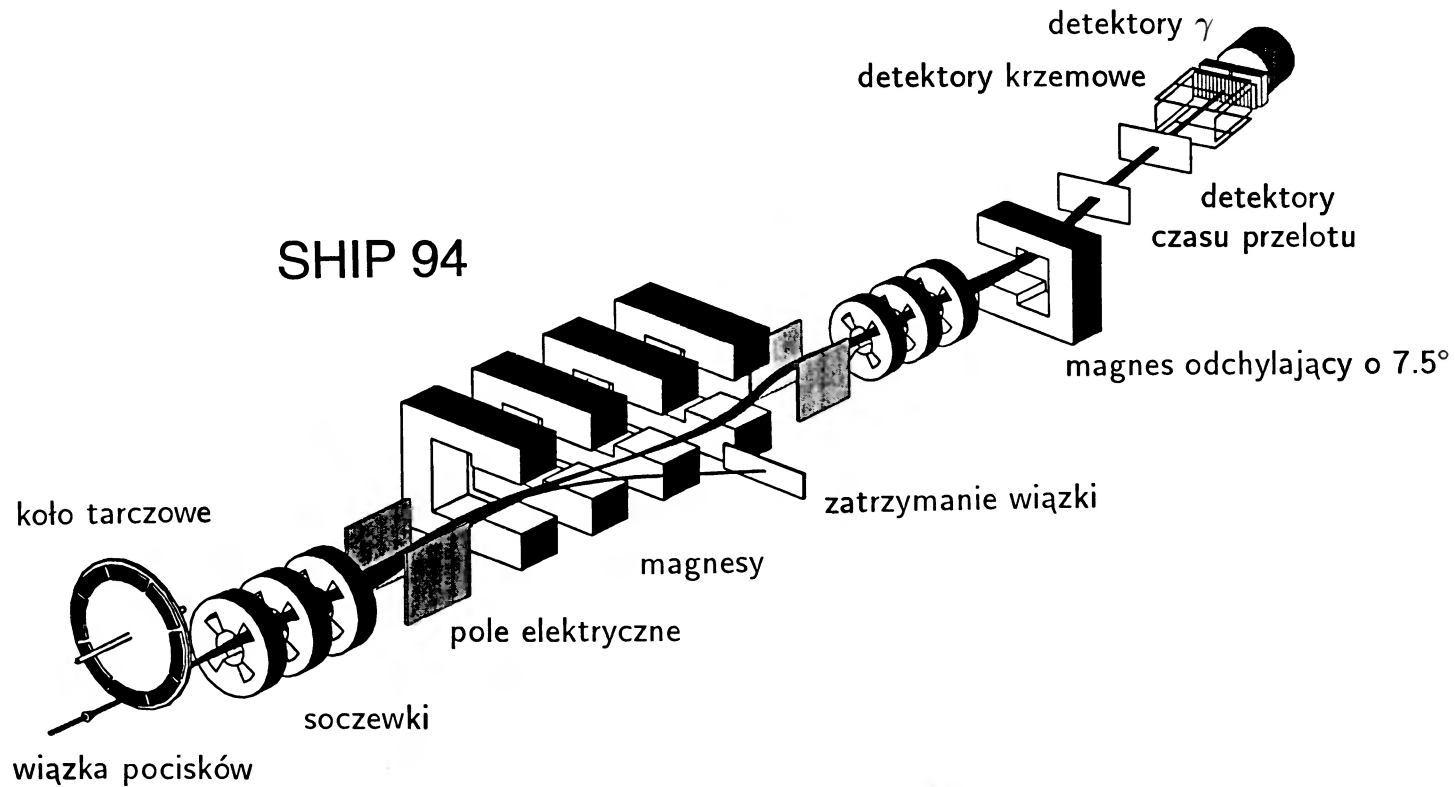
Do oddzielenia tego służy zbudowany w GSI w pierwszej połowie lat 70-tych układ SHIP (Separator for Heavy Ion reaction Products), pokazany schematycznie na rys. 2. Wykorzystuje on znaczną różnicę prędkości jąder będących produktem syntezy od jąder tła, by za pomocą kombinacji pól elektrycznych i magnetycznych wyeliminować jądra tła. Z tego powodu układ ten często nazywa się też filtrem prędkościowym. Jądra tła to głównie jądra wiązki padającej i wybite z tarczy jądra tarczy oraz bliskie im co do masy jądra będące produktami reakcji przekazu niewielu nukleonów. Pożądane produkty syntezy są znacznie od nich cięższe. Mają więc znacznie mniejszą od nich prędkość, gdyż w przypadku syntezy, stosunkowo lekkie jądro padające (np.  $^{62}\text{Ni}$ ) musi się podzielić swoją energią kinetyczną ze spoczywającym początkowo stosunkowo ciężkim jądrem tarczy (np.  $^{208}\text{Pb}$ ), z którym się łączy w jedno jądro.

Oddzielone jądra tła są zatrzymywane, a produkty syntezy biegną dalej do układu detekcyjnego.

„Wiązka” produktów syntezy, po przejściu przez filtr prędkościowy, nadal nie jest zupełnie „czysta”. Do detektora wciąż dociera bowiem ok. 10 jąder tła na sekundę. Są to prawie wyłącznie niepożądane produkty reakcji lub rozproszeń. Zawartość jąder pochodzących wprost z wiązki pierwotnej jest w niej bardzo mała. Układ SHIP-u obniża bowiem ich natężenie bardzo efektywnie (o ok. 15 rzędów wielkości).

Istotnym ulepszeniem SHIP-u od r. 1984 było uzupełnienie go o widoczny na rys. 2 magnes odchylający wiązkę produktów o  $7.5^\circ$  w stosunku do kierunku wiązki pierwotnej. Pozwoliło ono na zredukowanie tła pochodzącego od wiązki pierwotnej do wspomnianego wyżej bardzo niskiego poziomu.





Rys. 2. Układ eksperymentalny: od koła tarczowego, poprzez filtr prędkościowy SHIP, do układu detekcyjnego

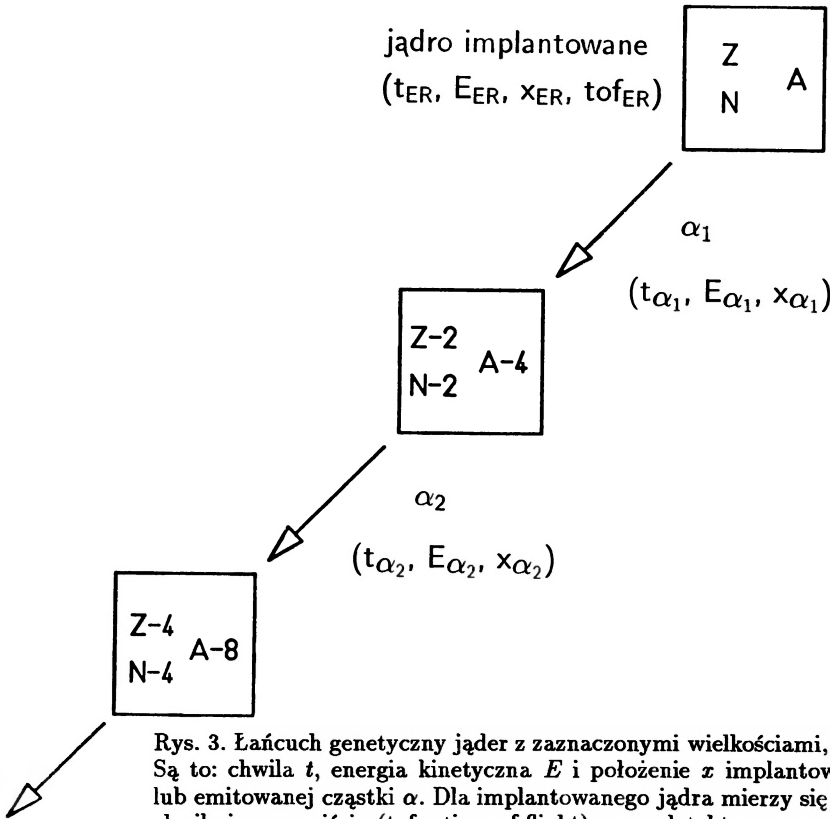
### 2.5. Układ detekcyjny

Układ detekcyjny składa się z detektora czasu przelotu, detektora krzemowego i detektora promieniowania  $\gamma$ . Podstawowym jego składnikiem jest detektor krzemowy, który rejestruje chwilę i miejsce padania na niego (implantacji) jądra zsyntetyzowanego, a także jego energię kinetyczną, oraz chwile i miejsca rozpadu jąder znajdujących się już wewnątrz niego (w jego materiale), a także energię kinetyczną produktów tego rozpadu. Odróżnienia implantacji od rozpadu dokonuje się przez koincydencję jej z przelotem jądra (jonu), które biegnie od strony tarczy, przez detektor czasu przelotu. Moment implantacji rozpoczyna śledzenie losu jądra implantowanego, znajdującego się w określonym miejscu detektora. Jądro to jako produkt reakcji, który pozostaje po szybko zachodzącym wyparowaniu neutronu, oznacza się zwykle przez ER (Evaporation Residue). Rzadkość wydarzeń implantacji oraz spora powierzchnia detektora ( $28 \text{ cm}^2$ ) oznaczają, że to co dzieje się w jednym miejscu detektora dotyczy tego samego jądra. Ciąg następujących po sobie wydarzeń jest łańcuchem kolejnych rozpadów  $\alpha$  implantowanego jądra o liczbie atomowej  $Z$  i liczbie masowej  $A$ , przedstawionym na rys. 3. Przy każdym rozpadzie rejestrowana jest jego chwila ( $t_\alpha$ ), energia kinetyczna emitowanej cząstki  $\alpha$  ( $E_\alpha$ ) oraz (to samo) miejsce w detektorze ( $x_\alpha$ ). Różnica czasu między kolejnymi rozpadami jest czasem życia danego jądra. Łańcuch może się ewentualnie kończyć rozszczepieniem, dla którego rejestruje się energię kinetyczną fragmentów. Znajomość choćby jednego jądra w tym genetycznym łańcuchu (szeregu, ciągu) pozwala zidentyfikować wszystkie jądra całego łańcucha.

Warto zwrócić uwagę, że czas istnienia pierwszego jądra w łańcuchu rejestrowany jest dopiero od momentu implantacji. Czas upływający pomiędzy chwilą jego powstania w tarczy a chwilą implantacji, potrzebny na jego przelot przez układ selekcyjny, jest rzędu  $1 \mu\text{s}$  i jest do pominięcia w czasie życia rejestrowanych dotychczas jąder, wynoszącym co najmniej kilkadziesiąt mikrosekund. Ten czas przelotu stanowi jednak istotne ograniczenie na jądra, które chcemy rejestrować w opisanym układzie. Jądra o zbyt krótkim czasie życia nie zdążą po prostu dolecieć do detektora. Stąd tak ważne są możliwie dokładne przewidywania teoretyczne czasów życia jąder, które chcemy zaobserwować.

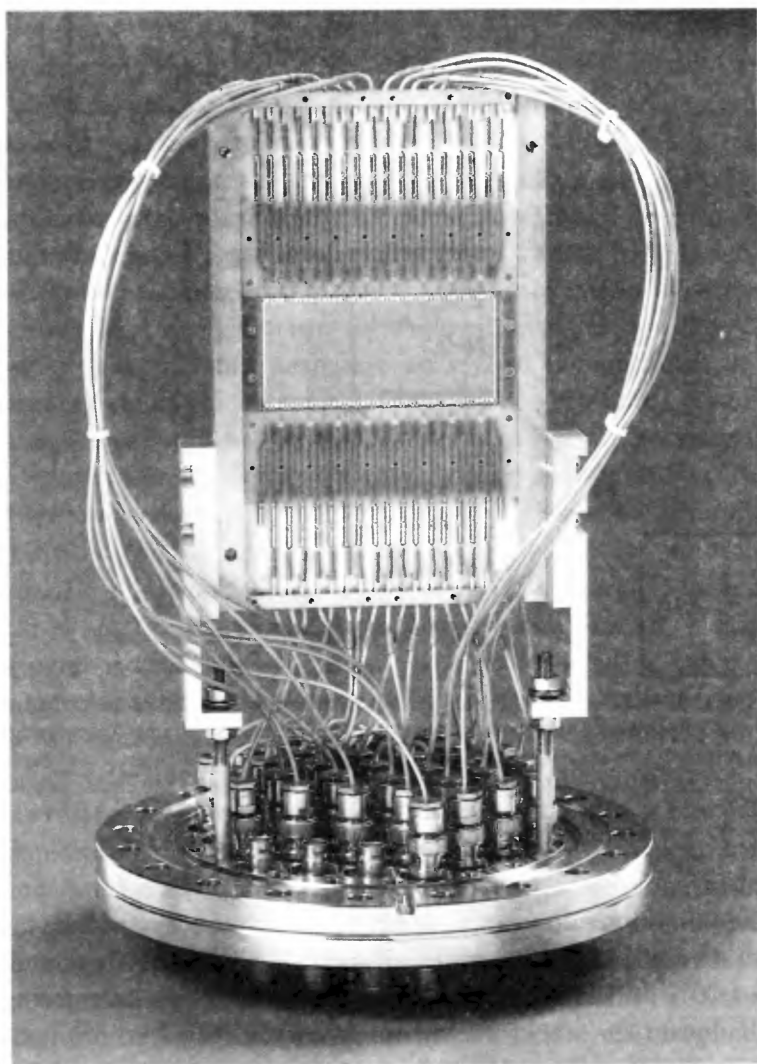
Technicznie, ta część detektora krzemowego, do której implantowane są produkty reakcji, składa się z 16 pasków, każdy o rozmiarach  $3.5 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}$ . Pokazana jest ona na rys. 4. Położenie implantowanego jądra w kierunku dłuższego boku paska mierzone jest elektrycznie z dokładnością  $\pm 0.1 \text{ mm}$ . Położenie w kierunku krótszego boku nie jest mierzone; wyznaczone więc jest z dokładnością  $5 \text{ mm}$ , tj. równą szerokości paska.

Trzy główne ulepszenia, jakich dokonano w układzie detekcyjnym od czasu odkrycia pierwiastków 107 – 109, są następujące. Jedno to ulepszenie detektora



Rys. 3. Łańcuch genetyczny jąder z zaznaczonymi wielkościami, które są mierzone. Są to: chwila  $t$ , energia kinetyczna  $E$  i położenie  $x$  implantowanego jądra (ER) lub emitowanej cząstki  $\alpha$ . Dla implantowanego jądra mierzy się jeszcze dodatkowo chwilę jego przejścia ( $tof$  – time of flight) przez detektor czasu przelotu. Wszystko mierzone jest w koincydencji ze sobą

czasu przelotu. Jego efektywność rejestracji przelatujących przezeń produktów reakcji została podniesiona do prawie 100%, a jego przezroczystość dla tych produktów – wprost do 100%. Żaden produkt nie „grzęźnie” w nim. Drugie ulepszenie to zwiększenie z 70% do 100% powierzchni czynnej detektora krzemowego. Trzecie, to taka rozbudowa tego detektora, by mógł chwytać także te produkty rozpadu, które uciekają do tyłu. Chodzi o to, że w wersji poprzedniej pełna energia kinetyczna mierzona była tylko dla tych produktów (cząstek  $\alpha$ ), które emitowane były do wewnątrz detektora, a więc dla nieco ponad połowy. One bowiem wytracały w detektorze całą energię kinetyczną rozpadu, dając odpowiedni impuls elektryczny. Te zaś, które emitowane były w kierunku powierzchni (nieco poniżej drugiej połowy), wytracały tylko część energii i uciekały z detektora. Traciliśmy wtedy bardzo ważną część informacji o rozpadzie. Obecnie układ został rozbudowany i chwyta ok. 80% tych cząstek uciekających do tyłu, mierząc pozostałą część ich energii kinetycznej. Mierzone są więc energie cząstek, które biegną po rozpadzie w ok. 90% pełnego kąta bryłowego.



Rys. 4. Główna część detektora krzemowego, do której implantowane są produkty reakcji. Widoczne jest 16 pasków tego detektora

Obecność germanowego detektora promieniowania  $\gamma$  w układzie detekcyjnym pozwala na rejestrację także przejść  $\gamma$ , jak również na rejestrowanie przejść konwersji wewnętrznej poprzez pomiar towarzyszącego im promieniowania X.

W powyższym opisie układu eksperymentalnego staraliśmy się zwrócić uwagę na te ulepszenia, które nastąpiły po r. 1984, tj. po dokonaniu syntezy pierwiastka 108. Podniosły one efektywność układu o około jednego rzędu wielkości, ale też

kosztowały 10 lat pracy. Pozwoliły one jednak na podjęcie udanej próby syntezy pierwiastków 110 i 111.

### 3. Przebieg eksperymentu i jego wyniki

Do syntezy pierwiastków 110 i 111 wybrany został ten sam typ reakcji co do syntezy pierwiastków 107 – 109 [1-3], mianowicie tzw. reakcja chłodnej syntezy. Za jądro tarczy obiera się tu szczególnie silnie związane jądro podwójnie magiczne lub bliskie mu. Powoduje to, że powstające w procesie syntezy jądro złożone jest stosunkowo słabo wzbudzone i wyparowuje na ogół tylko jeden lub dwa neutrony, doprowadzając do jądra końcowego.

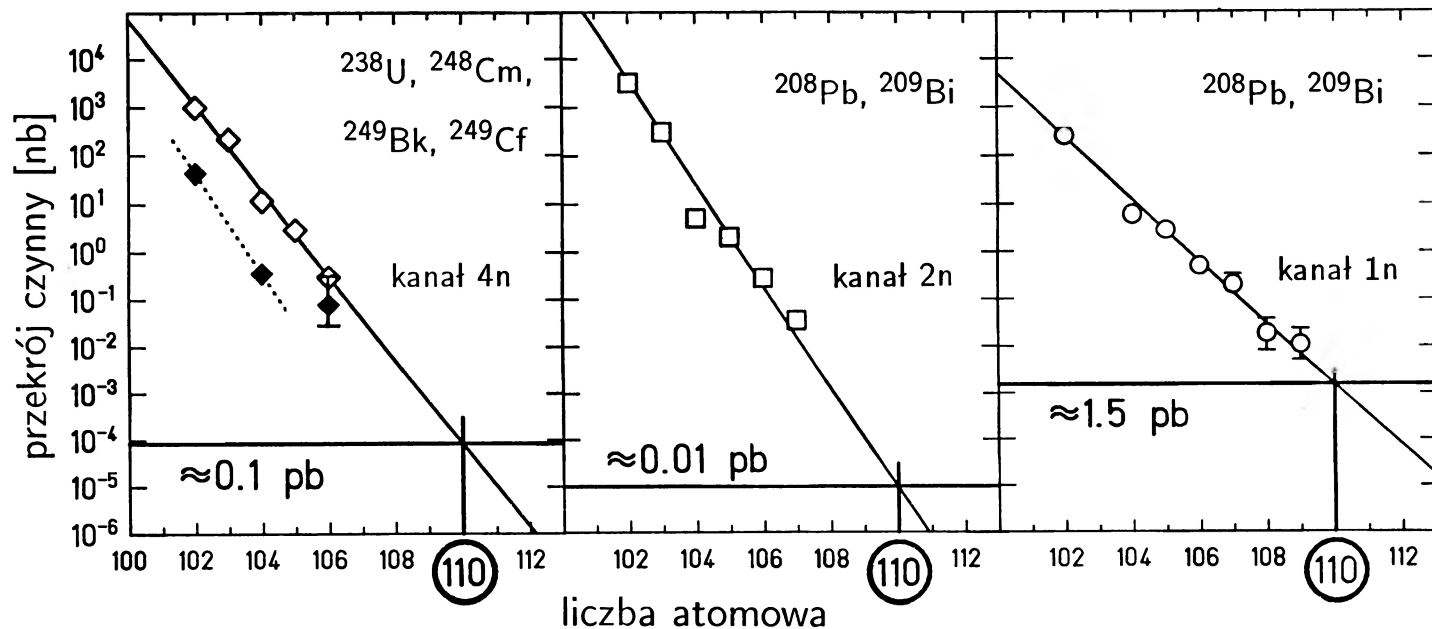
Jak pokazano na rys. 5 [10], ekstrapolacja przekrojów czynnych zmierzonych przy syntezie lżejszych pierwiastków, przeprowadzonej na drodze tego typu reakcji, daje dla syntezy pierwiastka 110 ok. 1.5 pb (kanał 1n). Jednocześnie pokazane jest na tym rysunku, że przebieg reakcji chłodnej syntezy, w którym emitowane są 2 neutrony (kanał 2n) jest znacznie mniej prawdopodobny. Prowadziłby on do bardzo małego przekroju czynnego (ok. 0.01 pb) na syntezę pierwiastka 110, tj. o ponad 2 rzędy wielkości mniejszego niż kanał 1n. Widać także, że ekstrapolacja wyników otrzymanych w reakcjach gorącej syntezy prowadzi także do małego przekroju czynnego (ok. 0.1 pb).

Warto zwrócić tu uwagę, że przy chłodnej syntezie (kanał 1n) przekrój czynny spada średnio ponad cztery razy (tj. o ponad 0.6 rzędu wielkości) przy zwiększeniu liczby atomowej syntetyzowanego pierwiastka o jeden. Przy gorącej syntezie spadek ten jest prawie dwukrotnie szybszy. Z tego względu należało wybrać reakcję chłodnej syntezy i nastawić się na przebieg reakcji w kanale 1n.

Nawet jednak w tym najkorzystniejszym przypadku, wartość przekroju czynnego jest bardzo mała i jednocześnie bardzo niepewna, ponieważ pomiary, których wyniki ekstrapolujemy, prowadzone były w różnych warunkach, bez optymalizacji przekroju czynnego ze względu na dobór energii pocisków. Wiadomo, że przekrój ten silnie zależy od tej energii. Należało więc powtórzyć w obecnych, lepszych warunkach eksperymentu syntezę przynajmniej dwóch pierwiastków, przeprowadzając taką optymalizację.

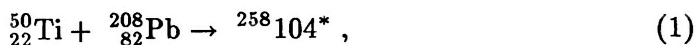
#### 3.1. Eksperyment przygotowawczy

Powtórzenia takiego dokonano w oddzielnych eksperymentach wstępnych, wykonanych w czerwcu i październiku 1994 r., a więc poprzedzających eksperyment zasadniczy, który odbył się w listopadzie i grudniu 1994 r. Zmierzono w nim zależność przekroju czynnego od energii padających jąder przy syntezie

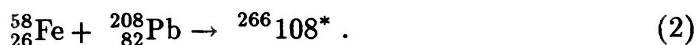


Rys. 5. Ekstrapolacje wyników przekroju czynnego na syntezę najcięższych pierwiastków, prowadzące do oceny przekroju na syntezę pierwiastka 110. Wyniki chłodnej syntezy (tarcze  $^{208}\text{Pb}$  i  $^{209}\text{Bi}$ ), zarówno przy emisji jednego neutronu (kanał 1n) jak i dwóch (kanał 2n) pochodzą z Darmstadt. Wyniki gorącej syntezy (tarcze  $^{238}\text{U}$ ,  $^{248}\text{Cm}$ ,  $^{249}\text{Bk}$  i  $^{249}\text{Cf}$  – kanał 4n) pochodzą z Berkeley (tarcze  $^{249}\text{Bk}$  i  $^{249}\text{Cf}$  – symbole niezaczernione) oraz z Dubnej (tarcze  $^{238}\text{U}$  i  $^{248}\text{Cm}$  – symbole zaczernione)

pierwiastków 104 i 108. Pierwiastek 104 wytwarzany był w reakcji



a pierwiastek 108 w reakcji



Tutaj gwiazdka oznacza wzbudzone jądro złożone, które zależnie od energii wzbudzenia może wyemitować jeden lub więcej neutronów.

Wyniki pokazane są na rys. 6 [11]. Przedstawiona jest tu zależność zmierzonego przekroju czynnego od energii wzbudzenia jądra, którą można wyliczyć z energii kinetycznej jądra pocisku uwzględniając masy jąder zderzających się i masę powstałego przy zderzeniu jądra końcowego. W przypadku pierwiastka 104 zależność ta, czyli tzw. funkcja wzbudzenia, zmierzona została dla trzech obserwowanych kanałów reakcji, gdy z jądra złożonego emitowane były 1, 2 lub 3 neutrony. Dla pierwiastka 108 zaobserwowany został tylko jeden kanał. Z rysunku 6 widać, że funkcje wzbudzenia są stosunkowo wąskie i jeśli nie przyspieszymy jądra pocisku do właściwej energii, by znaleźć się w pobliżu maksimum funkcji wzbudzenia, to szanse syntezy mogą bardzo zmaleć lub wręcz być praktycznie zerowe. Stąd ważność takich pomiarów. Możliwe są one jednak tylko dla pierwiastków lżejszych, dla których przekroje czynne na syntezę są większe, i możliwe jest wytworzenie i zarejestrowanie większej liczby jąder. Na przykład przedstawione na rys. 6 funkcje wzbudzenia dla pierwiastka 104 powstały w wyniku syntezy i obserwacji rozpadu aż ok. 3000 jąder.

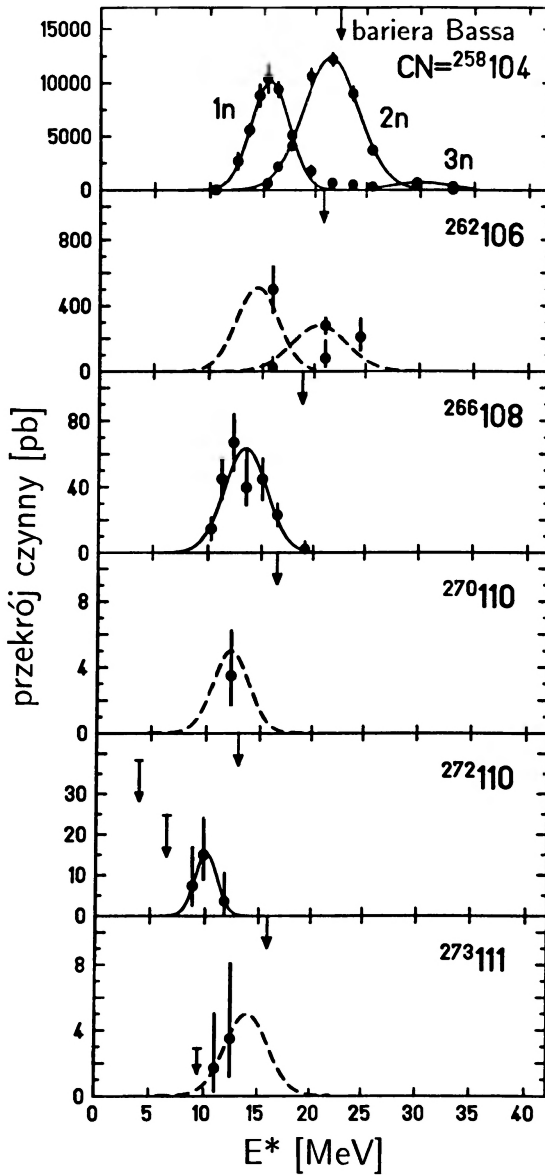
Poznanie funkcji wzbudzenia dla pierwiastków 104 i 108 pozwoliło na oszacowanie właściwej energii pocisków do syntezy pierwiastków 110 i 111 i ono zadecydowało w dużej mierze o powodzeniu tej syntezy. Przy syntezie jądra złożonego  ${}^{270}110$  użyto tylko jednej energii pocisku, wyznaczonej za pomocą ekstrapolacji tych dwóch funkcji wzbudzenia, a przy syntezie jąder  ${}^{272}110$  i  ${}^{273}111$  tak oszacowaną energię pocisku jeszcze zmieniano w trakcie eksperymentu, by przynajmniej częściowo poznać funkcję wzbudzenia dla tych dwóch najcięższych jąder. Pokazane to jest na rys. 6.

### 3.2. Synteza pierwiastka 110

Synteza ta przeprowadzona została dla dwóch izotopów tego pierwiastka:  ${}^{269}110$  [7] i  ${}^{271}110$  [11]. Syntezy pierwszego izotopu dokonano w reakcji



tj. przez naświetlanie jąder ołowiu  ${}^{208}\text{Pb}$  jonami niklu  ${}^{62}\text{Ni}$ , w wyniku czego powstawało wzbudzone jądro złożone  ${}^{270}110^*$ , które po emisji jednego neutronu



Rys. 6. Funkcje wzbudzenia zmierzone dla wskazanych izotopów pierwiastków 104 – 111. Strzałka przy górnej granicy każdego rysunku podaje energię wzbudzenia jądra  $E^*$  odpowiadającą wysokości bariery potencjalnej na syntezę obliczonej za pomocą modelu Bassa. Strzałki wewnątrz rysunków odpowiadających jądom  $^{272}110$  i  $^{273}111$  podają górną granicę przekroju czynnego, otrzymaną przy stosunkowo krótkim naświetleniu dokonany przy wskazanej energii wzbudzenia



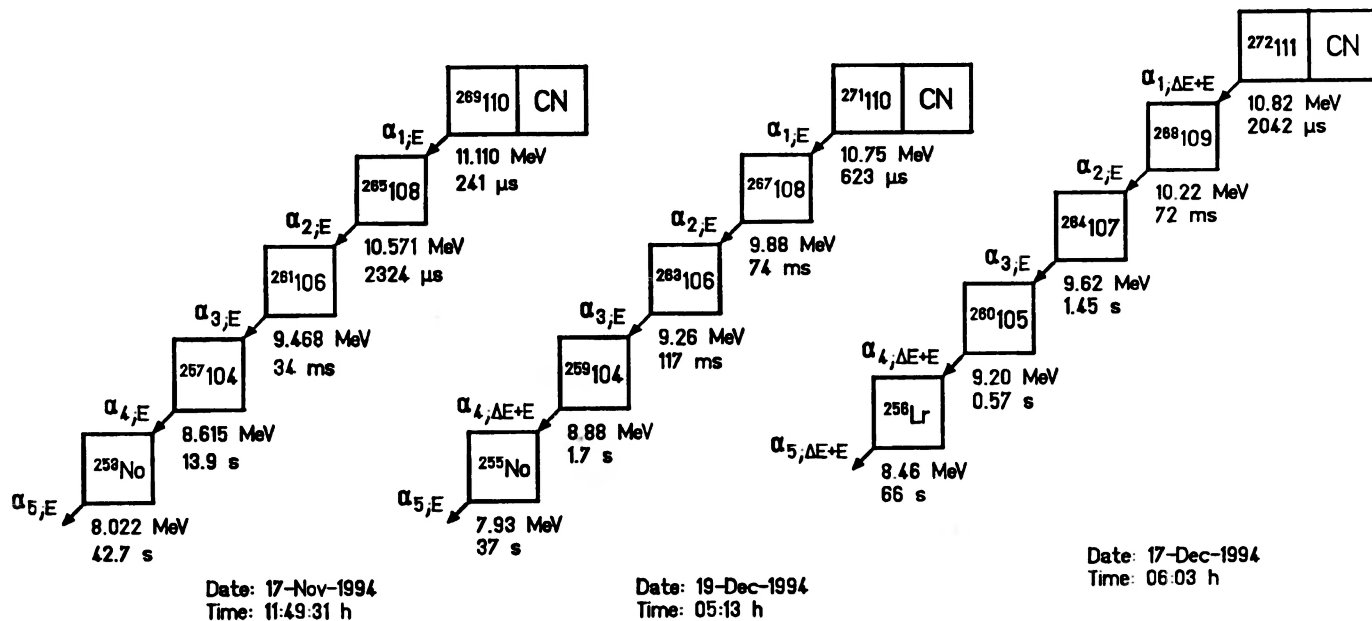
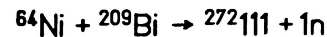
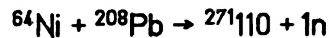
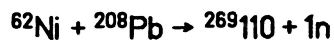
dawało jądro  $^{269}110$ . Jony  $^{62}\text{Ni}$  przyspieszane były do energii 311 MeV (tj. ok. 5.02 MeV na jeden nukleon). Zarejestrowano ogółem 4 jądra  $^{269}110$ . Wszystkie cztery rozpadły się przez emisję cząstki  $\alpha$ . Zmierzona energia kinetyczna tej cząstki wyniosła 11.11 MeV, czas życia (połowicznego zaniku): 170  $\mu\text{s}$ , a przekrój czynny na syntezę:  $\sigma = 3.5$  pb.

Na rys. 7 pokazany jest jeden z czterech zaobserwowanych łańcuchów genetycznych jądra  $^{269}110$ , takich jak podany w ogólnej postaci na rys. 3. Mówi on, że jądro to powstaje z jądra złożonego (CN – Compound Nucleus)  $^{270}110$ , które po prawie natychmiastowym wyemitowaniu neutronu daje badane jądro  $^{269}110$ . Jądro to, po czasie 241  $\mu\text{s}$  od chwili jego implantacji do detektora, emituje cząstkę  $\alpha$  o zmierzonej energii kinetycznej 11.110 MeV przechodząc w jądro  $^{265}108$ , które z kolei po czasie 2324  $\mu\text{s}$  emituje cząstkę  $\alpha$  o energii 10.571 MeV itd. Wszystko to zachodzi w jednym miejscu detektora. Do identyfikacji całego tego łańcucha genetycznego wystarcza znajomość jednego z występujących w nim jąder. W opisywanym łańcuchu już jądro  $^{265}108$ , najbliższe nowo odkrytego, było znane poprzednio [2]. Pozostałe trzy jądra lżejsze, które także były znane już wcześniej, stanowią informację dodatkową (właściwie „nadmiarową”), upewniającą nas co do poprawności identyfikacji. Obserwacja w tym samym eksperymencie rozpadu trzech innych „egzemplarzy” jądra  $^{269}110$  pozwoliła zmniejszyć błąd statystyczny zmierzonej energii kinetycznej emitowanej cząstki  $\alpha$  oraz zmierzonego czasu życia tego jądra.

Synteza cięższego izotopu pierwiastka 110:  $^{271}110$  przeprowadzona została w reakcji analogicznej do reakcji (3), tylko że z użyciem cięższego izotopu niklu:  $^{64}\text{Ni}$ . Zaobserwowano 9 jąder  $^{271}110$ . Wszystkie one rozpadły się przez emisję cząstki  $\alpha$ . Jeden z łańcuchów rozpadu pokazany jest na rys. 7. Zmierzony czas życia wyniósł 1.1 ms, a przekrój czynny 15 pb. Tutaj, podobnie jak dla lżejszego izotopu  $^{269}110$ , już jądro  $^{267}108$  – najbliższe w łańcuchu do jądra nowo odkrytego – obserwowane było wcześniej.

Interesujący jest ponad 6-krotny wzrost czasu życia w stosunku do lżejszego izotopu pierwiastka:  $^{269}110$ . Wzrost ten przewidywany był przez teorię [12,13] i wiązany ze zbliżaniem się do zamknięcia powłoki neutronowej przy liczbie neutronów  $N = 162$ . Bardzo interesujący jest również wzrost przekroju czynnego w stosunku do syntezy izotopu lżejszego. Ciekawa także jest obserwacja w jednym rozpadzie ok. 50-krotnie dłuższego czasu życia, co sugeruje istnienie stanu izomerycznego w nowo odkrytym jądrze  $^{271}110$ .

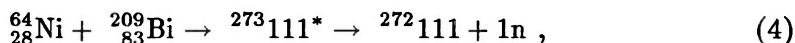
Ostatnio sygnalizowane jest otrzymanie przez grupę dubieńską, przy współpracy z grupą z Livermore, jeszcze cięższego izotopu pierwiastka 110:  $^{273}110$  [14]. Podane zostały także wskazówki [15], że lżejszy izotop  $^{267}110$  był być może wytworzony w Berkeley już w 1991 r.



Rys. 7. Przykłady trzech łańcuchów genetycznych zaobserwowanych w opisywanym eksperymencie. Przypadek, gdy cząstka  $\alpha$  uciekła do tyłu z głównej części detektora i schwytała została w drugiej jego części, zaznaczony jest jako:  $\Delta E + E$ . Widać, że tylko w jednym z przedstawionych łańcuchów nie było takiej ucieczki

### 3.3. Synteza pierwiastka 111

Syntezy tej dokonano w reakcji



tj. w reakcji analogicznej do reakcji zastosowanej przy syntezie jądra  ${}^{271}_{110}$ , tylko że z użyciem tarczy bogatszej o jeden proton. Zaobserwowano 3 jądra  ${}^{272}_{111}$ . Najdłuższy z zaobserwowanych łańcuchów rozpadów pokazany jest na rys. 7. Tutaj obserwacja dostatecznie długiego łańcucha była bardzo ważna. Jądra  ${}^{268}_{109}$  i  ${}^{264}_{107}$  nie były bowiem dotychczas znane. Dopiero więc obecność w łańcuchu jądra  ${}^{260}_{105}$ , zbadanego wcześniej, identyfikuje ten łańcuch. Obserwacja rozpadu również znanego wcześniej jądra  ${}^{256}_{104}\text{Lr}$  jest już informacją „nadmiarową”. Synteza jądra  ${}^{272}_{111}$  pozwoliła zatem „za jednym zamachem” poznać 3 nowe, bardzo ciężkie jądra, w tym jeden nowy pierwiastek.

## 4. Interpretacja teoretyczna wyników

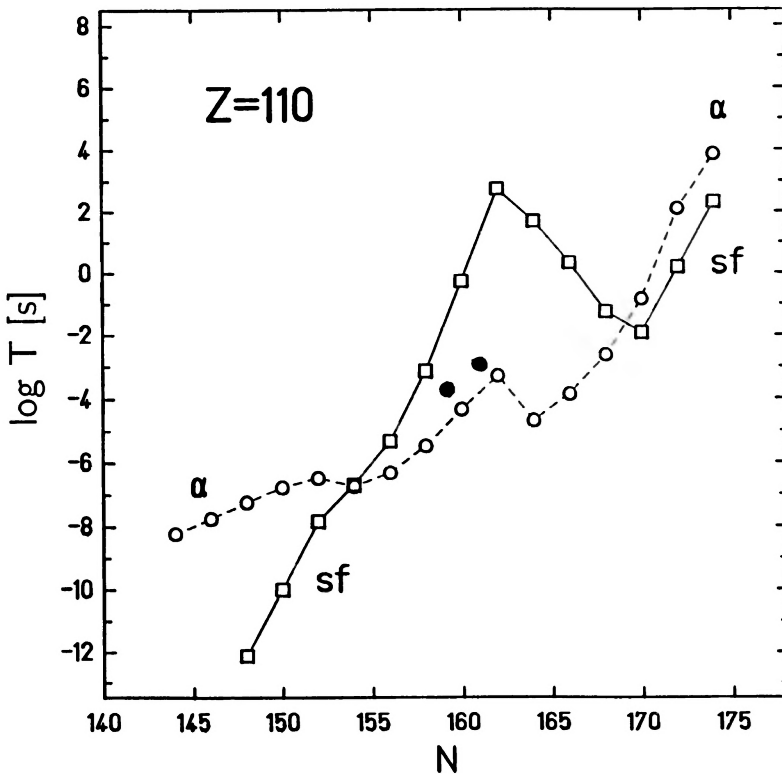
Otrzymane wyniki dotyczą dwóch głównych problemów związanych z jądrami najcięższymi. Pierwszy to ich trwałość, sposób rozpadu i struktura, a drugi to przekrój czynny na ich syntezę.

### 4.1. Trwałość

Już synteza pierwiastków 107 – 109 [1-3] pokazała, że jądra w tym zakresie są stosunkowo trwałe i że przynajmniej część z nich rozpada się głównie przez emisję cząstki  $\alpha$ . Obliczenia teoretyczne [12,13] czasów życia ze względu zarówno na rozpad  $\alpha$  ( $T_\alpha$ ) jak i samorzutne rozszczepienie ( $T_{sf}$ ) wiążą tę podwyższoną trwałość z dużymi efektami powłokowymi występującymi w otoczeniu jądra  ${}^{270}_{108}$ . Jądro to przewidywane jest przez teorię [13] jako zdeformowane jądro podwójnie magiczne, tj. szczególnie silnie związane jądro o zamkniętej powłoce zarówno protonowej ( $Z = 108$ ) jak i neutronowej ( $N = 162$ ). Duże efekty powłokowe przy  $N = 162$  obserwowane były już w pracach [16,17]. To, że efekty te są tak duże w jądrami zdeformowanych, jest ciekawe i nieoczekiwane. Choć nie ma na razie bezpośredniej wskazówki doświadczalnej, że odkryte jądra są zdeformowane, teoria raczej nie pozostawia co do tego wątpliwości.

Efekty powłokowe dużo silniej wydłużają czas życia ze względu na rozszczepienie  $T_{sf}$  niż na rozpad  $\alpha$ ,  $T_\alpha$  [18]. Stąd relacja  $T_{sf} > T_\alpha$  oczekiwana była [12] dla wielu jąder wokół jądra  ${}^{270}_{108}$ , w szczególności dla opisanych powyżej jąder nowo odkrytych.

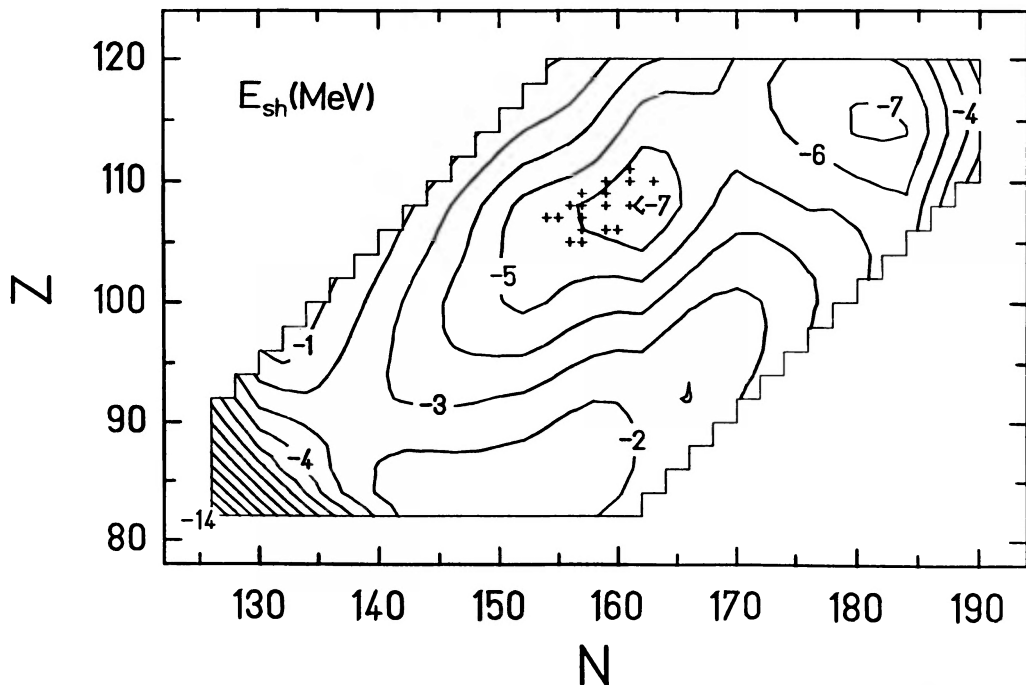
Rysunek 8 pokazuje wyniki obliczeń dla izotopów pierwiastka 110 [19]. Widać, że  $T_{sf}$  jest większe od  $T_{\alpha}$  dla wielu jąder o liczbie neutronów w pobliżu  $N = 162$ . Pozostaje to w zgodzie z faktem, że dla jąder  $^{269}110$  i  $^{271}110$  zaobserwowano tylko rozpad  $\alpha$ , a nie rozszczepienie. Również, mimo że  $T_{\alpha}$  zmierzone są dla jąder nieparzystych, a obliczone dla parzysto-parzystych, to wartości zmierzone i obliczone, i w szczególności ich zależność od liczby neutronów, są zbliżone. Daje to dalsze poparcie dla oczekiwań istnienia zamkniętych powłok przy  $Z = 108$  i  $N = 162$ .



Rys. 8. Czasy życia ze względu na samorzutne rozszczepienie ( $sf$ ) i rozpad  $\alpha$ , obliczone teoretycznie dla izotopów pierwiastka 110. Czarne kółka podają zmierzone w opisywanym eksperymencie wartości czasu życia  $T_{\alpha}$  dla jąder  $^{269}110$  i  $^{271}110$

Rysunek 9 pokazuje poprawkę powłokową do energii jądra dla dużego obszaru jąder ciężkich [20]. Widać, że po bardzo dużej poprawce ( $-14.3$  MeV), stabilizującej znane jądro podwójnie magiczne  $^{208}Pb$ , występuje znaczny efekt ( $-7.2$  MeV) stabilizujący hipotetyczne jądro zdeformowane  $^{270}108$  i podobny

efekt ( $-7.2$  MeV) dla jądra kulistego  $^{296}114$ , bliskiego do przewidywanego kulistego jądra podwójnie magicznego  $^{298}114$  [21,22].



Rys. 9. Mapa konturowa poprawki powłokowej do energii stanu podstawowego jądra, w funkcji liczby protonów  $Z$  i neutronów  $N$  tego jądra. Pełna energia jądra minimalizowana tu była w 7-wymiarowej przestrzeni deformacji, o multipolowościach  $\lambda = 2, 3, \dots, 8$ . Różnica energii między sąsiednimi liniami wynosi 1 MeV. Krzyżkami oznaczone są najcięższe jądra zsyntetyzowane dotychczas

Zilustrowaliśmy tutaj tylko stosunkowo nowe, ulepszone wyniki teoretyczne, otrzymane dla jąder parzysto-parzystych, których własności są bardziej regularne i bardziej jednoznaczne do interpretacji. Jądra nieparzyste i nieparzysto-nieparzyste były jednak również badane [23-25].

#### 4.2. Przekrój czynny

Zagadnienie przekroju czynnego na syntezę ciężkich jąder jest dużym wyzwaniem dla teorii. Próbuje się różnych opisów tego przekroju (np. [26,27]).

Fakt otrzymania stosunkowo sporego przekroju czynnego na syntezę pierwiastków 110 i 111 jest interesujący. Reakcja zachodzi tu bowiem przy małej energii w stosunku do wysokości bariery potencjalnej na syntezę. Według często używanego do opisu tej bariery modelu Bassa [28], jest to energia wręcz poniżej tej

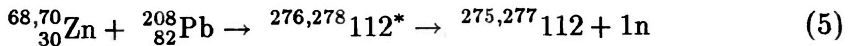
bariery. Możliwe jest, że zachodzi tu złożony, wielostopniowy proces z przekazem par protonów z jądra lżejszego (pocisku) do cięższego (tarczy) występującym na samym początku ich zetknięcia się [11], co bardzo obniża barierę kulombowską.

Interesujący jest także ponad 4-krotny wzrost przekroju czynnego występujący przy przejściu od jądra złożonego  $^{270}_{110}$  do  $^{272}_{110}$ . Możliwe jest, że synteza bogatszych w neutrony partnerów jest w ogóle łatwiejsza. Pewien wkład do tego wzrostu może jednak pochodzić od przewidywanego przez teorię [19] wzrostu o ok. 0.7 MeV bariery rozszczepieniowej przy przejściu od jądra  $^{270}_{110}$  do  $^{272}_{110}$ . Rozszczepienie jądra złożonego jest bowiem procesem konkurencyjnym do emisji przez nie neutronu, w wyniku której dostaje się pożądane jądro ciężkie. Jeśli więc bariera rozszczepieniowa jest wyższa (mniejsze prawdopodobieństwo rozszczepienia), to szansa na emisję neutronu i otrzymanie ciężkiego jądra jest większa. Bardziej szczegółowa dyskusja tego problemu przeprowadzona jest w pracy [29].

### 5. Perspektywy syntezy dalszych pierwiastków

Stosunkowo spore przekroje czynne, otrzymane przy syntezie opisanych jąder, jak również stosunkowo długie czasy życia, przewidywane przez teorię dla wielu jąder z omawianego obszaru, dają spore szanse dla syntezy dalszych jąder ciężkich i nawet dalszych pierwiastków.

W najbliższym czasie w Darmstadtzie przewidywana jest próba syntezy pierwiastków 112 i 116. Byłyby one otrzymane w reakcjach



i

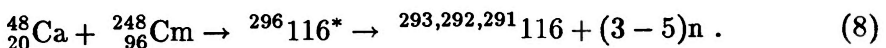


Obie reakcje są więc reakcjami chłodnej syntezy. W drugiej z nich oczekuje się na tyle małej energii wzbudzenia, że najbardziej prawdopodobny wydaje się kanał  $0n$ , tj. bez emisji jakiegokolwiek neutronu (wychwył promienisty). Emisja jednego neutronu nie jest jednak wykluczona.

Również w Dubnej planuje się przeprowadzenie, we współpracy z Livermore (USA), syntezy jądra superciężkiego kulistego. Planuje się dokonać tego na drodze reakcji gorącej syntezy [14]



lub



Te reakcje mogą przebiegać z emisją 3, 4 lub 5 neutronów.

Ewentualny sukces w przeprowadzeniu i obserwacji reakcji (6),(7) lub (8) byłby odkryciem pierwszego spośród kulistych jąder superciężkich, których podwyższona trwałość przewidywana była blisko 30 lat temu [30].

Realizacja tego jest jednak bardzo trudna i niesie wiele niepewności.

Autorzy pragną podziękować Profesorowi Janowi Żyliczowi za krytyczne przeczytanie maszynopisu tego artykułu.

## Literatura

- [1] G. Münzenberg, S. Hofmann, F.P. Hessberger, W. Reisdorf, K.H. Schmidt, J.H.R. Schneider, P. Armbruster, C.C. Sahn, B. Thuma, *Z. Phys. A* **300**, 107 (1981).
- [2] G. Münzenberg, P. Armbruster, H. Folger, F.P. Hessberger, S. Hofmann, J. Keller, K. Poppensieker, W. Reisdorf, K.H. Schmidt, H.J. Schött, M.E. Leino, R. Hingmann, *Z. Phys. A* **317**, 235 (1984).
- [3] G. Münzenberg, P. Armbruster, F.P. Hessberger, S. Hofmann, K. Poppensieker, W. Reisdorf, J.H.R. Schneider, W.F.W. Schneider, K.H. Schmidt, C.C. Sahn, D. Vermeulen, *Z. Phys. A* **309**, 89 (1982).
- [4] Yu.Ts. Oganessian, A.G. Demin, M. Hussonnois, S.P. Tretyakova, Yu.P. Kharitonov, V.K. Utyonkov, I.V. Shirokovsky, O. Constantinescu, H. Bruchertseifer, Yu.S. Korotkin, *Z. Phys. A* **319**, 215 (1984).
- [5] A. Hrynkiewicz, A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **45**, 111 (1994).
- [6] A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **44**, 235 (1993).
- [7] S. Hofmann, V. Ninov, F.P. Hessberger, P. Armbruster, H. Folger, G. Münzenberg, H.J. Schött, A.G. Popeko, A.V. Yeremin, A.N. Andreyev, S. Saro, R. Janik, M. Leino, *Z. Phys. A* **350**, 277 (1995).
- [8] S. Hofmann, V. Ninov, F.P. Hessberger, P. Armbruster, H. Folger, G. Münzenberg, H.J. Schött, A.G. Popeko, A.V. Yeremin, A.N. Andreyev, S. Saro, R. Janik, M. Leino, *Z. Phys. A* **350**, 281 (1995).
- [9] H. Folger, W. Hartmann, F.P. Hessberger, S. Hofmann, J. Klemm, G. Münzenberg, V. Ninov, K.H. Schmidt, H.J. Schött, W. Thalheimer, P. Armbruster, *Nucl. Instr. Meth. A* **334**, 69 (1993).
- [10] S. Hofmann, *J. Alloys and Compounds* **213/214**, 74 (1994).
- [11] S. Hofmann, *Proc. Int. Conf. on exotic nuclei and atomic masses*, Arles (France) 1995, w druku.
- [12] K. Böning, Z. Patyk, A. Sobiczewski, S. Ówiok, *Z. Phys. A* **325**, 479 (1986).
- [13] Z. Patyk, A. Sobiczewski, *Nucl. Phys. A* **533**, 132 (1991).
- [14] Yu.A. Lazarev, Yu.Ts. Oganessian, wiadomość prywatna (1995).
- [15] A. Ghiorso, D. Lee, L.P. Somerville, W. Loveland, J.M. Nitschke, W. Ghiorso, G.T. Seaborg, P. Wilmarth, R. Leres, A. Wydler, M. Nurmia, K. Gregorich, K. Czerwinski, R.

- Gaylord, T. Hamilton, N.J. Hannink, D.C. Hoffman, C. Jarzyński, C. Kacher, B. Kadkhodayan, S. Kreek, M. Lane, A. Lyon, M.A. McMahan, M. Neu, T. Sikkeland, W.J. Świątecki, A. Türler, J.T. Walton, S. Yashita, *Phys. Rev. C* **51**, R2293 (1995).
- [16] S. Ówiok, V.V. Pashkevich, J. Dudek, W. Nazarewicz, *Nucl. Phys. A* **410**, 254 (1983).
- [17] P. Möller, G.A. Leander, J.R. Nix, *Z. Phys. A* **323**, 41 (1986).
- [18] Z. Patyk, A. Sobiczewski, P. Armbruster, K.-H. Schmidt, *Nucl. Phys. A* **491**, 267 (1989).
- [19] R. Smolańczuk, J. Skalski, A. Sobiczewski, Preprint GSI-94-77 (Darmstadt 1994); *Phys. Rev. C*, w druku.
- [20] R. Smolańczuk, J. Skalski, A. Sobiczewski, *Proc. EPS Conf. on nuclear physics*, St. Petersburg 1995 (World Scientific, Singapore 1995), w druku.
- [21] A. Sobiczewski, F.A. Gareev, B.N. Kalinkin, *Phys. Lett.* **22**, 500 (1966).
- [22] H. Meldner, *Ark. Fys.* **36**, 593 (1967).
- [23] Z. Łojewski, A. Baran, *Z. Phys. A* **329**, 161 (1988).
- [24] S. Ówiok, S. Hofmann, W. Nazarewicz, *Nucl. Phys. A* **573**, 356 (1994).
- [25] P. Möller, J.R. Nix, W.D. Myers, W.J. Świątecki, *At. Data Nucl. Data Tables* **59**, 185 (1995).
- [26] J.P. Błocki, H. Feldmeier, W.J. Świątecki, *Nucl. Phys. A* **459**, 145 (1986).
- [27] D. Berdichevsky, A. Łukasiak, W. Nörenberg, P. Rozmej, *Nucl. Phys. A* **499**, 609 (1989).
- [28] R. Bass, *Nuclear reactions with heavy ions* (Springer, Berlin 1980).
- [29] P. Armbruster, *Proc. Int. Conf.: „Nuclear Shapes and Nuclear Structure at Low Excitation Energies”*, Antibes (France) 1994, red. M. Vergnes, D. Goutte, P.H. Heenen, J. Sauvage (Editions Frontieres, Gif-sur-Yvette 1994), s. 365.
- [30] W.D. Myers, W.J. Świątecki, *Nucl. Phys.* **81**, 1 (1966).



**Janusz Braziewicz**

*Instytut Fizyki  
Wyższa Szkoła Pedagogiczna  
Kielce*

## **Całkowite odbicie zewnętrzne promieni X: nowe zastosowania**

### **External total reflection of X rays: new applications**

*Abstract:* The historical development of the physical knowledge and the practical application of total reflection X-ray fluorescence analysis (TRXRF) is outlined. The basic principles of TRXRF determining physics and geometry of total reflection, sample backing, total reflection energy cut-off filters and recent application developments are described.

#### **1. Wstęp**

Wśród odkryć dokonanych przez człowieka prawdopodobnie żadne nie przyciągnęło uwagi publicznej równie szybko, jak odkrycie promieni X przez Wilhelma Konrada Röntgena. Nastąpiło ono 8 listopada 1895 r. w Würzburgu w Bawarii. Röntgen zawiadomił o nim 28 grudnia owego roku podczas odczytu „Nowy rodzaj promieniowania” na posiedzeniu Towarzystwa Lekarskiego w Würzburgu. Od samego początku panowało ogólne przekonanie, że to nowe promieniowanie jest ważne jako gałąź fizyki sama w sobie oraz w zastosowaniu do praktyki medycznej. Prawdopodobnie ten drugi powód sprawił, że pierwsze doniesienie prasowe dotyczące tego odkrycia ukazało się już 5 stycznia 1896 r. w Wiedniu, a 9 stycznia w gazecie amerykańskiej. Pierwsze zdjęcie rentgenowskie w amerykańskim laboratorium w Davidson College uzyskano już 12 stycznia. Od 13 stycznia ukazywały się w periodyku naukowym *Nature* stałe ogłoszenia o sprzedaży przezroczy zdjęć rentgenowskich, a od 30 stycznia o sprzedaży aparatu do wykonywania „nowych fotografii”. W ciągu 12 miesięcy po odkryciu ukazało się na świecie prawie 1000

komunikatów donoszących o badaniach promieni X [1].

Kiedy wygasły spekulacje tego typu, że w świetle tych promieni człowiek ubrany może okazać się rozebrany, pozostało ogromne uznanie dla znaczenia tych promieni w fizyce i zastosowaniach medycznych, czego ukoronowaniem było przyznanie Röntgenowi w r. 1901, pierwszej w dziedzinie fizyki, nagrody Nobla.

Röntgenowi nie udało się określić natury tych promieni, co przejawia się również w fakcie, że wybrał on nazwę promienie X. Po wielu doświadczeniach doszedł do wniosku, że promienie te nie są ani cząstkami naładowanymi, ani też zwykłym rodzajem światła. Najbardziej zadziwiająca dla niego była zdolność promieni X do przenikania przez materiały nieprzezroczyste dla promieniowania widzialnego. Na uwagę zasługują jego spekulacje, że promienie X mogą być podłużną składową światła, tj. składową „szczuplejszą” od składowej poprzecznej i tym samym mogą one łatwiej przechodzić przez ciała stałe, niż „grubsza” fala poprzeczna. Spekulacje te próbował ogłosić w chwili, gdy sformułowana przez Maxwella falowa teoria światła, zgodnie z którą jest ono falą poprzeczną, była u szczytu sławy. Dopiero w 1912 r. Max von Laue podał sposób sprawdzenia przypuszczenia, że promienie X mogą być światłem o bardzo małej długości fali. Logicznym wytłumaczeniem wyników doświadczeń otrzymanych po przepuszczeniu promieni X przez kryształy było to, że promienie X są bardzo krótkimi falami elektromagnetycznymi oraz to, że atomy w kryształach ułożone są w regularną strukturę tworzącą naturalną „siatkę dyfrakcyjną”. Pierwsze próby pomiaru załamania promieni X (w literaturze polskiej zwanych również promieniami rentgena) wykonał sam Röntgen, a teoretyczne podstawy zjawiska załamania i odbicia tych promieni przedstawił Stenström w 1919 r. w Lund w swojej pracy doktorskiej.

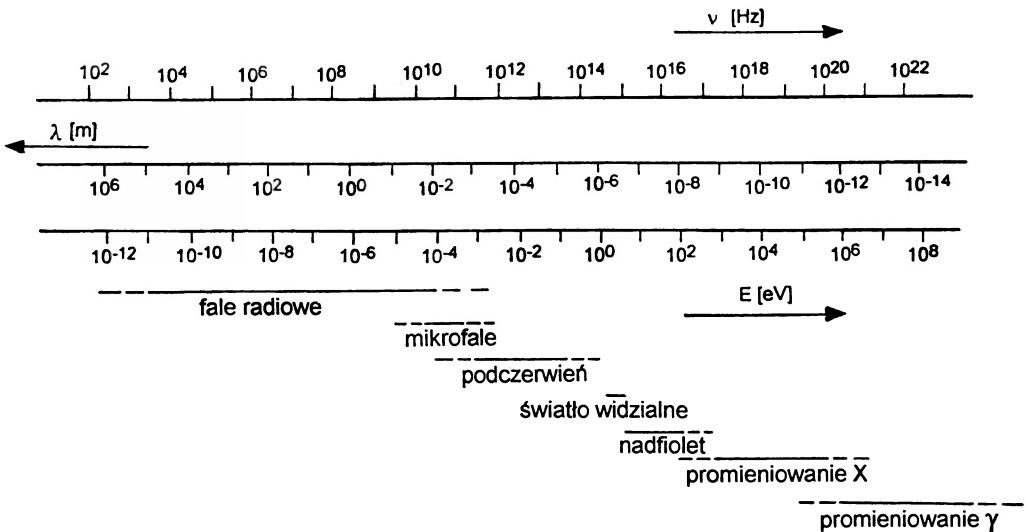
Doświadczalne potwierdzenie istnienia zjawiska załamania i całkowitego odbicia promieni X zostało dokonane w r. 1922 przez A.H. Comptona [2]. W ostatnich latach, zainteresowanie tym zjawiskiem przeżywa swój renesans w związku z zastosowaniem zarówno w pracach analitycznych wykorzystywanych w wielu dziedzinach nauk przyrodniczych (np. w badaniach medycznych, środowiskowych, geologicznych, astrofizycznych i innych) i technicznych. Całkowite odbicie zewnętrzne promieni X jest podstawą działania wielu układów optycznych przeznaczonych do odpowiedniego formowania lub kierowania wiązek promieni X. Jest to zadanie o wiele trudniejsze niż w przypadku promieni z zakresu widzialnego, gdzie różnorodne układy (np. soczewki) wykonane są z przezroczystego materiału posiadającego dla tego typu promieniowania współczynnik załamania istotnie większy od jedności. Taki materiał nie istnieje dla promieni X, gdyż jak się przekonamy w dalszej części artykułu, współczynnik załamania dla tych promieni jest mniejszy od jedności. Konwencjonalna optyka, oparta na zjawisku załamania i odbicia nie jest więc tutaj możliwa i właśnie dzięki mniejszej od jedności wartości

współczynnika załamania mamy do czynienia ze zjawiskiem całkowitego odbicia zewnętrznego promieni X padających na powierzchnię pod kątem mniejszym od kąta krytycznego. Zjawisko to wykorzystuje się do formowania, ogniskowania i kierowania miękkich promieni X w źródłach promieniowania synchrotronowego przy pomocy zwierciadeł rentgenowskich (*X-ray mirrors*). Umożliwiło również wykonanie układów przeznaczonych do ogniskowania lub wytwarzania równoległych wiązek promieni X oraz zaprojektowanie nowych typów detektorów tego promieniowania.

W artykule tym omówione zostanie zarówno zjawisko i warunki jego występowania, jak i przykłady nowych zastosowań w różnych dziedzinach nauki i techniki.

## 2. Całkowite odbicie zewnętrzne promieni X

W optyce promieniowania X oraz w jego oddziaływaniu z materią, zaskakuje nas fakt, że większość tych problemów znamy z optyki klasycznej i na jej podstawie możemy wydedukować podstawowe wielkości opisujące zjawisko całkowitego odbicia promieni X na granicy dwóch ośrodków. Dzieje się tak dlatego, że promienie X stanowią tylko niewielką część widma fal elektromagnetycznych i podobnie jak światło (rys. 1) spełniają ogólne prawa słuszne dla całego zakresu.



Rys. 1. Widmo fal elektromagnetycznych z wyszczególnionymi zakresami fal widzialnych i rentgenowskich. Umieszczone na osiach skale odpowiadają częstości promieniowania  $\nu$  [Hz], długości fali  $\lambda$  [m] i jej energii  $E$  [eV]

Poszczególne części z całego widma fal elektromagnetycznych wytwarzane są w różny sposób i tylko to pozwala czasami nazwać falę o takiej samej długości np. promieniowaniem X lub promieniowaniem  $\gamma$ . Fale z całego zakresu widma podlegają jednak tym samym prawom, które opisują proces oddziaływania fal z materią. W zależności od długości fali lub (jak wolimy w spektroskopii rentgenowskiej) od jej energii, różne jest prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych zjawisk w wyniku oddziaływania tego promieniowania z materią, a co za tym idzie, inną wartość przyjmują parametry bezpośrednio związane z procesami oddziaływania.

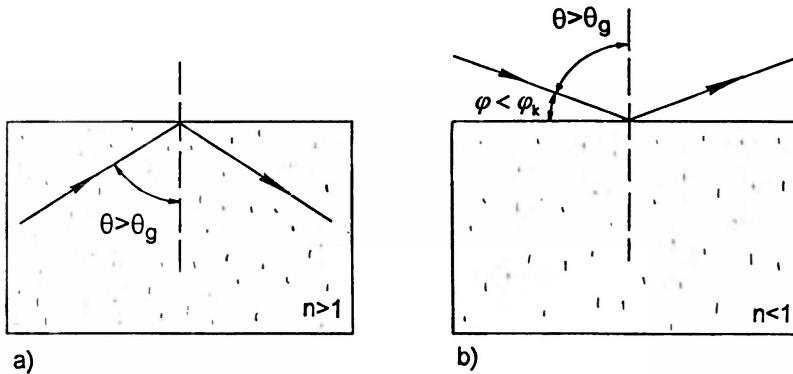
Jak pamiętamy z optyki klasycznej, na granicy dwóch ośrodków o współczynnikach załamania  $n_1$  i  $n_2$ , światło ulega załamaniu i zgodnie z prawem Snelliusa spełniony jest znany związek

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2} = n, \quad (1)$$

gdzie  $\alpha$  jest kątem padania fali na granicę dzielącą dwa ośrodki, a  $\beta$  jest kątem załamania. Jeżeli fale rozchodzą się w ośrodku optycznie gęstszym (np. szkło) i załamują się do ośrodka optycznie rzadszego (np. powietrze), to współczynnik załamania  $n$  jest większy od jedności i przy pewnym kącie, zwanym kątem granicznym, promień załamany biegnie równoległe do powierzchni granicznej i spełniony jest związek

$$\sin \theta_g = \frac{1}{n}. \quad (2)$$

Dla kątów padania większych od kąta  $\theta_g$  występuje tylko zjawisko odbicia, zwane całkowitym wewnętrznym odbiciem (rys. 2a).



Rys. 2. Szkic wewnętrznego (a) i zewnętrznego (b) odbicia promieni na granicy dwóch ośrodków

Ażeby określić zależność współczynnika załamania od własności fizycznych obydwu ośrodków i od długości fali padającej, należy rozwiązać problem oddziaływania fali elektromagnetycznej z materią. W tym celu rozważmy prosty model ośrodka złożonego z elektronów lub jonów związanych w położeniach równowagi siłami harmonicznymi. Wektor natężenia pola elektrycznego  $E = E_0 e^{i\omega t}$  fali elektromagnetycznej wprawia w wymuszony ruch drgający elektrony atomów ośrodka ze średnią częstotliwością oscylacji  $\omega_0$  wokół położenia równowagi. Na każdy elektron o ładunku  $e$  i masie  $m$ , wychylny z położenia równowagi o  $x$  działa siła zwrotna. Ogólne równanie ruchu dla takiego elektronu ma postać

$$-eE(x, t) = m(\ddot{x} + \gamma\dot{x} + \omega_0^2 x), \quad (3)$$

gdzie  $\gamma$  jest fenomenologiczną miarą siły tłumienia. Rozwiązując powyższe równanie dla ośrodka zawierającego  $NZ$  elektronów w jednostce objętości otrzymamy wyrażenie opisujące zależność stałej dielektrycznej od częstotliwości fali, a w konsekwencji współczynnik załamania postaci [3]

$$n^2 = 1 + \frac{4\pi NZe^2}{m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}. \quad (4)$$

Częstość  $\omega_p^2 = 4\pi NZe^2/m$ , która zależy jedynie od całkowitej liczby elektronów w jednostce objętości, nazywana jest częstością plazmową ośrodka.

Dla padającej fali elektromagnetycznej o dużej częstotliwości (tj. dla  $\omega \gg \omega_0$ ), jaką jest promieniowanie X, część rzeczywista współczynnika załamania ośrodka staje się mniejsza od jedności, tj.

$$n^2 \approx 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 < 1. \quad (5)$$

Oznacza to, że dla promieniowania X materia jest ośrodkiem optycznie rzadszym niż próżnia. Dlatego też promieniowanie to wnikając z powietrza do materii załamuje się pod kątem większym do normalnej i w następstwie tego istnieje kąt graniczny, powyżej którego zachodzi całkowite odbicie zewnętrzne promieni X (rys. 2b). Spełniona jest wówczas zależność:

$$\sin \theta_g = n. \quad (6)$$

Obydwa przypadki odbicia promieni świetlnych (dla  $n > 1$ ) i promieni rentgenowskich (dla  $n < 1$ ) są w zasadzie równoważne, gdyż całkowite odbicie zachodzi w ośrodku optycznie gęstszym. Wprowadzone nazwy – całkowite odbicie wewnętrzne i zewnętrzne – są więc nazwami czysto umownymi, wyjaśniającymi,

Ażeby określić zależność współczynnika załamania od własności fizycznych obydwu ośrodków i od długości fali padającej, należy rozwiązać problem oddziaływania fali elektromagnetycznej z materią. W tym celu rozważmy prosty model ośrodka złożonego z elektronów lub jonów związanych w położeniach równowagi siłami harmonicznymi. Wektor natężenia pola elektrycznego  $E = E_0 e^{i\omega t}$  fali elektromagnetycznej wprawia w wymuszony ruch drgający elektrony atomów ośrodka ze średnią częstotliwością oscylacji  $\omega_0$  wokół położenia równowagi. Na każdy elektron o ładunku  $e$  i masie  $m$ , wychylony z położenia równowagi o  $x$  działa siła zwrotna. Ogólne równanie ruchu dla takiego elektronu ma postać

$$-eE(x, t) = m(\ddot{x} + \gamma\dot{x} + \omega_0^2 x), \quad (3)$$

gdzie  $\gamma$  jest fenomenologiczną miarą siły tłumienia. Rozwiązując powyższe równanie dla ośrodka zawierającego  $NZ$  elektronów w jednostce objętości otrzymamy wyrażenie opisujące zależność stałej dielektrycznej od częstotliwości fali, a w konsekwencji współczynnik załamania postaci [3]

$$n^2 = 1 + \frac{4\pi N Z e^2}{m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}. \quad (4)$$

Częstość  $\omega_p^2 = 4\pi N Z e^2 / m$ , która zależy jedynie od całkowitej liczby elektronów w jednostce objętości, nazywana jest częstością plazmową ośrodka.

Dla padającej fali elektromagnetycznej o dużej częstotliwości (tj. dla  $\omega \gg \omega_0$ ), jaką jest promieniowanie X, część rzeczywista współczynnika załamania ośrodka staje się mniejsza od jedności, tj.

$$n^2 \approx 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 < 1. \quad (5)$$

Oznacza to, że dla promieniowania X materia jest ośrodkiem optycznie rzadszym niż próżnia. Dlatego też promieniowanie to wnikając z powietrza do materii załamuje się pod kątem większym do normalnej i w następstwie tego istnieje kąt graniczny, powyżej którego zachodzi całkowite odbicie zewnętrzne promieni X (rys. 2b). Spełniona jest wówczas zależność:

$$\sin \theta_g = n. \quad (6)$$

Obydwa przypadki odbicia promieni świetlnych (dla  $n > 1$ ) i promieni rentgenowskich (dla  $n < 1$ ) są w zasadzie równoważne, gdyż całkowite odbicie zachodzi w ośrodku optycznie gęstszym. Wprowadzone nazwy – całkowite odbicie wewnętrzne i zewnętrzne – są więc nazwami czysto umownymi, wyjaśniającymi,

czy zjawisko zachodzi wewnątrz materiału czy w powietrzu (lub próżni) „na zewnątrz”.

Dla celów praktycznych równ. (4), opisujące współczynnik załamania promieniowania rentgenowskiego, możemy przekształcić do postaci

$$n = 1 - \delta + i\beta . \quad (7)$$

Wielkości:  $\delta$  (zwana składową dyspersyjną) i  $\beta$  (składową absorpcyjną) są dodatnie, a typowe ich wartości są rzędu  $10^{-5}$  i  $10^{-7}$ .

Składowa dyspersyjna  $\delta$  jest proporcjonalna do kwadratu długości fali fotonów padających, do gęstości elektronowej oraz do części rzeczywistej atomowego czynnika rozpraszania materii. Po przekształceniach możemy ją zapisać jako [4]

$$\delta = \frac{N_A}{2\pi} r_0 \lambda^2 \frac{Z}{A} \rho , \quad (8)$$

gdzie  $N_A$  jest liczbą Avogadra,  $r_0$  klasycznym promieniem elektronu,  $\lambda$  długością fali promieniowania padającego,  $Z$  i  $A$  liczbą atomową i masową atomów ośrodka, natomiast  $\rho$  – gęstością materiału.

Składowa absorpcyjna  $\beta$

$$\beta = \frac{1}{4\pi} \mu \lambda , \quad (9)$$

jest proporcjonalna do liniowego współczynnika absorpcji  $\mu$  fali w danym ośrodku [4].

Wykorzystując prawo Snelliusa otrzymamy, że wartość kąta krytycznego, tj. kąta pomiędzy promieniem padającym, a powierzchnią rozdzielającą dwa ośrodki, określa związek

$$\sin^2 \varphi_k = 1 - \sin^2 \theta_g = 1 - n^2 . \quad (10)$$

Łącząc równania (7), (8) i (10) oraz zaniedbując czynnik absorpcyjny, otrzymamy wyrażenie

$$\varphi_k \approx \sqrt{2\delta} = C \left( \frac{Z}{A} \rho \right) \frac{1}{E} , \quad (11)$$

opisujące zależność kąta krytycznego od wielkości charakteryzujących ośrodki oraz od energii promieniowania  $E$ .

Podstawiając wartości liczbowe dla najczęściej stosowanego w zastosowaniach analitycznych materiału, jakim jest kwarc, otrzymujemy prosty wzór:

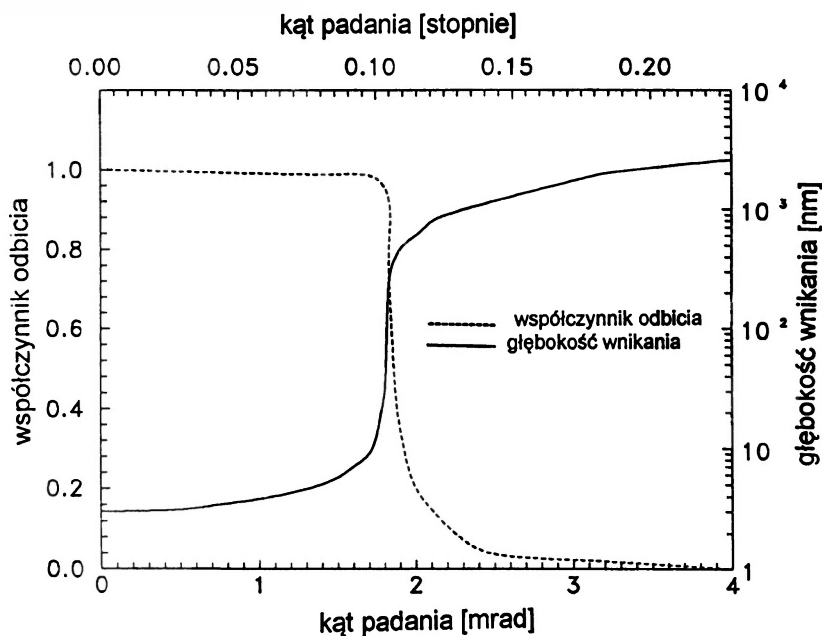
$$\varphi_k [\text{mrad}] \approx \frac{32.2}{E [\text{keV}]} , \quad (12)$$

pozwalający oszacować wartości kąta krytycznego dla promieniowania  $X$  o energii  $E$ . Wynika stąd bezpośrednio, że kąt krytyczny  $\varphi_k$ , poniżej którego występuje

całkowite odbicie zewnętrzne promieni X na granicy dwóch ośrodków, jest mały i jest odwrotnie proporcjonalny do energii padającego promieniowania (np. dla promieniowania X o energii 10 keV wynosi zaledwie ok. 3 mrad, tj.  $0.17^\circ$ ).

W spektrometrii promieniowania rentgenowskiego wykorzystującej całkowite odbicie zewnętrzne kąt pomiędzy promieniem padającym a powierzchnią odbijającą, zaznaczony na rys. 2b jako kąt  $\varphi$ , nazywany jest najczęściej kątem padania lub kątem odbłyску (w literaturze angielskiej *incidence* lub *glancing angle*). W dalszej części artykułu pisząc o kącie padania, będziemy zawsze mówili o kącie pomiędzy kierunkiem padania promieniowania X a powierzchnią odbijającą.

Aby fala elektromagnetyczna ulegała całkowitemu odbiciu, musi jednak wniknąć na pewną głębokość do ośrodka. Umownie za głębokość wnikania  $x_p$  przyjmuje się taką wartość, na której występuje zmniejszenie natężenia promieniowania padającego e-krotnie. Na rys. 3 przedstawiona jest jej typowa zależność od kąta padania wiązki.



Rys. 3. Zależność współczynnika odbicia i głębokości wnikania od kąta padania promieniowania rentgenowskiego o energii  $E = 17.4$  keV na gładką powierzchnię kwarcu [4]

Inny parametr, współczynnik odbicia promieniowania X od granicy dwóch ośrodków, może zostać określony przez równania Fresnela tak samo, jak dla promieniowania w zakresie widzialnym. Jest on monotoniczną funkcją kąta padania.



Dla kątów padania od zera do krytycznego wartość współczynnika odbicia maleje powoli od wielkości bardzo bliskiej jedności. Cecha ta stanowi istotę działania zwierciadeł rentgenowskich. Są one powszechnie wykorzystywane do ukierunkowywania i ogniskowania miękkich promieni X w źródłach promieniowania synchrotronowego. W pobliżu kąta krytycznego współczynnik odbicia zaczyna gwałtownie maleć wraz ze wzrostem kąta padania, a dla kątów powyżej dwóch  $\varphi_k$  zbliża się do asymptotycznego przebiegu zgodnie z funkcją  $(\varphi_k/\varphi)^4$ . Zależność współczynnika odbicia od kąta padania promieniowania rentgenowskiego o energii 17.4 keV na powierzchnię kwarcu przedstawiona jest na rys. 3. Z tego rysunku widzimy, że w warunkach całkowitego odbicia zewnętrznego promienie X wnikają do materiału na stałą, niewielką głębokość, a współczynnik odbicia, mający również stałą wartość jest duży.

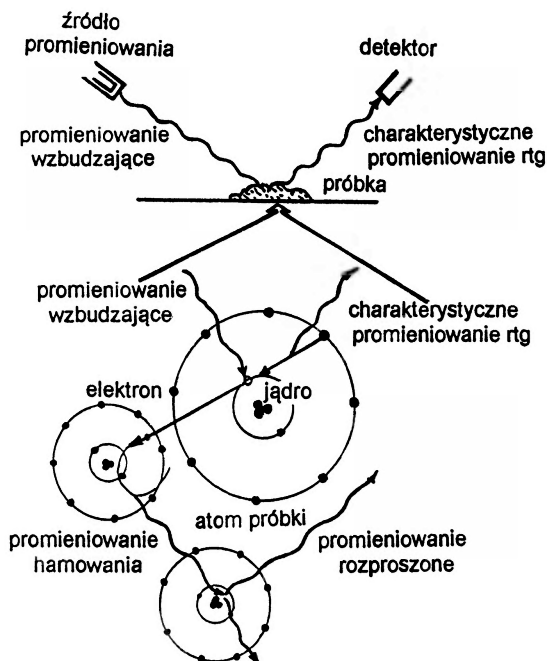
W dalszej części artykułu pokazanych zostanie kilka ciekawych zastosowań zjawiska całkowitego odbicia zewnętrznego promieni rentgenowskich od granicy dwóch ośrodków.

### 3. Zastosowania

#### 3.1. Rentgenowska analiza fluorescencyjna

Początki rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej XRF (*X-Ray Fluorescence*), jako metody analitycznej, sięgają lat dwudziestych naszego wieku, a jej prekursorem był Węgier György de Hevesy, laureat nagrody Nobla z chemii w 1943 r. Od czasu jej zastosowania w analityce, jest ona dobrze ugruntowaną metodą określania koncentracji w układach wielopierwiastkowych. Podstawą metody jest wzbudzenie i rejestracja wtórnego promieniowania rentgenowskiego, co schematycznie przedstawia rys. 4.

Promieniowanie rentgenowskie wytwarzane w dowolnym źródle (lampa rentgenowska, źródła promieniotwórcze, promieniowanie synchrotronowe), przechodząc przez badaną próbkę, oddziałuje z elektronami jej atomów. Głównym procesem zachodzącym w próbce są zderzenia niesprężyste z elektronami atomów, co prowadzi między innymi do wyrzucania elektronów z wewnętrznych powłok atomowych. Powrót atomu do niższego stanu energetycznego polega na przeskoku „innego” elektronu z poziomu wyższego na miejsce zwolnione po elektronie uprzednio wyemitowanym. Prowadzi to do powstania wolnych miejsc na coraz to wyższych poziomach energetycznych. Takie przegrupowania elektronów zachodzą dopóty, dopóki atom jako całość nie osiągnie stanu podstawowego. W wyniku każdego takiego przeskoku elektronu różnica energii pomiędzy dwoma stanami atomu, zostaje wyemitowana albo w postaci kwantu promieniowania



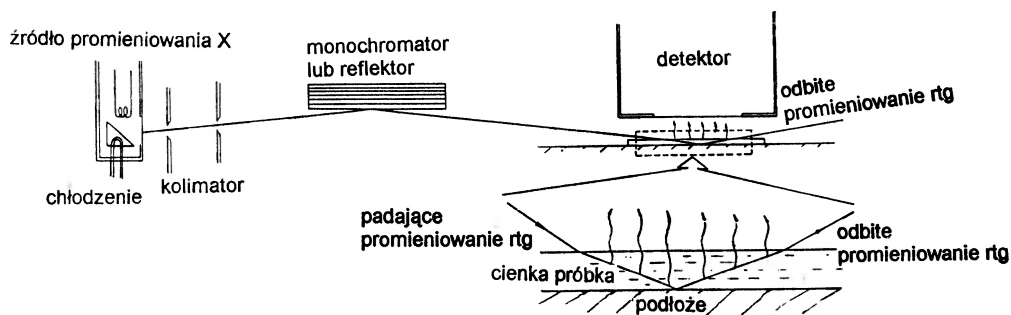
Rys. 4. Schemat podstaw fizycznych metody rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej

rentgenowskiego (przejście promieniste), albo zużyta na wyrzucenie elektronu z atomu (przejście bezpromieniste). Zjawisko kaskadowego przejścia atomu do stanu równowagi zachodzi na ogół w czasie rzędu  $10^{-8}$  s.

Z tego właśnie promieniowania korzystamy w rentgenowskiej analizie fluorescencyjnej. Rejestrowane linie charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego stanowią „wizytówkę” każdego pierwiastka, umożliwiając jego identyfikację, a ich natężenia są proporcjonalne do liczby atomów tego pierwiastka zawartych w próbce.

Wykorzystując stosunkowo prosty układ pomiarowy (rys. 4), możemy jednocześnie uzyskiwać informację o prawie wszystkich pierwiastkach zawartych w badanej próbce. Rozwiązania techniczne większości układów, przeznaczonych do rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej, pozwalają na jednoczesny pomiar koncentracji pierwiastków o liczbie atomowej  $Z > 13$  na poziomie wykrywalności rzędu  $10^{-6}$  g/g. Promieniowanie rentgenowskie lżejszych pierwiastków jest w całości absorbowane czy to na drodze próbka-detektor, czy też współczynnik jego absorpcji w samej próbce jest tak duży, że praktycznie tylko niewielka część promieniowania wzbudzanego z samej powierzchni próbki dociera do detektora.

Wykorzystanie zjawiska całkowitego odbicia zewnętrznego promieni X do celów analitycznych, spowodowało znaczną poprawę poziomu wykrywalności pierwiastków ( $10^{-9}$  –  $10^{-12}$ ). Prace Yonedy i Horiuchiego [5] oraz Aigingera i Wobrauscheka [6] przyjmuje się jako te, które zapoczątkowały gwałtowny rozwój rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej z wykorzystaniem zjawiska całkowitego odbicia wiązki padającej – TRXRF (*Total Reflection X-Ray Fluorescence*), jako metody analitycznej. Główną cechą odróżniającą tę metodę od „klasycznej” analizy rentgenowskiej XRF jest szczególnie dobrana geometria układu i wykorzystanie zjawiska całkowitego odbicia zewnętrznego. Typową konfigurację pomiarową dla metody TRXRF przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Typowa konfiguracja pomiarowa metody TRXRF

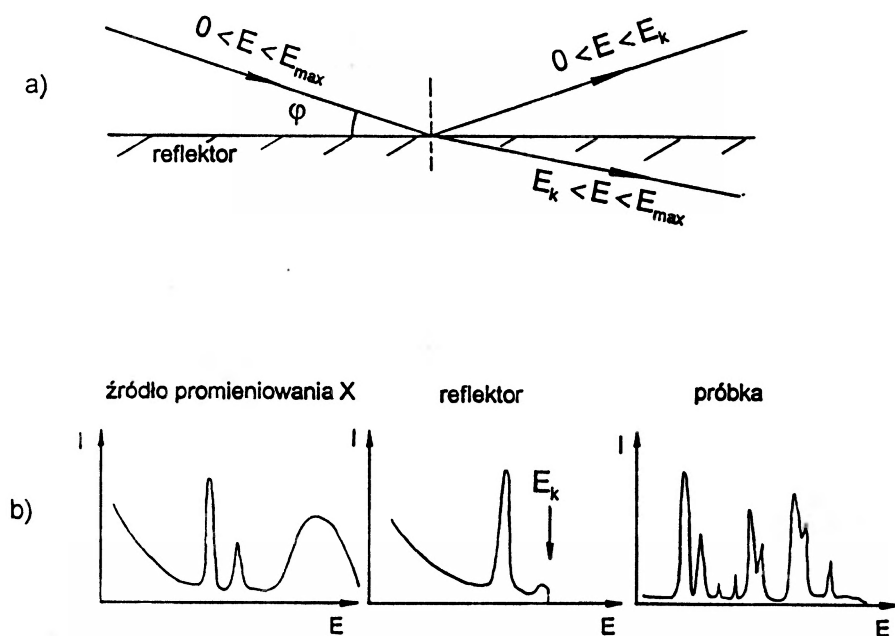
Silnie skolimowana wiązka promieniowania X z lampy rentgenowskiej (np.  $8\text{ mm} \times 50\ \mu\text{m}$ ) po odbiciu od monochromatora lub wysokoenergetycznego filtru (reflektora) lub wiązka promieniowania synchrotronowego pada na cienką próbkę umieszczoną na gładkiej powierzchni pod kątem mniejszym od kąta krytycznego. Promieniowanie fluorescencyjne wzbudzone w badanej próbce jest rejestrowane przez detektor półprzewodnikowy (Si(Li), HPGe), umieszczony blisko (ok. 2 mm) tuż ponad lub pod próbką tak, by nie był bombardowany przez padającą lub odbitą wiązkę. Ta geometria stwarza „idealne” warunki, gdyż wiązka całkowicie odbita od podłoża przenika przez próbkę tak samo jak padająca i również oddziałuje na swojej drodze przechodząc przez badaną próbkę, a co najważniejsze nie wywołuje silnego tła promieniowania rozproszonego w podłożu, gdyż wnika w nie na głębokość tylko kilku nm.

W tym miejscu musimy odpowiedzieć sobie na pytanie, jakie korzyści wynikają ze stosowania monochromatycznych wiązek promieniowania wzbudzającego? Promieniowanie fluorescencyjne może być wzbudzone zarówno poprzez promieniowanie ciągłe, jak i monochromatyczne.

Większość laboratoryjnych źródeł dostarcza promieniowania o ciągłym rozkładzie widma, z nałożonymi liniami charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego i jego monochromatyzacja zawsze powoduje obniżenie natężenia. Istnieje jednak kilka istotnych powodów, dla których stopień monochromatyzacji wzbudzającego promieniowania, stosowanego w metodzie TRXRF, powinien być jak największy:

(1) Prawdopodobieństwo wzbudzenia promieniowania fluorescencyjnego w próbce jest największe wówczas, gdy energia promieniowania wzbudzającego jest nieco większa od energii wiązania elektronów w atomach badanej próbki. Odpowiedni wybór energii monochromatycznego promieniowania wzbudzającego pozwala więc na zoptymalizowanie wzbudzenia fluorescencyjnego określanego pierwiastka lub grupy pierwiastków przy jednoczesnym obniżeniu natężenia promieniowania fluorescencyjnego wzbudzanego w innych pierwiastkach wchodzących w skład badanej próbki. Osłabia to również natężenie promieniowania rozproszonego. Rozwiązanie takie poprawia zdecydowanie granicę wykrywalności aż do  $10^{-9}$  –  $10^{-12}$  g/g lub ok.  $10^9$  atomów/cm<sup>2</sup>. Obniża to również całkowitą intensywność promieniowania rejestrowanego przez detektor, co umożliwia zwiększenie natężenia promieniowania wzbudzającego i w konsekwencji doprowadza do poprawy granicy wykrywalności. Jest to szczególnie ważne w metodzie TRXRF, w której do rejestracji promieniowania stosuje się detektory półprzewodnikowe (Si(Li) lub HPGe), posiadające ograniczenia dotyczące dopuszczalnej intensywności rejestrowanego promieniowania.

(2) Jeżeli promieniowanie ciągle pada na gładką powierzchnię pod ustalonym kątem  $\varphi$ , to wówczas wysokoenergetyczna część promieniowania nie spełnia warunku całkowitego odbicia zewnętrznego, gdyż dla energii promieniowania powyżej tzw. energii krytycznej  $E_k$  (wynikającej z równości  $\varphi = \varphi_k(E = E_k)$ ) wartość kąta  $\varphi_k \propto \frac{1}{E}$  jest mniejsza od ustawionej doświadczalnie, tj.  $\varphi_k(E_{\max} > E > E_k) < \varphi$ . Promieniowanie o energii  $E > E_k$  będzie więc wnikać głęboko zarówno w badaną próbkę, jak i w podkładkę. Ta część widma wzbudza w próbce i podłożu zarówno wtórne promieniowanie fluorescencyjne, jak i promieniowanie tła, powstające w wyniku rozproszenia Comptona i Rayleigha. Natomiast niskoenergetyczna część wiązki  $E < E_k$ , dla której  $\varphi_k(E < E_k) > \varphi$ , będzie ulegać całkowitemu odbiciu od powierzchni (patrz rys. 6). Podlega ona oczywiście tym samym oddziaływaniom, co część wysokoenergetyczna, lecz procesy te zachodzą w bardzo cienkiej warstwie powierzchniowej o grubości kilku nm, co powoduje znaczną redukcję tła promieniowania (czynnik rzędu  $10^3$ ). W metodzie TRXRF, tylko wzbudzane w tarczy promieniowanie fluorescencyjne niesie istotną informację. Stosowanie monochromatycznego promieniowania wzbudzającego poprawia granicę wykrywalności, gdyż tło zostaje zminimalizowane, a korzystny sygnał fluorescencyjny



Rys. 6. Schemat oddziaływania ciągłego promieniowania rentgenowskiego padającego na gładką powierzchnię pod ustalonym kątem  $\varphi$  (a) oraz typowy charakter widm rentgenowskich otrzymywanych z lampy, po odbiciu od reflektora oraz emitowanych z próbki (b)

jest wzmocniony, co jest zaletą tej metody.

(3) W analizie pierwiastków śladowych promieniowanie fluorescencyjne, wzbudzone w pierwiastkach stanowiących nawet małe zanieczyszczenia materiału anody lub materiału okienek czy to lampy, czy detektora może stanowić istotny wkład do promieniowania fluorescencyjnego badanej próbki i stwarzać trudności w interpretacji otrzymywanych wyników. Stosowanie wzbudzającego promieniowania monochromatycznego ogranicza występowanie tego efektu.

(4) Stosowanie promieniowania monochromatycznego umożliwia również badanie rozkładu koncentracji pierwiastków w funkcji głębokości w badanej próbce. Jest to możliwe w zakresie kątów padania wiązek przyległych do kąta krytycznego (przeważnie  $\varphi_k \leq \varphi \leq 5\varphi_k$ ), dla których obserwujemy bardzo dobrze określoną zależność głębokości wnikania takiego promieniowania (rys. 3) od kąta padania.

Monochmatyzację promieniowania, polegającą na wyborze „jednej” długości fali, można przeprowadzić na kilka sposobów i tylko żądany stopień „rozmycia” energetycznego  $\Delta E/E$  decyduje o jego wyborze. W wielu pracach wykorzystuje się w tym celu monochmatory krystaliczne, które posiadają jednak zbyt

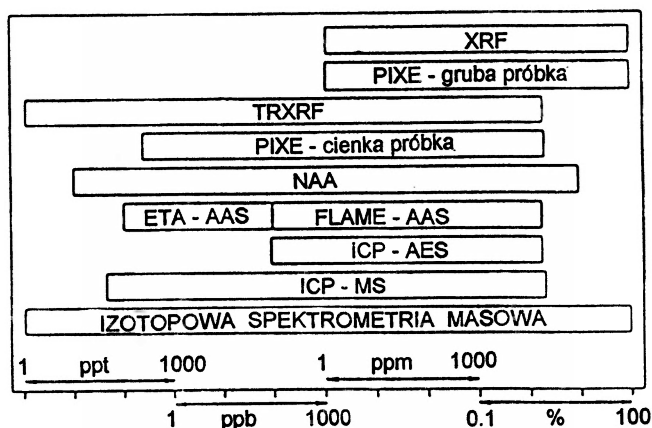
wąskie, jak na potrzeby TRXRF, pasmo energetyczne  $\Delta E/E$ . Monochromatory krystaliczne wymagają ponadto precyzyjnej i skomplikowanej mechanicznej części sterującej. Najczęściej stosowane w tym celu są monochromatory kwarcowe lub z fluorku litu, a ostatnio również monochromatory grafitowe ze sprasowanego proszku grafitu pirolitycznego.

Mając mniejsze wymagania odnośnie rozmycia energetycznego wiązki wzbudzającej, można zastosować odpowiednie filtry transmisyjne. Ich działanie opiera się na wykorzystaniu progów absorpcji promieniowania rentgenowskiego w materiale. Jako filtry stosuje się najczęściej folie metalowe, lub sprasowane płytki odpowiednich tlenków metali.

Ostatnio, w celu monochromatyzacji wiązki dla metody TRXRF, stosuje się również układy wielowarstwowe. Następujące po sobie cienkie warstwy (o grubości kilku nm), wykonane z materiałów o niskiej i wysokiej gęstości elektronowej (najczęściej są to warstwy Ta/C, W/C lub Mo/B<sub>4</sub>C), tworzą swego rodzaju sztuczną siatkę dyfrakcyjną różniącą ją od siatki krystalicznej tym, że odległości pomiędzy warstwami są dużo większe niż odległości międzyciolkowe. Padająca wiązka promieniowania rentgenowskiego ulega odbiciom od wielokrotnych warstw i na skutek interferencji, tylko fala o określonej długości ulega wzmocnieniu zgodnie ze znanym wzorem Bragga. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że energetyczne pasmo przenoszenia tych układów ma szerokość porównywalną z naturalną szerokością poziomów energetycznych w atomie (rzędu 20 eV) oraz to, że zmiana kąta (przy pomocy goniometru) pomiędzy wiązką padającą i powierzchnią filtru umożliwia precyzyjny wybór pożądanej długości fali. Tego rodzaju monochromatory stosuje się przeważnie w układach przeznaczonych do pomiaru zanieczyszczeń materiałów półprzewodnikowych oraz w badaniach struktury cienkich warstw [7,8].

W typowych konfiguracjach TRXRF zamiast monochromatorów stosuje się „obcięcie” wysokoenergetycznej części widma promieniowania hamowania emitowanego z lampy. Wykorzystuje się w tym celu zjawisko całkowitego odbicia zewnętrznego promieni X i zależność opisaną równaniem (11). Pierwotne promieniowanie z lampy mające widmo ciągłe pada na kwarcowe zwierciadło odbijające (tzw. reflektor, rys. 5). W przypadku np. lampy z anodą molibdenową (Mo) kąt padania pomiędzy skolimowaną wiązką i powierzchnią zwierciadła wybiera się blisko kąta granicznego  $\varphi \leq \varphi_k(E_{\text{Mo-K}\alpha})$ , co zapewnia maksymalne natężenie odbitych linii charakterystycznych. Zgodnie z równaniem (11) promieniowanie o energii  $E \leq E_{\text{Mo-K}\alpha}$  jest całkowicie odbite od powierzchni zwierciadła i „przepuszczone” przez taki filtr, natomiast promieniowanie o wyższej energii zostaje w nim rozproszone. Graficzną ilustrację zasady działania tego wysokoenergetycznego filtru przedstawia rys. 6.

Atrakcyjność metody TRXRF staje się szczególnie widoczna w zestawieniu z zakresami wykrywalności zawartości pierwiastków, osiąganymi w innych metodach analitycznych (rys. 7).



Rys. 7. Porównanie zakresów wykrywalności metod analitycznych stosowanych do określania koncentracji pierwiastków [9]. Oznaczenia: XRF – rentgenowska analiza fluorescencyjna; PIXE – rentgenowska analiza fluorescencyjna indukowana cząstkami naładowanymi; TRXRF – rentgenowska analiza fluorescencyjna z całkowitym odbiciem wiązki padającej; NAA – neutronowa analiza aktywacyjna; ETA-AAS – atomowa spektrometria absorpcyjna ze wzbudzeniem elektrotermicznym; Flame AAS – atomowa spektrometria absorpcyjna ze wzbudzeniem płomieniowym; ICP-AES – atomowa spektrometria emisyjna ze wzbudzeniem plazmowym; ICP-MS – atomowa spektrometria emisyjna z detektorem masowym

Zastosowanie rozwiązań technicznych umożliwiających przeprowadzanie pomiarów w próżni pozwala na rejestrację charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego i określanie koncentracji nawet tak lekkich pierwiastków jak tlen czy fluor [10].

### 3.2. Zastosowanie metody TRXRF do analizy składu próbek

W zakresie kątów padania  $\varphi \leq \varphi_k$ , tj. w zakresie kątów spełniających warunek całkowitego odbicia zewnętrznego, metoda TRXRF jest metodą pozwalającą na szybki i bezpośredni pomiar koncentracji pierwiastków w próbkach zarówno ciekłych, jak i stałych. Wykorzystuje się to z powodzeniem do kontroli zawartości pierwiastków w różnorodnych próbkach środowiskowych, medycznych i biologicznych. Główne cechy wyróżniające tę metodę z grona innych, stosowanych w tej dziedzinie, przedstawia tab. 1.

Tabela 1. Cechy metody TRXRF jako metody analitycznej

---

**Zalety**

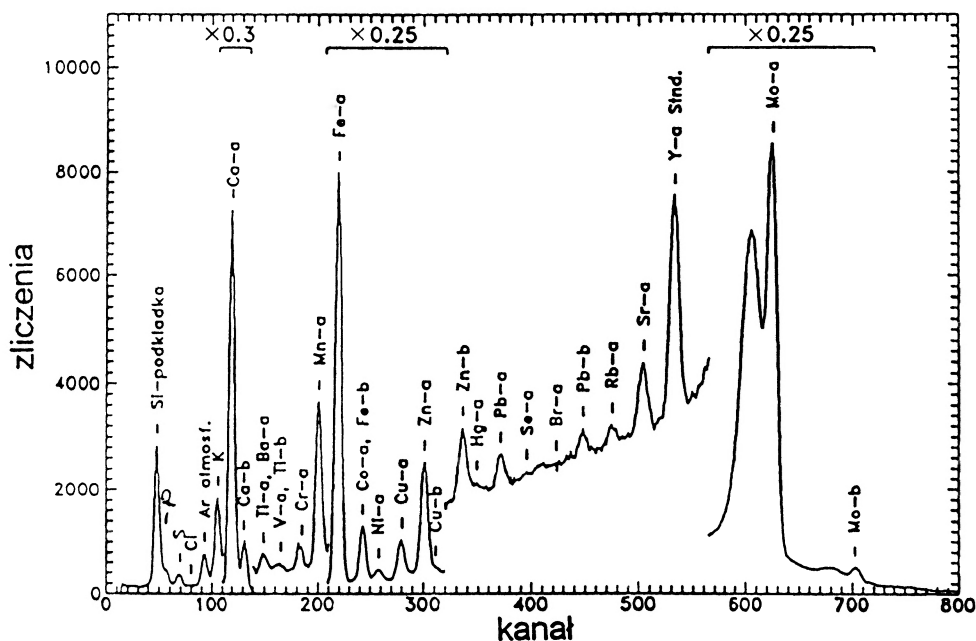
- czułość:
  - 5 – 10 ppb w pomiarach bezpośrednich
  - 5 – 20 ppt w pomiarach szczególnie przygotowanych próbek (zagęszczanie)
- jednoczesny pomiar pierwiastków o liczbie atomowej  $Z > 13$
- wysoka dokładność (ok. 1%) i powtarzalność (ok. 5 – 10%)
- łatwość i szybkość (ok. 1000 s) wykonywania pomiarów (niski koszt analizy)
- szybka komputerowa analiza widm i obliczania wyników
- metoda przydatna szczególnie do analizy roztworów
- niewielka ilość materiału konieczna do analizy (ok. 5 mg)
- pomiary bezpośrednie bez przygotowania „chemicznego”

**Wady**

- niemożność określania koncentracji pierwiastków lekkich ( $Z < 12$ ) podczas rutynowej analizy
  - konieczność sporządzania roztworów z materiałów stałych
  - konieczność posiadania gładkich powierzchni do analizy materiałów stałych
  - niemożność określania struktury chemicznej badanych substancji
- 

Ponieważ metoda TRXRF jest metodą powierzchniową i grubość badanej próbki musi spełniać warunek cienkiej tarczy (nm –  $\mu\text{m}$ ), to najwygodniejszym sposobem jej otrzymania jest doprowadzenie próbki do postaci roztworu z dodatkiem pierwiastka o znanej koncentracji, wprowadzanym jako „standard wewnętrzny” i nałożenie niewielkiej ilości roztworu (5 – 20  $\mu\text{l}$ ) na gładkie podłoże. Po wysuszeniu otrzymuje się cienką tarczę. Jest to bardzo prosta procedura w przypadku badania próbek ciekłych typu woda, opad atmosferyczny, roztwory itp. Próbki stałe, jak tkanki biologiczne, rośliny, muszą być dodatkowo zmineralizowane. W wyniku naświetlenia przygotowanej próbki promieniowaniem X w warunkach całkowitego odbicia, wzbudzone jest w niej charakterystyczne promieniowanie rentgenowskie zarówno przez falę padającą, jak i odbitą od podłoża (rys. 5). Jego natężenie informuje nas bezpośrednio o koncentracji pierwiastków o liczbie atomowej  $Z > 13$ . Przykładowy wynik analizy próbki zmineralizowanego opadu biologicznego zebranego na stacji kontroli środowiskowej przedstawia rys. 8. Zamieszczone w tabeli na rys. 8 koncentracje poszczególnych pierwiastków podane są w odniesieniu do suchej masy badanego materiału, podczas gdy w bezpośrednio badanym roztworze były one ok. 1000 razy mniejsze.



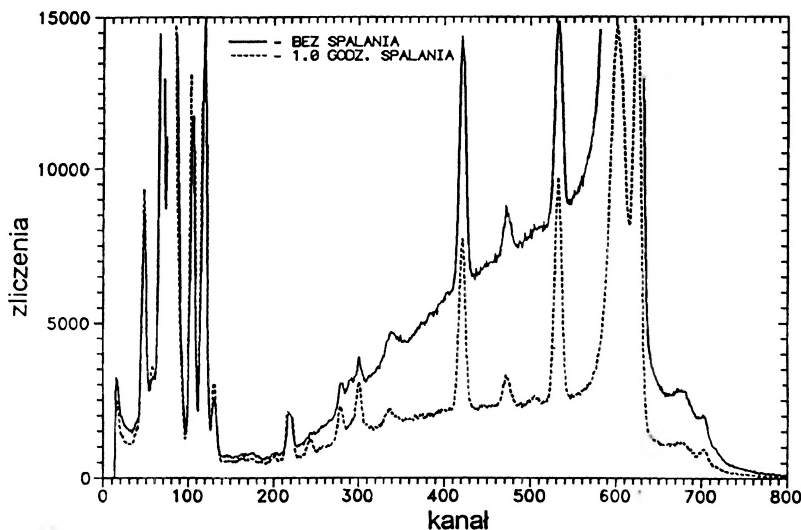


Rys. 8. Widmo rentgenowskie zmineralizowanego opadu biologicznego zebranego na stacji kontroli środowiskowej, zmierzone metodą TRXRF (5  $\mu$ l próbki naświetlano lampą rtg z anodą Mo w czasie 1000 s, przy prądzie  $I = 20$  mA i napięciu  $V = 45$  kV). Zamieszczone w tabeli wyniki przeliczone są na wartości w odniesieniu do suchej masy badanego materiału

Pierwiastek	Koncentracja $\mu$ g/g
S	571
K	1066
Ca	13389
Ti	31.1
V	4.23
Cr	0.45
Mn	66.5
Fe	274.5
Co	3.93
Ni	5.28
Cu	26.9
Zn	76.5
Br	<0.822
Sr	14.0
Ba	n.w
Hg	3.14
Pb	8.57

Jednak i w tym przypadku, dla pewnej klasy badanych materiałów, „efekty matrycy” odgrywają istotną rolę. W większości próbek organicznych główne ich składniki, węgiel i tlen, powodują wzrost tła, wynikający z rozproszenia Comptona promieniowania padającego. Wpływa to bardzo niekorzystnie na granicę wykrywalności pierwiastków. W tych przypadkach najczęściej stosuje się ich usunięcie, np. przez niskotemperaturowe wypalenie w strumieniu tlenu w zmiennym polu elektrycznym o wysokiej częstotliwości (MHz) [11]. Proces ten wydatnie redukuje

(ok.  $10^3$  razy) tła promieniowania (rys. 9) i tym samym poprawia zdecydowanie granicę wykrywalności pierwiastków.



Rys. 9. Redukcja tła promieniowania w nasświetlanej próbce osocza krwi w wyniku wypalenia węgla matrycy w strumieniu zjonizowanego tlenu

Metoda TRXRF jest więc szybką i czułą metodą określania koncentracji pierwiastków w ciekłych próbkach środowiskowych, medycznych i biologicznych. Stosowanie lamp rentgenowskich ze zmienną anodą umożliwia poprawę wydajności rejestracji w różnych obszarach liczb atomowych, poprzez zwiększenie natężenia fluorescencji w stosunku do tła promieniowania.

### 3.3. Wykorzystanie metody TRXRF w procesie produkcji półprzewodników

Od chwili powstania, metoda TRXRF znalazła szerokie zastosowanie w kontrolowaniu procesu produkcji w przemyśle elektronicznym i optoelektronicznym. Jest ona szczególnie przydatnym narzędziem zarówno do powierzchniowego badania czystości materiałów półprzewodnikowych, jak i do kontrolowania głębokościowego rozkładu zanieczyszczeń, czy też sposobem badania układów cienko-warstwowych (rzędu nm) znajdujących się na różnych podłożach.

We w pełni automatycznych układach pomiarowych dostępnych komercyjnie (np. ATOMIKA TXRF 8010) osiągnęte granice wykrywalności najczęściej występujących zanieczyszczeń metali w czystych półprzewodnikach sięgają  $10^9 - 10^{10}$  atomów/cm<sup>2</sup>. Są one kilka rzędów wielkości lepsze niż te, otrzymane przy użyciu innych metod (np. metody RBS – *Rutherford Back Scattering* – wykorzystującej

do analizy pomiar naładowanych cząstek rozproszonych sprężycie od badanej próbki).

Jednak główną i niepodważalną zaletą metody TRXRF jest jej nieniszczący charakter. Może ona być stosowana w każdej fazie produkcji skomplikowanych układów. Jest więc dobrym narzędziem do prostego i szybkiego określania stopnia zanieczyszczeń wyrobów przed i po każdym etapie produkcji, np. po procesie polerowania, nanoszenia cienkich warstw itp. W wielu przypadkach, szczególnie wtedy, gdy oczekujemy niejednorodnego rozkładu domieszek w wytwarzanym produkcie, wykorzystuje się ją również do precyzyjnego skanowania powierzchni z rozdzielczością ok.  $1 \mu\text{m}$  [7].

Całkowite odbicie wiązki promieniowania X na granicy dwóch ośrodków jest również doskonałym sposobem badania cienkich warstw na podłożach, tj. określania grubości warstwy, jej gęstości, składu, nierówności powierzchni granicznej, rozmycia warstw wskutek dyfuzji między warstwami i podłożem. Te wszystkie informacje są niezwykle istotne w całym procesie produkcji w przemyśle mikroelektronicznym. Sposób pomiaru tych wielkości metodą analizy rentgenowskiej został opisany przez Bruno Lengelera w artykule przetłumaczonym na język polski i wydrukowanym w *Postęпах Fizyki* w 1991 r. [12].

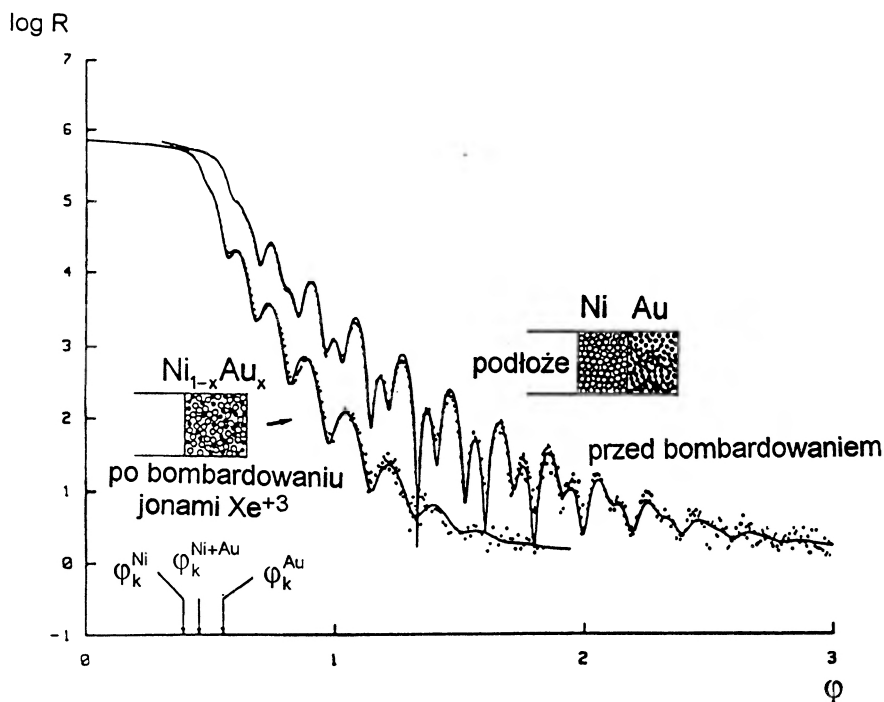
Główna idea tych pomiarów jest następująca. Fala padająca ulega częściowemu odbiciu na powierzchniach granicznych powietrze/cienka warstwa i cienka warstwa/podłoże. Interferencja fal odbitych wytwarza oscylacje zdolności odbijającej, które obserwowane w zależności od kąta padania fali pozwalają na wyznaczenie grubości warstw do kilkudziesięciu  $\text{\AA}$  z dokładnością ok. 1%. Zmierzona wartość kąta krytycznego niesie natomiast informację o gęstości materiału tworzącego cienką warstwę, a natężenie promieniowania fluorescencyjnego wyznacza jego skład.

Podobną metodykę pomiaru można zastosować w przypadku analizy układu wielu warstw naniesionych na podłoże. Lengeler [12] opisuje przykład jej wykorzystania dla analizy 80 podwójnych warstw złożonych z  $16 \text{\AA}$  Si i  $11 \text{\AA}$  Ta naniesionych na płytkę Si.

W wielu dziedzinach nauki i techniki przeprowadza się modyfikację powierzchni materiałów głównie w celu otrzymania ich nowych właściwości. Stosuje się tutaj przeważnie implantację jonów, mieszanie składników wywołane bombardowaniem jonami, czy dyfuzję termiczną. Metody te w rezultacie doprowadzają do wytworzenia gradientu składu w poszczególnych warstwach. Boité ze współpracownikami [13] przedstawili sposób zastosowania metody TRXRF do analizy modyfikowanych powierzchni, jako metody nieniszczącej. Według ich pracy, badanie współczynnika odbicia w zależności od kąta padania wiązki monochromatycznej dostarcza dokładnej informacji o współczynniku załamania, nierówności

i grubości warstw, składzie i sposobie ich wymieszania.

Na rys. 10 pokazano, jako przykład, wynik pomiaru współczynnika odbicia w zależności od kąta padania wiązki na powierzchnię dwóch warstw (Au/Ni) [13], naniesionych na podłoże. Jeżeli stopień rozdzielenia tych warstw jest pełny, to natężenie i kształt członów interferencyjnych, ich krotność (w tym przypadku równa 2) i współczynnik ich załamania, umożliwiają określenie w sposób iteracyjny parametrów takiego wielowarstwowego układu.



Rys. 10. Kątowa zależność zdolności odbijającej cienkich warstw złota i niklu naniesionych na podłoże. Strzałkami zaznaczono wartości kąta krytycznego dla rozseparowanych warstw niklu i złota, oraz dla wymieszanej warstwy otrzymanej w wyniku bombardowania układu jonami  $\text{Xe}^{+3}$  [13]. Liniami ciągłymi zaznaczono wartości zdolności odbijającej obliczonej metodą iteracyjną, a punktami wartości eksperymentalne

Istnieje wiele procesów, które mogą spowodować (większe lub mniejsze) przenikanie atomów pomiędzy tymi warstwami. W rozważanym przykładzie zostało to spowodowane przez bombardowanie takiej powierzchni jonami  $\text{Xe}^{3+}$  o energii 570 keV. Otrzymany wynik pomiaru współczynnika odbicia w funkcji kąta padania przedstawia krzywa „po bombardowaniu” na rys. 10. Wynik wymieszania warstw złota i niklu jest bezpośrednio widoczny z charakteru tej krzywej, a

metoda iteracyjna umożliwia określenie parametrów tego układu.

Przytoczone przykłady pokazują, że rentgenowska analiza fluorescencyjna z całkowitym odbiciem wiązki padającej jest doskonałą metodą pomiaru koncentracji w różnorodnych układach wielopierwiastkowych.

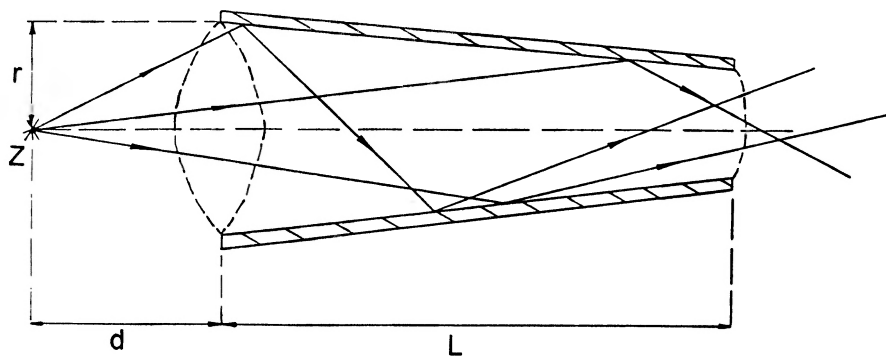
Zastosowanie promieniowania synchrotronowego, jako promieniowania wzbudzającego, stwarza nowe możliwości zarówno w badaniach podstawowych jak i w rozwijaniu nowych technologii i nowych zastosowań. Źródłem tego promieniowania są elektrony poruszające się z prędkościami bliskimi prędkości światła po zakrzywionych torach. Wytwarzane jest więc ono czy to w synchrotronach elektronowych, czy to w pierścieniach magazynujących. Promieniowanie wytwarzane w tych warunkach charakteryzuje się: a) szerokim zakresem długości emitowanych fal oraz dużym natężeniem, b) wysokim stopniem kolimacji, c) możliwością dokładnego określenia kierunku i widma energetycznego, d) dobrze określoną polaryzacją. Pierścienie magazynujące wyposażone są dodatkowo w specjalne układy wibratorów magnetycznych umożliwiających otrzymywanie wiązek promieniowania o zwielokrotnionym natężeniu oraz wiązek spolaryzowanych. Do ogniskowania i ukierunkowywania tych wiązek stosuje się powszechnie zwierciadła rentgenowskie. Wykorzystanie tego „nowego” źródła promieniowania jest powszechne. Świadczy o tym chociażby liczba ok. 30 pracujących pierścieni magazynujących, z których każdy posiada od kilku do kilkudziesięciu stanowisk pomiarowych. Duża liczba zespołów wykorzystuje promieniowanie synchrotronowe w badaniach materiałowych, medycznych i biologicznych czy też w elektronice.

W badaniach statycznej i dynamicznej struktury materiałowej najczęściej stosuje się dyfrakcję i rozproszenie promieniowania. Zastosowanie tych zjawisk umożliwia również analizę strukturalnych transformacji występujących w ekstremalnych warunkach, np. bardzo wysokich czy niskich temperaturach lub ciśnieniach. Zastosowanie ogniskowania promieniowania synchrotronowego za pomocą wygiętych zwierciadeł lub kryształów umożliwia przeprowadzenie rentgenowskiej mikroanalizy materiałów z rozdzielczością ok.  $1 \mu\text{m}$ .

Silne wiązki promieniowania synchrotronowego stwarzają wyjątkowe możliwości w badaniach medycznych i biologicznych. Analiza strukturalna kryształów tak małych jak rozmiary pojedynczej komórki, czy też analiza strukturalna protein i ich związków oraz wirusów jest już w zasięgu możliwości eksperymentalnych. Przeprowadzane i planowane są również badania czasowych zależności funkcji biologicznych różnych struktur molekularnych. Planowane są tu również nowe metody projekcji obrazów z wykorzystaniem promieni X, jak topografia, tomografia czy holografia rentgenowska.

### 3.4. Kapilary ogniskujące

Silne wiązki promieniowania X o przekroju od kilkuset do ułamków mikrometra znajdują wiele zastosowań. Wykorzystuje się je m.in. do otrzymywania precyzyjnych map (z rozdzielczością rzędu  $0.1 \mu\text{m}$ ) powierzchniowego rozkładu pierwiastków, czy to w tkankach biologicznych, czy to w procesie produkcji układów półprzewodnikowych. Wykorzystywanie źródeł promieniowania synchrotronowego do tego typu zastosowań jest powszechne, lecz ze względu chociażby na ograniczoną liczbę laboratoriów dysponujących tymi źródłami celowe jest poszukiwanie innych rozwiązań umożliwiających otrzymanie wiązek promieniowania X o dużym natężeniu. Natomiast wytwarzanie intensywnych wiązek promieniowania rentgenowskiego o przekroju mikronowym przez prostą kolimację promieniowania z lampy nie jest praktykowane, gdyż wiąże się to z olbrzymimi stratami energii i otrzymywane tym sposobem wiązki miałyby znikomą intensywność. Rozwiązanie problemu „zagęszczania” wiązki lub jej ogniskowania umożliwia zjawisko całkowitego odbicia promieni rentgenowskich, co zostało opisane w przeglądowej pracy Kumakhova [14] (rys. 11).



Rys. 11. Istota działania kapilary ogniskującej promieniowanie rentgenowskie ( $Z$  – źródło promieniowania,  $d$  – odległość źródła od otworu wejściowego kapilary o promieniu  $r$ ,  $L$  – długość kapilary)

Część promieniowania rentgenowskiego wpadająca do otworu wejściowego prostoliniowej kapilary i spełniająca warunek całkowitego odbicia, zostaje „skupiona” w jej otworze wyjściowym. Jeżeli stosunek wewnętrznego promienia kapilary  $r$  do jej odległości od źródła  $d$  spełnia związek całkowitego odbicia promieni rentgenowskich na granicy powietrze/ściana kapilary,  $r/d < \varphi_k$ , to gęstość natężenia wiązki w otworze wyjściowym kapilary określa związek

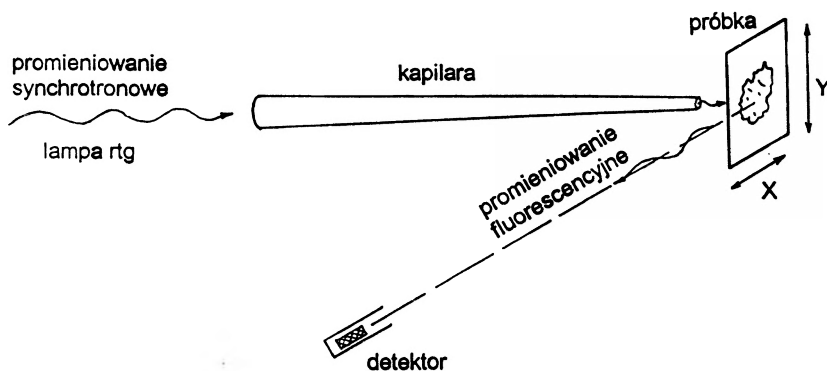
$$P = I_0 \varphi_k^2 / 4\pi r^2, \quad (13)$$

gdzie przez  $I_0$  oznaczono izotropowe natężenie promieniowania emitowanego ze źródła. Znając gęstość natężenia promieniowania lampy  $P_0 = I_0/4\pi(L+d)^2$ , możemy określić związek opisujący wydajność wzmocnienia wiązki rentgenowskiej

$$K = P/P_0 = [\varphi_k(L+d)/r]^2. \quad (14)$$

Dla typowych kapilar, o średnicy wejściowej  $500 - 50 \mu\text{m}$  i wyjściowej  $100 - 0.1 \mu\text{m}$ , otrzymuje się współczynnik wzmocnienia natężenia rzędu kilku do kilkuset.

Schemat zastosowania kapilary ogniskującej w metodzie rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej do otrzymywania precyzyjnych map powierzchniowego rozkładu pierwiastków przedstawia rys. 12.

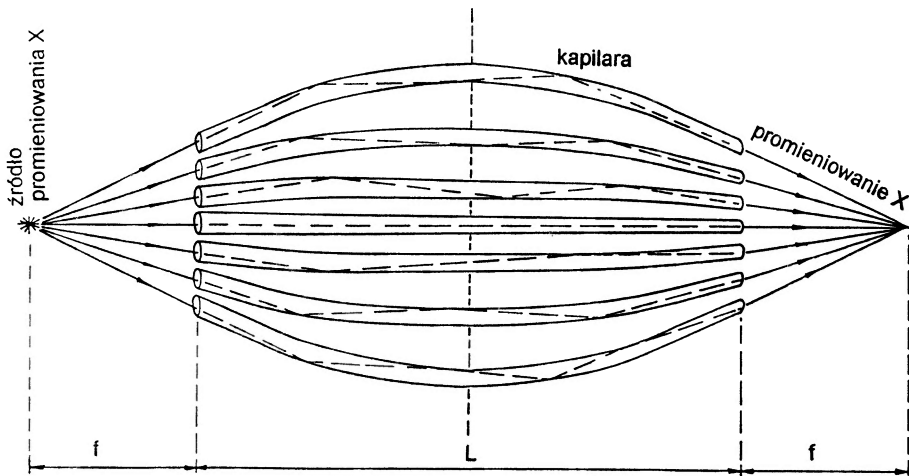


Rys. 12. Schemat zastosowania mikrowiązki rentgenowskiej otrzymanej za pomocą kapilary ogniskującej do skanowania próbki

W tego typu zastosowaniach, kapilary ogniskujące pełnią jednocześnie podwójną rolę. Oprócz podstawowej, tj. wytwarzania silnych wiązek o przekroju mikronowym, spełniają one rolę wysokoenergetycznego filtra, analogicznie do funkcji reflektora w układzie metody TRXRF. Tylko ta część promieniowania rentgenowskiego emitowanego z lampy, która spełnia warunek całkowitego odbicia zewnętrznego, tj. spełniająca związek  $E \leq E_k$ , zostanie przepuszczona przez kapilarę. Część wysokoenergetyczna promieniowania emitowanego z lampy zostanie natomiast całkowicie w niej rozproszona. Powoduje to znaczną redukcję tła promieniowania wytwarzanego w badanej próbce, wynikającą z ograniczenia comptonowskiego rozproszenia wysokoenergetycznych fotonów, a tym samym poprawę stosunku linia/tło w badanym widmie, co jednoznacznie wpływa na obniżenie granicy wykrywalności pierwiastków.

### 3.5. Soczewki kapilarne

Kapilary ogniskujące, wykorzystujące zjawisko całkowitego odbicia promieni X na granicy dwóch ośrodków, stanowią główny składnik soczewki promieniowania rentgenowskiego. Podstawową funkcją takiej soczewki jest otrzymanie maksymalnego natężenia promieniowania X w jednym z ognisk soczewki lub otrzymanie równoległej wiązki promieniowania rentgenowskiego. Obydwie funkcje są realizowane poprzez układ wielu wygiętych cienkich kapilar ogniskujących. Podstawowy schemat takiej soczewki przedstawia rys. 13.



Rys. 13. Schemat konstrukcji i działania soczewki promieniowania rentgenowskiego [14]

Centralna kapilara leżąca na osi soczewki jest prostoliniowa. Wszystkie pozostałe są odpowiednio wygięte i umieszczone w koncentrycznych warstwach wokół osi symetrii. Stopień krzywizny w każdej warstwie jest stały i zależy od jej odległości od osi symetrii, i tak dobrany, że oba końce wszystkich kapilar są skierowane dokładnie w dwa punkty stanowiące dwa ogniska soczewki. Konstrukcję takiej soczewki promieniowania rentgenowskiego opisuje w swojej pracy Kumaikhov [14]. Wykonana ona była z 2000 kapilar o zmiennym promieniu krzywizny ( $R_{\infty} \geq R \geq 2 \text{ m}$ ) umieszczonych wokół centralnej, skierowanych w dwa ogniska oddalone o 5 cm od soczewki. Ogniskowanie wiązki odbywało się na obszarze o średnicy 1 mm, na którym otrzymano współczynnik wzmocnienia natężenia wiązki w ognisku ok. 3300.

Układ wytwarzający równoległą wiązkę promieni rentgenowskich stanowi tylko odmianę (połowę) wyżej opisanej soczewki promieniowania. Jak zazna-



czono na rys. 13, „przecięcie” soczewki wzdłuż linii przerywanej daje w rezultacie przyrząd do produkcji równoległej wiązki promieniowania rentgenowskiego. Kumakhov [14] przedstawia w swojej pracy wynik prób takiego układu zbudowanego z 6000 kapilar, w którym otrzymanie wiązki o natężeniu  $10^{14} - 10^{15}$  fotonów/sekundę z rozbieżnością  $3 \times 10^{-3}$  rad nie stwarza większych problemów.

Układy równoległych wiązek rentgenowskich wykorzystywane są w badaniach specjalistycznych, dotyczących struktury krystalicznej, cechowania teleskopów astronomicznych, czy też w litografii rentgenowskiej, gdzie monochromatyczność wiązki  $\Delta\lambda/\lambda \approx 1 - 10^{-2} \%$  i kąтова dyspersja lepsza niż  $10^{-3}$ , są bardzo pożądane.

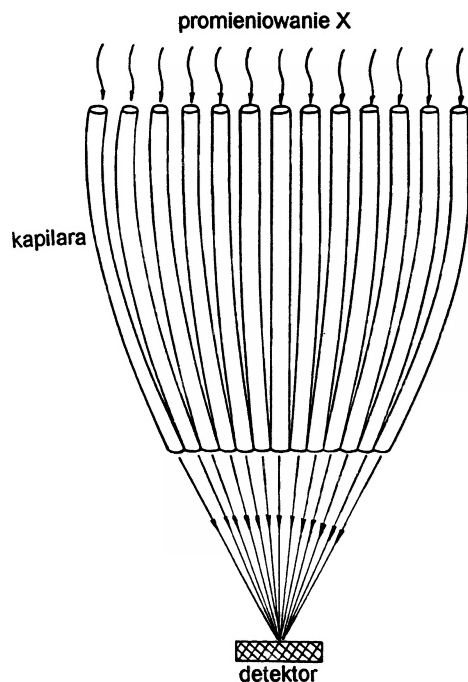
### 3.6. Nowe detektory rentgenowskie

Największym i najważniejszym problemem, jaki napotykamy przy detekcji promieniowania rentgenowskiego, jest tło nakładające się na rejestrowane widmo. Część tego tła powstaje oczywiście w wyniku oddziaływania promieniowania w bezpośrednim sąsiedztwie lub w samym detektorze. Przeważająca jego część powstaje jednak daleko od detektora, głównie w wyniku rozproszenia Comptona. Najczęściej do jego eliminacji stosuje się czy to specjalne osłony kolimacyjne, czy też rozbudowane elektroniczne układy antykoincydencyjne.

Wykorzystanie ogniskowania promieniowania rentgenowskiego za pomocą układów kapilar ogniskujących przy wykorzystaniu zjawiska całkowitego odbicia zewnętrznego daje możliwość „odcięcia” wysokoenergetycznych fotonów, gdyż tylko fotony spełniające związek  $E \leq E_k \approx \text{const}/\varphi_k$  są odbijane i w rezultacie rejestrowane. Zastosowanie w tym celu układów dużej liczby kapilar powoduje jednocześnie zwiększenie „światłości” przez rejestrację promieniowania ze znacznie większego kąta bryłowego.

### 3.7. Zastosowanie w astronomii

Wspomniane powyżej problemy są niezwykle istotne w badaniach astronomicznych w zakresie promieniowania rentgenowskiego, gdzie eliminacja kosmicznego tła promieniowania jest szczególnie ważna. Dla przykładu, stałe tło promieniowania o energii  $20 \text{ keV} \leq E \leq 1000 \text{ keV}$  wynosi ok.  $1 - 2$  fotonów/s/cm<sup>2</sup>/sr i podczas wzmożonej aktywności słonecznej wzrasta kilkakrotnie. Znaczną redukcję tego tła możemy otrzymać stosując układ kapilar podobny do układu wytwarzającego równoległą wiązkę promieniowania, tylko przy zamienionych powierzchniach wejścia/wyjścia. Schematycznie przedstawia to rys. 14. W takim układzie tylko promieniowanie z kąta bryłowego rzędu  $10^{-6}$  sr (promieniowanie o energii 100 keV wpadające pod kątem  $\varphi = 2\varphi_k \approx 6 \times 10^{-4}$  rad spełnia warunek całkowitego odbicia zewnętrznego) jest przepuszczane przez kapilarę w wyniku całkowitego



Rys. 14. Zastosowanie układu kapilar ogniskujących do detekcji promieniowania rentgenowskiego

odbicia zewnętrznego i tym samym wspomniane wyżej tło promieniowania jest zredukowane aż do wartości ok.  $(1 - 2) \times 10^{-6}$  fotonów/s. Tak oszacowana wielkość wzrośnie tylko nieznacznie, jeśli uwzględni się mniejsze wartości energii oraz tło powstające w ścianach kapilar w wyniku ich zewnętrznego bombardowania promieniowaniem wysokoenergetycznym.

Drugą korzyścią, jaką niesie to rozwiązanie, jest możliwość zmniejszenia powierzchni czynnej stosowanego detektora do rozmiarów niewiele przekraczających średnicę ogniska układu, przy jednocześnie dużej powierzchni wejściowej (ok.  $1 \text{ m}^2$ ). Stosowanie wielu takich układów sprzężonych ze sobą daje w rezultacie „idealny” detektor o dużej powierzchni, pozwalający na precyzyjne określenie kierunku rejestrowanego promieniowania.

#### 4. Podsumowanie

W ciągu ostatnich lat fizyka promieni rentgenowskich staje się ponownie dziedziną o istotnym znaczeniu podstawowym i wkracza w nowe obszary jak fizyka

gwiazd czy Słońca. Obserwujemy wiele spektakularnych zastosowań w tak odległych dziedzinach jak mikroelektronika, genetyka i mikrobiologia czy ochrona środowiska. Zjawisko całkowitego odbicia zewnętrznego promieni X stanowi podstawę działania wielu układów optycznych przeznaczonych do odpowiedniego formowania lub kierowania wiązek promieni X. Stworzyło to nowe możliwości w badaniach medycznych i biologicznych. W 100 lat od czasu odkrycia promieni X umożliwiając one analizę strukturalną tak małych obiektów jak pojedyncze komórki, proteiny czy też wirusy.

### Literatura

- [1] N.A. Dyson, *Promieniowanie rentgenowskie w fizyce atomowej i jądrowej* (PWN, Warszawa 1978).
- [2] A.H. Compton, *Phys. Rev.* **20**, 84 (1922); A.H. Compton, *Philos. Mag.* **45**, 1121 (1923).
- [3] J.D. Jackson, *Elektrodynamika klasyczna* (PWN, Warszawa 1987).
- [4] H. Aiginger, *Spectrochim. Acta B* **46**, 1313 (1991).
- [5] Y. Yoneda, T. Horiuchi, *Rev. Sci. Instrum.* **42**, 1069 (1971).
- [6] H. Aiginger, P. Wobrauschek, *Nucl. Instrum. Methods* **114**, 157 (1974).
- [7] W. Berneike, *Spectrochim. Acta B* **48**, 269 (1993).
- [8] W.W. Van Den Hoogenhof, D.K.G. De Boer, *Spectrochim. Acta B* **48**, 277 (1993).
- [9] J.P. Willis, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **35**, 378 (1988).
- [10] C. Strelli, H. Aiginger, P. Wobrauschek, *Spectrochim. Acta B* **48**, 163 (1993).
- [11] W. Petersen, P. Ketelsen, A. Knöchel, R. Rausch, *Nucl. Instrum. Methods A* **246**, 731 (1986).
- [12] B. Lengeler, *Postępy Fizyki* **42**, 289 (1991).
- [13] M.G. le Boité, A. Traverse, L. Nénot, B. Pardo, J. Corno, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **29**, 653 (1988).
- [14] M.A. Kumakhov, F.F. Komarov, *Phys. Rep.* **191**, 289 (1990).

## WSPOMNIENIA – ROCZNICE

**Bronisław Średniawa**

*Instytut Fizyki  
Uniwersytet Jagielloński  
Kraków*

### **Katedra Historii Nauk Ścisłych Uniwersytetu Jagiellońskiego**

**Department of History of Sciences  
of the Jagiellonian University**

*Abstract:* Activity of the Department of History of Sciences of the Jagiellonian University in Cracow as well as the activity of its consecutive heads: Ludwik Birkenmajer and Aleksander Birkenmajer are shortly described, on the occasion of the 75th anniversary of the foundation of this Department.

Katedra Historii Nauk Ścisłych, która powstała w Uniwersytecie Jagiellońskim w 1919 r., zawdzięczała swoje powstanie działalności Ludwika Birkenmajera w dziedzinie historii astronomii, fizyki i matematyki. Działała przez 14 lat pod kierownictwem kolejno Ludwika i Aleksandra Birkenmajerów. W tym okresie była jedyną w Polsce katedrą historii nauk ścisłych. Praca naukowa Birkenmajerów w dziedzinie historii nauk ścisłych i związane z nią ich wykłady uniwersyteckie trwały znacznie dłużej, od 1890 r. do 1948 r., z kilkuletnią przerwą w czasie trwania drugiej wojny światowej, a więc około 60 lat. Artykuł ten, napisany w 75-tą rocznicę powstania Katedry, poświęcony jest działalności obu jej kierowników.

WSPOMNIENIA – ROCZNICE

**Bronisław Średniawa**

*Institut Fizyki  
Uniwersytet Jagielloński  
Kraków*

**Katedra Historii Nauk Ścisłych  
Uniwersytetu Jagiellońskiego**

**Department of History of Sciences  
of the Jagiellonian University**

*Abstract:* Activity of the Department of History of Sciences of the Jagiellonian University in Cracow as well as the activity of its consecutive heads: Ludwik Birkenmajer and Aleksander Birkenmajer are shortly described, on the occasion of the 75th anniversary of the foundation of this Department.

Katedra Historii Nauk Ścisłych, która powstała w Uniwersytecie Jagiellońskim w 1919 r., zawdzięczała swoje powstanie działalności Ludwika Birkenmajera w dziedzinie historii astronomii, fizyki i matematyki. Działała przez 14 lat pod kierownictwem kolejno Ludwika i Aleksandra Birkenmajerów. W tym okresie była jedyną w Polsce katedrą historii nauk ścisłych. Praca naukowa Birkenmajerów w dziedzinie historii nauk ścisłych i związane z nią ich wykłady uniwersyteckie trwały znacznie dłużej, od 1890 r. do 1948 r., z kilkuletnią przerwą w czasie trwania drugiej wojny światowej, a więc około 60 lat. Artykuł ten, napisany w 75-tą rocznicę powstania Katedry, poświęcony jest działalności obu jej kierowników.

## 1. Ludwik Antoni Birkenmajer

Ludwik Antoni Birkenmajer (1855–1927) [1-3] urodzony w miasteczku Lipnie we wschodniej Galicji, studiował w latach 1873–78 matematykę i fizykę na Wydz. Filozoficznym Uniwersytetu Lwowskiego, gdzie też doktoryzował się w 1878 r. u profesora B. Radziszewskiego na podstawie matematycznej pracy „O ogólnych metodach całkowania różniczek”. Jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora objął posadę nauczyciela matematyki i fizyki w średniej szkole rolniczej w Czernichowie, miejscowości odległej o ok. 30 km od Krakowa. Od czasu przybycia do Czernichowa kontynuował pracę naukową, a jego długa działalność na tym polu była związana z Uniwersytetem Jagiellońskim.

W 1881 r. habilitował się [4] na Wydz. Filozoficznym Uniwersytetu Jagiellońskiego na podstawie serii prac z geofizyki o łącznym tytule „Studia z dziedziny fizyki teoretycznej” [5]. Mieszkając i pracując jako nauczyciel w Czernichowie dojeżdżał od 1882 r. do Krakowa, gdzie prowadził wykłady uniwersyteckie. Do 1891 r. były to wykłady z fizyki teoretycznej, później wykłady z historii nauk ścisłych. Zajmował się przez wiele lat hydrostatyką wirujących brył ciekłych. Prowadził też pomiary magnetyczne i grawimetryczne w ostatnim dziesięcioleciu XIX w. (Działalność Birkenmajera jako fizyka, matematyka i przyrodnika przedstawiona jest szczegółowo w monografii [3].) Lista prac Ludwika Birkenmajera z fizyki i matematyki oraz jego publikacji przyrodniczych obejmuje 18 pozycji.

Od ostatniego dziesięciolecia XIX w. Ludwika Birkenmajera coraz bardziej interesowały zagadnienia historii nauk ścisłych. Obejmowały one historię fizyki, astronomii i matematyki od starożytności do czasów współczesnych. Szczególnie zajmował go okres kopernikański. Stał się pionierem, wybitnym badaczem i znawcą życia i dzieła Mikołaja Kopernika. Wyniki swoich badań w tej dziedzinie opublikował w ponad 30-letnim okresie od 1897 do 1929 r. w ponad dwudziestu pracach. Prowadził badania zarówno w kraju, jak i w archiwach zagranicznych, zwłaszcza szwedzkich, gdzie znajdowały się dokumenty i materiały historyczne, zagrabione przez Szwedów w Polsce w XVII w.

W 1897 r. Ludwik Birkenmajer otrzymał godność profesora tytularnego Uniwersytetu Jagiellońskiego, nie związaną jednak ze stałą pensją, lecz jedynie z rocznym ryczałtem, tak że musiał kontynuować pracę nauczycielską w Czernichowie, dojeżdżając na wykłady do Krakowa. W 1909 r. przeszedł na emeryturę nauczycielską, po czym w 1910 r. przeniósł się do Krakowa, gdzie otrzymał honorowy tytuł profesora nadzwyczajnego. Pomimo wielokrotnych starań podejmowanych przez Uniwersytet Jagielloński, władze austriackie w Wiedniu nie przyznały Birkenmajerowi pełnych praw profesorskich. Otrzymał je dopiero w 1919 r. w odro-

dzonej Polsce. Na emeryturę przeszedł w 1927 r.; wykłady z historii nauk ścisłych prowadził aż do śmierci w 1929 r. Oprócz badań, dotyczących okresu kopernikańskiego, Ludwik Birkenmajer zajmował się również historią fizyki i astronomii w Polsce w wiekach XVII-XIX. Spis książek i prac Ludwika Birkenmajera obejmuje 103 pozycje.

## **2. Utworzenie i pierwsze lata istnienia Katedry Historii Nauk Ścisłych w Krakowie**

W 1919 r. władze polskie mianowały Ludwika Birkenmajera profesorem zwyczajnym historii nauk ścisłych, przyznając mu pełne prawa profesorskie. W tym samym roku utworzono dla niego na Wydz. Filozoficznym UJ Katedrę Historii Nauk Ścisłych [6,7].

Start nowej katedry był bardzo trudny. Wynikał przede wszystkim z braku sprzyjającego klimatu i niedostatecznego zrozumienia dla przedmiotu związanego nie z sekcją historyczną, lecz działającego w obrębie sekcji matematyczno-przyrodniczej Wydz. Filozoficznego, dla dyscypliny nie będącej przedmiotem egzaminacyjnym i nie dającym korzyści zawodowych. W ten sposób katedra ta, nie powiązana organizacyjnie z naukami historycznymi, pozostawała na marginesie nauk matematyczno-przyrodniczych. Katedra otrzymywała bardzo małą dotację, nie miała własnego lokalu, a jej biblioteka była bardzo skromna. Seminarium działające od 1920 r. dopiero w 1927 r. otrzymało asystenta w osobie T. Olczaka; po nim funkcję siły pomocniczej w seminarium spełniali T. Wąsowicz i D. Janotka [1].

Mimo niesprzyjających warunków, katedra zaspokajała potrzeby studentów interesujących się historią swojej dyscypliny. Przeciętnie przedstawiano na seminarium rocznie ok. 12 prac i referatów. Profesor Birkenmajer poruszał w swoich wykładach szeroki krąg zagadnień z historii nauk ścisłych. Niestety w okresie aktywności katedry nie udało się przeprowadzić ani jednego przewodu doktorskiego.

Po śmierci Ludwika Birkenmajera w 1929 r. Rada Wydz. Filozoficznego zwróciła uwagę na Aleksandra Birkenmajera, syna Ludwika Birkenmajera, który posiadał już znaczący dorobek w dziedzinie historii nauk ścisłych.

## **3. Studia, doktorat i habilitacja Aleksandra Birkenmajera**

Aleksander Birkenmajer (1890–1967) [8] urodzony w Czernichowie, studiował w latach 1908–12 na Wydz. Filozoficznym UJ fizykę i matematykę, uczęszczając równocześnie na wykłady i seminarium z historii nauk ścisłych, prowadzone przez

jego ojca Ludwika Birkenmajera, oraz na wykłady filozofii. Jako student towarzyszył ojcu w podróży naukowej do bibliotek i archiwów szwedzkich w poszukiwaniu dzieł i materiałów tam się znajdujących.

Stopień doktora otrzymał na Wydz. Filozoficznym UJ w 1914 r. na podstawie pracy „Henryk Bate z Melchinu, a przypisywana mu krytyka Tablic Króla Alfonsa”. Promotorem przewodu doktorskiego był fizyk W. Natanson, a recenzentami L. Birkenmajer, historyk F. Bujak i astronom M. Rudzki.

Od 1919 r. Aleksander Birkenmajer związał się na długie lata z Biblioteką Jagiellońską, kolejno jako asystent, kustosz i kierownik działu rękopisów. Prowadził badania nad historią nauk ścisłych, zarówno polską jak i zachodnioeuropejską. Zajmował się głównie okresem średniowiecznym (studia nad Vitelonem) i okresem kopernikańskim. Lista jego publikacji naukowych i polemicznych obejmuje 130 pozycji. Był też wybitnym znawcą rękopisów średniowiecznych i starodruków.

Ubiegając się w 1927 r. o habilitację na Wydz. Filozoficznym UJ Aleksander Birkenmajer przedstawił Radzie Wydziału cztery prace z historii nauki średniowiecznej, w tym pracę „Studia nad Vitelonem”. Po kolokwium, które odbyło się 11 grudnia 1927 r., przyznano Birkenmajerowi stopień docenta w zakresie historii nauk ścisłych [9].

#### 4. Ostatnie lata istnienia Katedry

Po habilitacji Aleksander Birkenmajer został mianowany kierownikiem Katedry Historii Nauk Ścisłych [6]. Wziąwszy w 1930 r. bezpłatny urlop z Biblioteki Jagiellońskiej, rozpoczął wykłady z historii nauk ścisłych oraz podjął energiczne starania aby usprawnić działalność Katedry. Wysiłki te napotkały jednak na opór zarówno w Uniwersytecie, jak i w Ministerstwie Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego, które uważały historię nauki za dyscyplinę niepełnowartościową, gdyż nie obowiązywały w niej egzaminy ani nie dawała korzyści zawodowych. Odmawiano wszelkich dotacji na ożywienie działalności Katedry, którą w 1932 r. Ministerstwo WRiOP wbrew woli Rady Wydziału Filozoficznego zlikwidowało wraz z paroma innymi katedrami historii. (Ministrem WRiOP był wówczas J. Jędrzejewicz.) Po zlikwidowaniu Katedry Aleksander Birkenmajer powrócił do pracy w Bibliotece Jagiellońskiej.

#### 5. Działalność Aleksandra Birkenmajera po likwidacji Katedry

Pomimo zlikwidowania Katedry, działalność w dziedzinie historii nauk ścisłych nie zniknęła z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Aleksander Birkenmajer pro-



jego ojca Ludwika Birkenmajera, oraz na wykłady filozofii. Jako student towarzyszył ojcu w podróży naukowej do bibliotek i archiwów szwedzkich w poszukiwaniu dzieł i materiałów tam się znajdujących.

Stopień doktora otrzymał na Wydz. Filozoficznym UJ w 1914 r. na podstawie pracy „Henryk Bate z Melchinu, a przypisywana mu krytyka Tablic Króla Alfonsa”. Promotorem przewodu doktorskiego był fizyk W. Natanson, a recenzentami L. Birkenmajer, historyk F. Bujak i astronom M. Rudzki.

Od 1919 r. Aleksander Birkenmajer związał się na długie lata z Biblioteką Jagiellońską, kolejno jako asystent, kustosz i kierownik działu rękopisów. Prowadził badania nad historią nauk ścisłych, zarówno polską jak i zachodnioeuropejską. Zajmował się głównie okresem średniowiecznym (studia nad Vitelonem) i okresem kopernikańskim. Lista jego publikacji naukowych i polemicznych obejmuje 130 pozycji. Był też wybitnym znawcą rękopisów średniowiecznych i starodruków.

Ubiegając się w 1927 r. o habilitację na Wydz. Filozoficznym UJ Aleksander Birkenmajer przedstawił Radzie Wydziału cztery prace z historii nauki średniowiecznej, w tym pracę „Studia nad Vitelonem”. Po kolokwium, które odbyło się 11 grudnia 1927 r., przyznano Birkenmajerowi stopień docenta w zakresie historii nauk ścisłych [9].

#### 4. Ostatnie lata istnienia Katedry

Po habilitacji Aleksander Birkenmajer został mianowany kierownikiem Katedry Historii Nauk Ścisłych [6]. Wziąwszy w 1930 r. bezpłatny urlop z Biblioteki Jagiellońskiej, rozpoczął wykłady z historii nauk ścisłych oraz podjął energiczne starania aby usprawnić działalność Katedry. Wysiłki te napotkały jednak na opór zarówno w Uniwersytecie, jak i w Ministerstwie Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego, które uważały historię nauki za dyscyplinę niepełnowartościową, gdyż nie obowiązywały w niej egzaminy ani nie dawała korzyści zawodowych. Odmawiano wszelkich dotacji na ożywienie działalności Katedry, którą w 1932 r. Ministerstwo WRiOP wbrew woli Rady Wydziału Filozoficznego zlikwidowało wraz z paroma innymi katedrami historii. (Ministrem WRiOP był wówczas J. Jędrzejewicz.) Po zlikwidowaniu Katedry Aleksander Birkenmajer powrócił do pracy w Bibliotece Jagiellońskiej.

#### 5. Działalność Aleksandra Birkenmajera po likwidacji Katedry

Pomimo zlikwidowania Katedry, działalność w dziedzinie historii nauk ścisłych nie zniknęła z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Aleksander Birkenmajer pro-

wadził do r. ak. 1937/38 wykłady i seminarium z historii nauk ścisłych [9]. Jego wykłady, prowadzone od 1930 r., obejmowały historię nauk ścisłych od starożytności do XIX w., z położeniem nacisku na matematykę. Przy tym, prawie co roku jeden z wykładów poświęcał nauce polskiej, ze szczególnym uwzględnieniem epoki kopernikańskiej.

W 1937 r. pojawiły się, w związku ze zbliżającą się w 1943 r. rocznicą śmierci Kopernika żądania, domagające się wskrzeszenia Katedry i powierzenia jej z powrotem Aleksandrowi Birkenmajerowi [6]. Żądania te nie odniosły jednak skutku. Birkenmajer został w 1939 r. powołany na stanowisko dyrektora Biblioteki Uniwersyteckiej w Poznaniu, jednak po wybuchu wojny wrócił do Krakowa. W latach 1947–51 pełnił funkcję dyrektora Biblioteki Jagiellońskiej. Przebywając w tym okresie w Krakowie podjął w latach 1947 i 1948 wykłady z historii matematyki w starożytności i dziejów nauk ścisłych w Polsce.

W 1951 r. został powołany na kierownika Katedry Bibliotekoznawstwa Uniwersytetu Warszawskiego. Funkcję tę pełnił do przejścia na emeryturę w 1960 r.

### Literatura

- [1] T. Wąsowicz, *Wiadomości Matematyczne* 34, 57 (1932).
- [2] E. Rybka, P. Rybka, *Historia astronomii w Polsce*, t. 2 (Ossolineum, Wrocław), zob. s. 176-177, 223-235.
- [3] B. Średniawa, *Zeszyty Nauk. UJ, Prace Fizyczne* 24, 1 (1985), zob. §§ 2.9, 4.3.
- [4] Archiwum UJ, sygn. WF II, 122.
- [5] L. Birkenmajer, *Kosmos (Lwów)* 3, 13, 62, 113, 437 (1878).
- [6] H. Barycz, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Historyczne* 16, 186 (1967).
- [7] Archiwum UJ, sygn. WF II, 142.
- [8] B. Olszewska, *Kwart. Hist. Nauki i Techn.* 14, 107 (1968).
- [9] Archiwum, UJ, sygn. WF II, 122.
- [10] *Spis wykładów UJ*, lata 1931/32–1937/38, 1946/47–1947/48.

## ROZMOWY

## Nie cierpiałem szkoły średniej – Rozmowa z K.G. Wilsonem

### I hated high school – An interview with K.G. Wilson

Profesor Kenneth G. Wilson, który w 1982 r. otrzymał Nagrodę Nobla za prace dotyczące „zjawisk krytycznych towarzyszących przejściom fazowym”, zajmuje się obecnie chromodynamiką kwantową. Drugą jego wielką pasją jest od dziesięciu lat reforma systemu szkolnictwa. Prof. Wilson jest twórcą i głównym animatorem programu *Discovery*. Program ten służy doskonaleniu nauczycieli fizyki, matematyki i pozostałych przedmiotów przyrodniczych i funkcjonuje od pięciu lat w stanie Ohio. Doskonalenie odbywa się głównie podczas sześciotygodniowych kursów wakacyjnych, na których nauczyciele zdobywają solidne podstawy merytoryczne. Uczą się jednak przede wszystkim tak prowadzić lekcje, by uczniowie uczyli się przez odkrywanie i samodzielne myślenie, oraz by dzięki pracy w grupach uczyli się od siebie nawzajem. Potrzeba uczenia się od siebie nawzajem jest jednym z kluczowych elementów filozofii nauczania, którą przedstawia Wilson. Widzi w tym nie tylko sposób aktywizacji społeczności szkolnej, ale także sposób ogromnego zwiększenia wydajności procesu nauczania.

W sierpniu 1994 r. odbyło się na Polanie Zgorzelisko czwarte międzynarodowe seminarium nt. kwantyzacji na stożku świetlnym i dynamiki nieperturbacyjnej „Theory of hadrons on light-front QCD”. Korzystając z obecności prof. Wilsona w Polsce i dzięki pomocy Stanisława Głazka, organizatora seminarium, Jan Dunin-Borkowski z Centrum Technologii Nauczania doprowadził do spotkania z Wilsonem kilkunastoosobowej grupy osób z całej Polski, zajmujących się kształceniem nauczycieli fizyki. Po spotkaniu, na którym omawiano szeroko pojęte problemy edukacyjne, profesor Wilson udzielił wywiadu dla *Postępów Fizyki*. Wywiad przeprowadziły Zofia Gołąb-Meyer (UJ, Kraków) i Magdalena Staszal (UW, Warszawa). Streszczenie wywiadu ukaże się w czasopiśmie dla nauczycieli *Foton*, nr 38 (1995).

Redakcja

**Zofia Gołąb-Meyer [ZGM]** – Panie Profesorze, jest Pan laureatem Nagrody Nobla z fizyki. Co zatem sprawiło, że stara się Pan zrewolucjonizować nauczanie?

**Kenneth Wilson [KW]** – Zaczęło się od tego, że jako student przez dwa lata pracowałem w czasie wakacji z Arnoldem Aronsem,<sup>1</sup> który jest przyjacielem rodziny. Było to dla mnie wprowadzenie w poważną pracę badawczą. Od tamtej pory żywię ogromny podziw zarówno dla samego Aronsa, jak i dla wszystkiego, czym się zajmuje. W latach siedemdziesiątych rozpoczął on program badań dydaktycznych na Uniwersytecie Stanu Waszyngton. Na początku lat osiemdziesiątych sam zacząłem myśleć o poważnym zajęciu się reformą szkolnictwa. Jedynym co mnie wtedy powstrzymało, była moja praca nad zastosowaniem superkomputerów w badaniach naukowych. W 1985 r. założyłem w Uniwersytecie Cornella ośrodek superkomputerowy. Dopiero w 1988, gdy przenieśliśmy się na Uniwersytet Stanu Ohio, mogłem zająć się problemami kształcenia. Minęły jeszcze dwa lata, zanim pojawiła się możliwość programu *Discovery*. Wtedy naprawdę się tym zainteresowałem, do tego stopnia nawet, że odłożyłem wszystkie inne sprawy. Od-tąd moje zainteresowanie stale wzrasta. Trudno jest wyobrazić sobie coś bardziej podniecającego, niż być w samym środku zmiany tak głębokiej, jak Rewolucja Kopernikańska.

**Magdalena Staszal [MS]** – Czy jest Pan zadowolony ze swojej własnej edukacji? Jeśli nie, co w niej było złego?

**KW** – Z pewnością nie jestem zadowolony ze swojej własnej edukacji. Rozpocząłem naukę w szkole dwuizbowej; pierwsze trzy klasy mieściły się w jednej izbie, pozostałe trzy w drugiej. Gdy byłem w trzeciej klasie, umiałem oczywiście wszystko, czego uczono w pierwszej izbie, i tylko „rozrabiałem”, ponieważ nauczycielka nie wiedziała, jak mnie wykorzystać w taki sposób, żeby pobyt w szkole był dla mnie nadal interesujący. Uzgodniła więc z moimi rodzicami, że przeniosę się do drugiej izby, do czwartej klasy. Rodzice sami nauczyli mnie pisemnego dzielenia.

**ZGM** – Czy był Pan jedynym, który tak wyprzedzał resztę klasy?

**KW** – Tak.

**ZGM** – Jak zdaniem Pana może wyglądać uczenie się zespołowe w klasie, w której jest jeden tak wybijający się uczeń?

---

<sup>1</sup> Arnold Arons jest obecnie nestorem dydaktyków amerykańskich, autorem słynnej książki *Introductory Guide to Physics Teaching* (przyp. Red.).

**KW** – W naprawdę dobrze zorganizowanym uczeniu zespołowym nauczyciel uczy się, jak uczynić je interesującym również dla zdolnych uczniów, tak aby w pracy z innymi, słabszymi uczniami koncentrowali się na zagadnieniach, w których sami nie czują się pewnie. Myślę, że w idealnym systemie każdy uczeń mógłby posuwać się we własnym tempie, które w pewnych dziedzinach może być bardzo szybkie (w moim przypadku były to matematyka i przedmioty przyrodnicze), a jednak poświęcać dużo czasu rzeczom, które sprawiają trudność. Wtedy uczeń miałby pewność, że nauczył się wszystkiego czego powinien, a nie tylko tego co go interesuje. Moje wykształcenie z matematyki i przedmiotów przyrodniczych było bardzo dobre, ale wyniosłem je głównie z domu, w małym stopniu ze szkoły. Natomiast nie nauczono mnie w szkole ani pisania, ani języków obcych. Zacząłem naukę gry na oboju, ale nie nauczyłem się tyle ile trzeba. Potem spędziłem rok w Anglii, gdyż moi rodzice przyjechali na rok do Oksfordu, i przez rok uczyłem się greki. W sumie było to smutne. Nauczyciel był zadowolony, ja też byłem zadowolony i zdobyłem nawet nagrodę za grekę. Musiałem jednak przerwać naukę po roku i do tej pory bardzo tego żałuję.

**ZGM** – Nie miał Pan możliwości dalszej nauki greki w Stanach?

**KW** – Nie miałem. Gdybym w tym czasie był pod wpływem mojej żony, odmówiłbym wyjazdu z Anglii. Powiedziałbym: „Lećcie, ja zostaję. Wrócę, gdy przyjdzie pora na studia”. Ale ja się tylko dąsałem. Dąsałem się przez całą szkołę średnią. W końcu przeskoczyłem kolejną klasę i rozpocząłem studia na Uniwersytecie Harvarda dwa lata wcześniej niż moi rówieśnicy.

**MS** – Co sprawiło, że został Pan fizykiem? Wpływ rodziców?

**KW** – Mój ojciec był profesorem chemii fizycznej na Uniwersytecie Harvarda, i gdy mój brat, cztery lata ode mnie młodszy, szykował się na studia, ojciec powiedział mi: „Chcę być pewien, że David będzie miał duże możliwości kariery. Radzę mu więc, by na pierwszym roku studiował oprócz fizyki i chemii także biologię”. I takie było wyobrażenie ojca o szerokich możliwościach kariery: być biologiem, chemikiem lub fizykiem.

**ZGM** – Jaki był wpływ grupy rówieśniczej, nauczycieli i rodziców na ukształtowanie Pana jako naukowca?

**KW** – Całkowicie decydująca była rola moich rodziców i tradycji rodzinnej. Z jednym wyjątkiem: od klasy piątej do ósmej byłem uczniem prywatnej szkoły podstawowej Shady Hills School w Cambridge (Massachusetts). Uczyli w niej specjalnie kształceni nauczyciele. W szkole tej młodszy nauczyciele terminowali u starszych. Najlepiej pamiętam z tego okresu projekt, w ramach którego budowałem silnik parowy. Pamiętam kilkuletnią pracę w warsztacie nad tym projektem. Każdy z nas miał zbudować mały silnik parowy. Błyszczały one mosiądzem.

Byłem ze swojego tak dumny, że ustawiłem go w domu na honorowym miejscu. Ciekawe, że to wspomnienie jest najwyraźniejsze, choć mam też kilka innych. Dopiero teraz, gdy zajmuję się badaniami edukacyjnymi, widzę, że ta szkoła miała prawdopodobnie znacznie większy wpływ na moją własną karierę niż mi się zdaje. Musiałbym jednak rozpocząć oddzielne badania, aby dociec, jak wyglądało tam nauczanie za moich czasów, i związać to z czymkolwiek w mojej dalszej karierze. Ale być może wpływ tej szkoły na moje późniejsze osiągnięcia był nietrywialny. Nie sądzę, by późniejsze szkoły miały na mnie jakiś wpływ. Nawet rok w Anglii był zbyt krótki, żeby wywrzeć jakiś większy wpływ. Tak więc następnym, naprawdę istotnym krokiem był Harvard.

**ZGM** – Czy nie brakowało Panu rówieśników na tym samym poziomie intelektualnym?

**KW** – W Harvardzie było całkiem inaczej. Byłem w grupie fizyków na słynnym roku.

**ZGM** – Ale ja mam na myśli szkołę średnią.

**KW** – Nie cierpiałem szkoły średniej. To był najgorszy okres w mojej edukacji. Chodziłem do prywatnej szkoły. Dziwię się mojej rodzinie, że właśnie ją wybrała dla mnie. Nigdy nie miałem odwagi spytać, dlaczego mnie tam posłano. Ale to wyraźnie nie zdało egzaminu.

**MS** – W badaniach naukowych istotną rolę odgrywa współzawodnictwo i chęć, by być odkrywcą. Czy według Pana jest to główna siła napędowa działalności naukowej, czy też ważniejsza jest czysta ciekawość poznawcza?

**KW** – To jest bardzo ciekawe pytanie. Oczywiście mamy do czynienia z mieszaniną z jednej strony współzawodnictwa, chęci zostania odkrywcą i wyrobienia sobie nazwiska, a z drugiej strony ciekawości. Niestety jest jasne, że system przywiązuje coraz większą wagę do współzawodnictwa, osiągnięć, nagrody dla uznanego odkrywcy.

**ZGM** – A czy przypadkiem nie było tak zawsze? Zna Pan zapewne książkę Thomasa Kuhna o rewolucjach naukowych. Tam jest wyraźnie powiedziane, jaki to był ważny czynnik.

**KW** – Oczywiście, że ważny, ale jeśli o mnie chodzi, nie pchała mnie w tym samym stopniu, co wielu innych ludzi, chęć zdobycia Nagrody Nobla. A mam wrażenie, że teraz jest to coraz powszechniejsze zjawisko, silniejsze niż gdy robiłem doktorat lub nieco później. Nacisk, by publikować prace jest nieporównanie większy teraz niż w latach sześćdziesiątych. Ja w zasadzie nie zwracałem na to uwagi. W pierwszych latach po doktoracie, które spędziłem w Europie, rozmawiałem z ojcem, który był bardzo rozgoryczony, że nic nie publikuję, że ustawiłem sobie za wysoko poprzeczkę i powinienem ją obniżyć, że powinienem zrobić coś,

co się opłaci. Słuchałem go spokojnie, przytakiwałem i robiłem swoje. Ale dziś mniej ludzi tak postępuje. Nacisk na wszystkich jest bardzo silny.

ZGM – Chyba nie jest Pan z tego zadowolony?

KW – Oczywiście, że nie. Myślę, że jest wiele sposobów by to zmienić. Jedną z rzeczy, którą planuję jest zmiana systemu uniwersyteckiego.

ZGM – A czy to nie jest zbyt późny etap? Może należy zacząć od systemu szkolnego?

KW – Nie, musimy zmienić wszystko jednocześnie. Cały system się zmienia, jeśli zmiana obejmuje kilka szkół i rozszerza się na dalsze. Wtedy jest dość pieniędzy, by zainwestować w zmianę kilku uniwersytetów. Wszystkie elementy systemu zmieniają się po trochu, np. zmienia się kilka programów kształcenia dorosłych. Wszystkie te rzeczy trzeba zacząć równocześnie, wszystkie zaczną się rozwijać i przyniosą oszczędności, gdyż umożliwią kształcenie przy pomocy mniejszej, a nie większej liczby ludzi. To uwolni rozsądnych ludzi, którzy pomogą w rozszerzaniu się zmian. Większość ludzi myśli, że aby mieć lepsze nauczanie trzeba zwiększyć liczbę nauczycieli przypadającą na jednego ucznia. Nic nigdy nie rośnie, gdy tego bardzo chcemy. Ale jeśli nauczanie stanie się lepsze i będzie wymagać mniej licznej kadry, mniej dorosłych biorących pensje, to sytuacja stanie się wybuchowa. Gdy proces ten się rozpocznie, będzie w zasadzie nie do zatrzymania. Trochę straszne jest to, że gdy się ten proces rozpocznie to zmieni się świat. Będzie to bardziej niezwykła zmiana, niż za czasów Kopernika. Trochę się tym martwię. Czy ludzie nie przestraszą się, że wykształcenie będzie o wiele większą siłą niż obecnie? Powstanie inny świat. Zapytała mnie Pani, jak przekształciłbym współzawodnictwo w coś bliższego współpracy. Regułą numer jeden jest istnienie tylko nagrody absolutnej: należałoby opublikować pewien wzorzec osiągnięć, i jeśli ktoś spełnia te wymagania, dostaje nagrodę. I nie jest ważne czy będą dwie nagrody, dwadzieścia czy dwieście. A szczególnie ważną rzeczą są zmiany w regulaminie Nagrody Nobla. To jest takie demoralizujące. Duch Nagrody Nobla jest prawidłowy, ale nie powinno być ograniczenia do trzech laureatów. To jest fatalne. Wiem to z własnego doświadczenia. Ponieważ mogli wybrać tylko trzy osoby, wybrali ostatecznie tylko mnie, a to było głupie. Oczywiście byłoby lepiej gdyby istniał absolutny wzorzec. Mogliby wtedy stwierdzić, kto spełnia wymagania, i jeśli ktoś nie spełni ich w jednym roku, mógłby ubiegać się w następnym. To byłoby znacznie lepsze, a moje życie bardziej sprawiedliwe. Zawsze jednak trafi się sytuacja, gdy dysponuje się jakimś stanowiskiem i trzeba na nie kogoś mianować, i sprawa jest wtedy bardzo trudna. Czasem nie da się tego uniknąć. Są stanowiska, na których potrzebna jest jedna osoba i tyle. Ale gdy to się zdarza, trzeba postępować bardzo ostrożnie, by nie zniszczyć współpracy ludzi rywalizujących o to stanowisko.

**MS** – Czy mógłby Pan wymienić zasadnicze punkty swego paradygmatu edukacyjnego? A może znajdziemy je w Pańskiej książce [1]?

**KW** – Nie można znaleźć istoty paradygmatu w książce, bo książka musi mieć jeden temat. A tematem tej książki jest konieczność przebudowy w systemie nauczania, która ma być procesem ciągłych ulepszeń. We wszystkim co napisałem jest mowa o tej przebudowie. I o tym jest książka. Ale nie można zamknąć w książce całości paradygmatu. Tego się nie da zrobić. Paradygmat składa się z różnych części; jedna z nich mówi, że konieczny jest proces stałego, ciągłego doskonalenia. Mogę wskazać cztery takie procesy, które muszą zachodzić jednocześnie. Musimy mieć przebudowę, a to oznacza przebudowę programów nauczania, przebudowę materiałów, przebudowę sposobu kontroli wiadomości itd. Trzeba oceniać skuteczność programów, potem je przebudować, znowu ocenić i znowu przebudować. Nauczyciele muszą zacząć się uczyć jedni od drugich. Muszą odbywać się lekcje pokazowe, czy inaczej mówiąc koleżeńskie, na których nauczyciele uczą się jedni od drugich podczas prawdziwego procesu nauczania. To tak jak z lekcją muzyki, kiedy człowiek uczy się lepiej grać słuchając gry swego nauczyciela i rozmawiając z nim o wykonaniu utworu. Kiedy to już nastąpi i nauczyciele będą mogli się uczyć od najlepszych nauczycieli w kraju czy na świecie, tak jak muzyk mógłby uczyć się od Yashy Heifetza czy Paderewskiego, wówczas praktyczne umiejętności będą się zwiększać z dekady na dekadę.

Dowiedziałem się zdumiewającej rzeczy. W muzyce jest obecnie moda na wykonywanie utworów na oryginalnych instrumentach, więc jeśli gra się symfonię Mozarta, to gra się ją na instrumentach z epoki Mozarta. Muzycy natrafili tu na pewien problem. Dzisiejsi muzycy są technicznie za dobrzy. Wykonanie nie jest autentyczne, gdyż nie mamy muzyków na tyle źle wyszkolonych, by grali tak jak grano w czasach Mozarta. Jeśli to samo zjawisko wystąpi w nauczaniu, za sto lat jakość nauczania będzie niewiarygodnie wysoka w porównaniu z tym co obserwujemy dziś, wszystko jedno w którym kraju.

Badania edukacyjne, rzeczywiste podstawowe badania tego jak ludzie się uczą, są kolejnym składnikiem ciągłego doskonalenia. Wszystko to ruszy z miejsca, gdy nastąpi zmiana paradygmatu, na sposób kopernikański. Mógłbym opowiedzieć także o czwartym składniku, ale trzy wystarczą.

**ZGM** – Czy zgodzi się Pan, że wielkie sukcesy nauczania japońskiego i formalnego, elitarnego kształcenia europejskiego osiągnano w znacznym stopniu dzięki pozaszkolnej wytężonej pracy uczniów?

**KW** – Tak. O ile wiem, jest tego dużo. Najlepszy dowód, że kiedy chodziłem do szkoły w Anglii, mój brat, cztery lata młodszy, był w tej szkole bardzo nieszcześliwy. Musiał wkuwać na pamięć wszystkich królów Anglii i liczyć w funtach,



szylingach i pensach. Ja miałem dużą przyjemność z greki, a on był w najgorszym wieku, by być w angielskiej szkole. Oczywiście jedno takie doświadczenie nie pokazuje, jaka jest typowa sytuacja, ale nie widziałem dowodów na to, że nie polega ona na wkuwaniu, zwłaszcza w przypadku uczniów wybierających się na studia. Istotne jest to, czy możemy stworzyć ten sam poziom wyęźnionej pracy w uczeniu się zespołowym bez wkuwania. Moja odpowiedź brzmi: zdecydowanie tak. Wchodzi tu jednak w grę praca wysokiej jakości. Wiele dyskutuje się na ten temat w Stanach. Pojęcie to wymyślono chyba w Czechosłowacji, w zakładach Baty, produkujących buty. Sama idea polega na tym, że ludzie będą pracować bardzo ciężko, jeśli zgadzają się co do celów wykonywanej pracy, i jeśli mają dużo do powiedzenia, co trzeba robić by osiągnąć ten cel, jeśli jest wszystko dla nich sensowne i zrozumiałe i wszyscy razem podejmują szczegółowe decyzje. Jest to duże uproszczenie pracy wysokiej jakości. Gdyby zastosować je w szkole, znaczyłoby to, że na początku roku nauczyciel i uczniowie wspólnie ustalają, jakie są ich cele w nadchodzącym roku, jaką drogą dojdą do celu, i w jaki sposób klasa ma pracować, by ten cel osiągnąć. Dobrze, jeśli zespół nauczycieli ma tych samych uczniów przez kilka lat, bo nie muszą wtedy co roku powtarzać tej operacji. Gdy taka sytuacja zaistnieje, wtedy uczniowie sami mogą oceniać własne postępy, i ocena przestanie być czymś co jest w wyłącznej gestii nauczyciela. Swoją drogą najlepiej, żeby wszelkich ocen dokonywał ktoś z zewnątrz, żeby nauczyciel nie był oddzielony od uczniów koniecznością oceniania. Uczniowie będą wtedy pracować bardzo ciężko. Stevenson i Stigler przeprowadzili ciekawy eksperyment opisany w ich książce [2]. Miał on pomóc ujawnić kontrast między nauczaniem w Japonii i USA, gdyż autorzy wiedzieli, że Japończycy zachęcali uczniów do wysiłku, a Amerykanie mówili tylko: „No, jeśli nie idzie ci to łatwo, znaczy, że nie jesteś uzdolniony, nie martw się i po prostu zostaw to”. Stevenson i Stigler wybrali celowo zadanie z matematyki odpowiadające poziomowi badanych uczniów, które nie miało rozwiązania. Dali je uczniom japońskim i amerykańskim i kazali rozwiązywać je przez godzinę, żeby zobaczyć jak daleko zaszli jedni i drudzy. Uczniowie japońscy odmówili przerwania pracy. Rozwiązywali godzinę, trzy, w końcu trzeba im było odebrać zadanie siłą.

**ZGM** – Tak, mogę to sobie łatwo wyobrazić. A co z Amerykanami?

**KW** – Amerykanie oczywiście poddali się po godzinie. W odpowiednich okolicznościach można sprawić, że uczniowie będą pracować bardzo ciężko i z przyjemnością. Teraz wiem, głównie z literatury dotyczącej nauk społecznych, że to co robimy z ludźmi jest szalone. Sadzamy ich przed telewizorem, spędzają tam cały wolny czas, bo nie mają nic ciekawego do roboty, i są coraz bardziej niezadowoleni. Natomiast gdy ludzie uczą się jak organizować szkołę, fabrykę czy sklepik – problem znika; gdy menedżer czy nauczyciel wie co robić, wszyscy są

zajęci. W istocie trudno ich wygonić do domu. Trzeba przeszkolić rodziców, żeby wiedzieli, jak zorganizować sprzyjające otoczenie w domu, tak aby wszyscy lubili w domu pracować. W USA mamy ogromny procent rozwodów: 30 do 50% wszystkich małżeństw kończy się rozwodem. O ile wiem, powodem jest to, że nikt nie jest przeszkolony, jak organizować rodzinę, a to musi być organizacja. Skoro ludzie nie wiedzą jak to robić, nie potrafią pokonywać problemów. Jestem zdumiony, że tak jest.

**ZGM** – To nie takie proste, te rzeczy wymagają także kompromisu, a nie tylko organizacji.

**KW** – Nie, kiedy mówię o organizacji, mam na myśli wszystko, co wchodzi w grę gdy ludzie żyją razem, jak zawsze, gdy pracuje się w grupie. Można to nazwać jak się chce, ale czy rozumie Pani o czym mówię?

**ZGM** – Rozumiem, ale jednak się z tym nie zgadzam.

**KW** – Chcę jedynie powiedzieć, na podstawie tego co widziałem w programach zespołowego uczenia, że możemy znacznie lepiej przygotować młodych ludzi. Mówię o USA, nie znam tutejszej sytuacji, więc nie będę się spierał. Ale wiem na pewno, że w USA trudności biorą się stąd, że rodzice nie uczą dzieci radzenia sobie z problemami powstającymi w rodzinie. Wiem to z własnego doświadczenia. Moi rodzice nie przekazali mi takich umiejętności, sami zresztą też ich nie posiadali. Wszyscy moi krewni narzekali, że tak szybko przeszedłem przez szkołę, że nie zdobyłem ogłady towarzyskiej. Gdybym się uczył razem z dziećmi w moim wieku, byłbym skautem i wszystkiego bym się nauczył. Moim zdaniem nie mieli racji. Gdyby szkoła była tak zorganizowana, żeby uczniowie musieli razem pracować, prowadzeni przez nauczyciela, gdyby mogli omawiać problemy wspólnej pracy, a to właśnie się robi w zespołowym uczeniu, uczniowie potrafiliby rozmawiać z kolegami o swoich problemach w grupie i robiliby to coraz lepiej. Wystarczy dać im kilka wskazówek i robią to bardzo chętnie. Gdyby mieli w tym dziesięcioletnią praktykę, gwarantuję, że procent rozwodów by się zmniejszył. Nie znikłby całkiem, gdyż ludzie zawsze popełniają błędy.

**MS** – Jakie są Pana zdaniem ograniczenia zorganizowanej pomocy koleżeńskie (rówieśniczej)?

**KW** – Po pierwsze, są pewne ograniczenia praktyczne; istnieją książki, w których opisano badania nad programem pomocy rówieśniczej. W każdym przypadku program funkcjonował dobrze, ale został zarzucony. Przyczyna przerwania programu była zawsze taka sama. Jakies problemy logistyczne. Zawsze trzeba było przewozić dzieci z miejsca na miejsce, więc nie było ich w klasie, albo pojawiał się nowy dyrektor i mówił „takich rzeczy się u nas nie robi”. Żadna z przyczyn nie miała nic wspólnego z dobrym czy złym funkcjonowaniem programu. Jest też ja-

sne, że najlepszym środowiskiem dla pomocy koleżeńskiej są klasy łączone. Przez wiele lat mieliśmy małe, wiejskie szkolki, w których uczniowie z sześciu oddziałów uczyli się w jednej izbie. Chodziłem przez trzy lata do takiej szkoły i gdyby nauczyciel wiedział co robić, a to było rzadkością, namówiłby starszych uczniów do uczenia młodszych, gdyż był to jedyny sposób, aby coś osiągnąć. Wszystko to było nieformalne, bo nauczycieli nie szkolono do takiej sytuacji. Jest jasne, że moja nauczycielka z pierwszych trzech klas nie wiedziała jak to robić. Nie miałbym takich kiepskich wspomnień z pierwszych trzech klas, gdybym uczył młodsze dzieci. Takie uczenie ma bardzo mało ujemnych stron, jeśli tylko administracja jest sensownie zorganizowana.

Inny problem, który się zawsze przytacza, to fakt, że uczniowie nie są dostatecznie przeszkoleni do pracy z młodszymi dziećmi. Oczywiście im mniej uczniowie wiedzą, na czym polega pomoc koleżeńska, tym bardziej wątpliwe są jej wyniki.

ZGM – Gdy mówił Pan o przeszkoleniu, miał Pan zapewne na myśli umiejętność motywacji uczniów, bo jeśli Pana zdaniem jest to tylko problem logistyczny, to da się go rozwiązać. Moim zdaniem to nie jest jednak takie łatwe. Motywacji brak obydwu stronom: lepszym uczniom, którzy uczą, i gorszym uczniom, którzy nie są zainteresowani zwiększaniem swojej wiedzy. Więc współpraca się załamuje nie z powodów logistycznych, ale z braku zainteresowania i motywacji. Mówię to z własnego doświadczenia.

KW – Opowiem teraz ciekawą historyjkę, którą usłyszałem od byłego gubernatora stanu Ohio. Jako gubernator musiał on pełnić wiele honorowych funkcji i uczestniczyć w rozmaitych uroczystościach, najczęściej w rozdawaniu dyplomów ukończenia szkoły średniej. Tak się nimi zmęczył, że wyraził chęć pójścia na zakończenie programu *Head Start* dla przedszkolaków. Znalaziono taką uroczystość, wybrał się na nią i zauważył na widowni czterech nastolatków. Spytał więc, czy są członkami rodzin małuchów. Okazało się, że to byli tamtejsi nauczyciele czytania. Otóż jedna z nauczycielek w sąsiedniej szkole średniej zauważyła tę czwórkę siedzącą stale z tyłu klasy; byli oni zapóźnieni w czytaniu o trzy klasy i sprawiali tylko kłopot. Nauczycielce się to w końcu sprzykrzyło, zapowiedziała więc każdemu z nich, że go obleje, choć skłonna będzie postawić pozytywną ocenę, jeśli poświęci pewien czas jako nauczyciel czytania właśnie w programie *Head Start*. Rozrabiacze nie byli zachwyceni. Praca z małymi dziećmi była ostatnią rzeczą, na którą mieli ochotę. Ale nic im innego nie pozostawało, poszli więc zająć się uczeniem malców. Dostali najprostsze teksty, które mogli sami przeczytać, bo przecież to było przedszkole, ale musieli jednak popracować i nauczyć się, jak wyjaśniać dzieciom o co chodzi. Nagle się okazało, że w oczach dzieci są bohaterami. Przedszkolaki uznały, że oni są wspaniali, starali się więc jeszcze bardziej. A potem

MS – Czy mógłby Pan wymienić zasadnicze punkty swego paradygmatu edukacyjnego? A może znajdziemy je w Pańskiej książce [1]?

KW – Nie można znaleźć istoty paradygmatu w książce, bo książka musi mieć jeden temat. A tematem tej książki jest konieczność przebudowy w systemie nauczania, która ma być procesem ciągłych ulepszeń. We wszystkim co napisałem jest mowa o tej przebudowie. I o tym jest książka. Ale nie można zamknąć w książce całości paradygmatu. Tego się nie da zrobić. Paradygmat składa się z różnych części; jedna z nich mówi, że konieczny jest proces stałego, ciągłego doskonalenia. Mogę wskazać cztery takie procesy, które muszą zachodzić jednocześnie. Musimy mieć przebudowę, a to oznacza przebudowę programów nauczania, przebudowę materiałów, przebudowę sposobu kontroli wiadomości itd. Trzeba oceniać skuteczność programów, potem je przebudować, znowu ocenić i znowu przebudować. Nauczyciele muszą zacząć się uczyć jedni od drugich. Muszą odbywać się lekcje pokazowe, czy inaczej mówiąc koleżeńskie, na których nauczyciele uczą się jedni od drugich podczas prawdziwego procesu nauczania. To tak jak z lekcją muzyki, kiedy człowiek uczy się lepiej grać słuchając gry swego nauczyciela i rozmawiając z nim o wykonaniu utworu. Kiedy to już nastąpi i nauczyciele będą mogli się uczyć od najlepszych nauczycieli w kraju czy na świecie, tak jak muzyk mógłby uczyć się od Yashy Heifetza czy Paderewskiego, wówczas praktyczne umiejętności będą się zwiększać z dekady na dekadę.

Dowiedziałem się zdumiewającej rzeczy. W muzyce jest obecnie moda na wykonywanie utworów na oryginalnych instrumentach, więc jeśli gra się symfonię Mozarta, to gra się ją na instrumentach z epoki Mozarta. Muzycy natrafili tu na pewien problem. Dzisiejsi muzycy są technicznie za dobrzy. Wykonanie nie jest autentyczne, gdyż nie mamy muzyków na tyle źle wyszkolonych, by grali tak jak grano w czasach Mozarta. Jeśli to samo zjawisko wystąpi w nauczaniu, za sto lat jakość nauczania będzie niewiarygodnie wysoka w porównaniu z tym co obserwujemy dziś, wszystko jedno w którym kraju.

Badania edukacyjne, rzeczywiste podstawowe badania tego jak ludzie się uczą, są kolejnym składnikiem ciągłego doskonalenia. Wszystko to ruszy z miejsca, gdy nastąpi zmiana paradygmatu, na sposób kopernikański. Mógłbym opowiedzieć także o czwartym składniku, ale trzy wystarczą.

ZGM – Czy zgodzi się Pan, że wielkie sukcesy nauczania japońskiego i formalnego, elitarnego kształcenia europejskiego osiągnano w znacznym stopniu dzięki pozaszkolnej wytężonej pracy uczniów?

KW – Tak. O ile wiem, jest tego dużo. Najlepszy dowód, że kiedy chodziłem do szkoły w Anglii, mój brat, cztery lata młodszy, był w tej szkole bardzo niešťczęśliwy. Musiał wkuwać na pamięć wszystkich królów Anglii i liczyć w funtach,

rywalizacji. Zawsze ktoś wymyśli jak coś trzeba zrobić, a to zmusi wszystkich do robienia tego samego. Z tego powodu w moim obrazie ludzie, którzy dokonują przebudowy, robią to na wolnym rynku. Po prostu sprzedają swoje usługi szkołom.

**ZGM** – Jakie przesłanie chciałby Pan przekazać polskim nauczycielom?

**KW** – Moje przesłanie jest następujące: w moich rozmowach z nauczycielami wielkie wrażenie zrobiło na mnie ich zaangażowanie, wysiłki, by mieć osiągnięcia w pracy z uczniami, wysiłki w rozwiązywaniu problemów, które stawia społeczeństwo. Nie spotkałem oczywiście tylu polskich nauczycieli co amerykańskich, ale wiem, że mogę przekazać poczucie wdzięczności i podziwu dla polskiej społeczności nauczycielskiej, gdyż z pewnością na nie zasługuje. Mam nadzieję, że polscy nauczyciele znajdą sposób, by wspólnie przeprowadzić reformę w Polsce. Oczywiście we współpracy z uczelniami, ale pamiętajmy, że trzeba też przeszkolić pracowników uczelni, żeby potrafili z nauczycielami pracować. Mam nadzieję, że za życia większości nauczycieli rozpocznie się ogólnoświatowy ruch profesjonalizacji nauczania, i że każdy polski nauczyciel będzie mógł w nim uczestniczyć.

### Literatura

- [1] K.G. Wilson, B. Daviss, *Quantum Learning* (Hoyt, New York 1994).
- [2] H.W. Stevenson, J.W. Stigler, *The learning gap: why our schools are failing and what we can learn from Japanese and Chinese education* (Summit, New York 1992).

## ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH

**Henryk Szydłowski**

*Institut Fizyki  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza  
Poznań*

### Fizyczne laboratorium mikrokomputerowe

#### Microcomputer based physics laboratory

*Abstract:* The Physics Microcomputer Based Laboratory organized at the Institute of Physics, Adam Mickiewicz University in Poznań (AMU) is described. The background of this laboratory and the first equipment units were arranged within the MAPETT-TEMPUS Project in 1991-94. Experiments in mechanics, acoustics, electricity, magnetism and optics are presented. Short discussion of advantages and disadvantages of MBL and its place in physics study at AMU is given.

#### 1. Wprowadzenie

Pracę nad wykorzystaniem mikrokomputera w laboratoriach fizycznych rozpoczęliśmy od chwili, gdy na rynku stał się dostępny mikrokomputer ZX81. Jednak ze względu na brak środków dopiero w 1990 r. udało nam się stworzyć pierwsze stanowisko pomiarowe, w którym mikrokomputer jest stosowany do pomiaru i opracowania wyników [1]. Istotny postęp w tej dziedzinie przyniosła realizacja projektu MAPETT-TEMPUS w latach 1991-94, w ramach którego dokonaliśmy przeniesienia do Polski najnowszych osiągnięć technicznych naszych współkoodynatorów (w ramach programu TEMPUS) z dwóch czołowych ośrodków europejskich, Uniwersytetu w Amsterdamie (dr A.L. Ellermeijer [2]) i Uniwersytetu w

Kilonii (prof. R. Lincke [3]). Na tej podstawie i przy bardzo dużym wsparciu naszego Uniwersytetu, w 1994 r. stworzyliśmy Fizyczne Laboratorium Mikrokomputerowe (FiLaMi) z 24 stanowiskami pomiarowymi. Doboru tematyki doświadczeń dokonaliśmy sami, najczęściej spośród doświadczeń, które tradycyjnie wykonuje się w studenckich pracowniach fizycznych I uniwersytetów i politechnik.

Nowość FiLaMi polega na zastąpieniu zwykłych przyrządów pomiarowych mikrokomputerem, co z reguły stwarza zupełnie nowe możliwości eksperymentalne. Doświadczenia wykorzystujące sprzęt holenderski tworzą od podstaw [4], natomiast doświadczenia przy użyciu sprzętu kilońskiego stanowią modyfikację doświadczeń omawianych przez Linckego [3]. Dokonaliśmy niezbędnych tłumaczeń programów [5,6], opracowaliśmy materiały dla nauczycieli [7,8] i dla studentów [9].

Dla ścisłości dodać należy, że projekt MAPETT (*Microcomputer Based Laboratory Applied in Physics Education and Teacher Training*), zgodnie ze swoją nazwą, nie ograniczał się do tworzenia FiLaMi, lecz również wzbogacił Pracownię Dydaktyki Fizyki naszego Uniwersytetu oraz tzw. „uniwersytetów rezonujących” (Gdańsk, Katowice, Kraków, Opole, Szczecin, Warszawa, Toruń, Zielona Góra). Wiele uwagi poświęciliśmy wprowadzaniu mikrokomputerów do szkolnego nauczania fizyki. W tym celu wyposażyliśmy 10 liceów – po jednym w miastach stanowiących siedziby uniwersytetów rezonujących.

Stosowany przez nas termin „fizyczne laboratorium mikrokomputerowe” obejmuje pewną część tego, co w języku angielskim nosi nazwę *Microcomputer Based Laboratory* (MBL). MBL jest pojęciem szerszym i obejmuje zastosowanie mikrokomputera do wszelkiego typu pomiarów, sterowania i regulacji, a więc na terenie szkoły znajduje zastosowanie w nauczaniu fizyki, chemii, biologii, techniki, automatyki, ochrony środowiska itp. W FiLaMi mikrokomputer jest stosowany głównie jako bardzo uniwersalny przyrząd pomiarowy, który równocześnie służy do zapamiętania i przetwarzania wyników pomiarowych i ich przedstawienia graficznego. W niektórych doświadczeniach korzysta się również ze sterowania i regulacji. W polskiej literaturze pedagogicznej stosuje się termin „komputerowe wspomaganie eksperymentu fizycznego”, który dobrze precyzuje rolę mikrokomputera: służy on do wspomagania, a nie do zastępowania czy symulowania eksperymentu.

## 2. Rola mikrokomputera i oprogramowania w FiLaMi

Na stanowisko pomiarowe w FiLaMi składa się: zestaw przyrządów pomiarowych, czujniki, zestaw mikrokomputerowy oraz oprogramowanie. Stosuje się zestawy eksperymentalne znane z klasycznej pracowni, np. tor powietrzny, elementy

radiotechniczne, zestaw optyczny do dyfrakcji światła itp. Zadaniem czujników jest zamiana sygnału mierzonego na sygnał elektryczny. Rolę taką może spełniać: potencjometr, fototranzystor, mikrofon, czujnik Halla itp.

W skład zestawu mikrokomputerowego wchodzi sam mikrokomputer zaopatrzone w klawiaturę, monitor, drukarkę i w interfejs, który zamienia analogowy sygnał napięcia na sygnał cyfrowy i kieruje sygnały do odpowiednich komórek pamięci komputera. Do pomiarów czasu można by wykorzystać własny oscylator („zegar”) komputera, jednak w celu uniezależnienia się od jego częstości (innej dla każdego komputera) stosuje się oddzielny oscylator wbudowany w interfejs. W FiLaMi stosujemy następujące rodzaje interfejsów: UIA oraz UIB rozprowadzane przez fundację CMI przy Uniwersytecie w Amsterdamie, interfejsy skonstruowane przez prof. Linckego produkowane przez firmę NEVA w Niemczech, oraz interfejsy własnej konstrukcji.

Interfejsy są w zasadzie budowane w postaci oddzielnej karty wprowadzanej do komputera. Natomiast do przyłączania sygnałów mierzonych służy tablica rozdzielcza przyłączana do wejścia karty. Tablice rozdzielcze mają 2 – 4 wyjścia analogowe i pozwalają na równoległe wykonywanie pomiarów 1 – 4 wielkości fizycznych. Na tablicy rozdzielczej interfejsu jest wyprowadzone napięcie stałe 5 V lub napięcie regulowane w granicach (0 – 5) V, którego źródłem jest zasilacz komputera. Są również wyjścia cyfrowe.

Mikrokomputer wyposażony w interfejs właściwie mierzy tylko napięcie, podobnie jak to czyni woltomierz cyfrowy. Inne wielkości można mierzyć pośrednio. I tak np. w celu wykonania pomiaru natężenia prądu włączamy w obwód opornik o małym lecz znanym oporze elektrycznym  $R_w$  (opornik wzorcowy) i mierzymy spadek napięcia  $U_w$  na tym oporniku. Zgodnie z prawem Ohma natężenie prądu wyraża się wzorem  $I = U_w/R_w$ . Zazwyczaj obliczenia wykonuje komputer.

W zasadzie stosujemy dwa rodzaje programów komputerowych. Jeden z nich, o nazwie IP-COACH jest programem uniwersalnym, a więc nadającym się do wykonywania wszystkich pomiarów, przetwarzania wyników, ich przedstawienia graficznego i interpretacji teoretycznej. Jest to program bardzo rozgałęziony i stanowi „środowisko otwarte”, to znaczy umożliwia realizację bardzo wielu zastosowań, a o sposobie wykorzystania decyduje sam użytkownik. Obrazowo można powiedzieć, że użytkownik, korzystając z „cegiełek” programu może tworzyć własną „budowlę”. Drugi rodzaj stanowią programy specjalne, do których należą programy Linckego [3]. Niektóre z nich mogą być stosowane w wielu doświadczeniach jak na przykład program „Oscyloskop z pamięcią” (*Speicher*), który może zastąpić rzeczywisty oscyloskop z pamięcią. Inne stosowane są do konkretnego doświadczenia lub obliczeń.

Z reguły programy pozwalają powtarzać pomiary w regularnych odstępach



czasu, zaprogramowanych przez eksperymentatora, a tym samym badać przebieg zjawisk w czasie. Wyniki można przechowywać w pamięci komputera lub jako oddzielne pliki na dyskietkach.

### 3. Doświadczenia z mechaniki, akustyki i ciepła

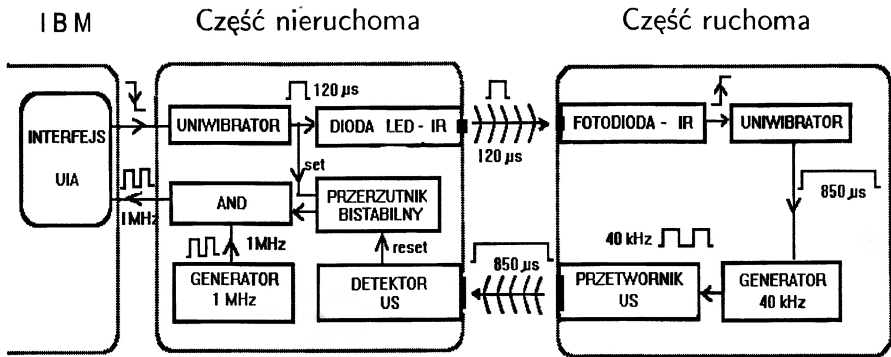
W Fizycznym Laboratorium Mikrokomputerowym wprowadzono następujące doświadczenia:

1. Badanie ruchu na torze powietrznym [7,9,10].
2. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego [3,10].
3. Dynamiczny pomiar siły; wyznaczanie popędu siły i zmiany pędu [3,12].
4. Badanie ruchu wahadła matematycznego [3].
5. Badanie drgań tłumionych [3,10].
6. Badanie rezonansu mechanicznego [3,10].
7. Wyznaczanie prędkości dźwięku [3,10].
8. Badanie dudnień [3,11].
9. Badanie zjawiska rezonansu akustycznego [10].
10. Badanie przewodnictwa cieplnego [1,9].

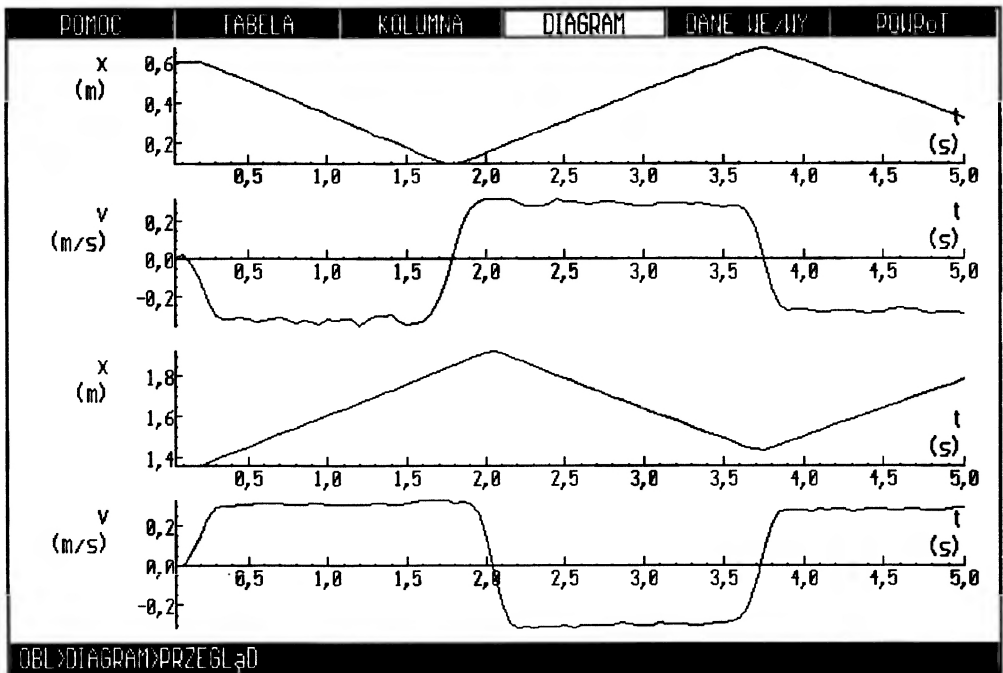
Omówimy krótko trzy przykładowe doświadczenia.

#### 3.1. Doświadczenia na torze powietrznym [7,9,10,13]

Doświadczenie bardzo dobrze ilustruje możliwości eksperymentów w zakresie kinematyki i dynamiki. Wykonanie szybkich pomiarów ruchu umożliwia ultradźwiękowy czujnik położenia. Składa się on z dwóch części (rys. 1): nieruchomej i ruchomej, którą mocujemy na obiekcie poruszającym się. Zasada działania jest następująca. Na sygnał z komputera z części nieruchomej jest wysyłany sygnał świetlny (podczerwień) w kierunku części ruchomej i równocześnie rozpoczyna się pomiar czasu. Sygnał świetlny wyzwala sygnał ultradźwiękowy w części ruchomej. Detekcja sygnału ultradźwiękowego w części nieruchomej kończy pomiar czasu. Ponieważ prędkość światła jest o sześć rzędów wielkości większa od prędkości dźwięku, zmierzony czas jest w praktyce równy czasowi przelotu fali ultradźwiękowej. Znając tę prędkość można obliczyć odległość obydwu części, a więc odległość obiektu ruchomego (np. wózka na torze powietrznym) od części nieruchomej. Obliczenia wykonuje komputer. Zestaw pozwala mierzyć odległość w zakresie od 0.2 do 3 m z dokładnością do ok. 2 mm i powtarzać pomiary do 20 razy w sekundzie. Zastosowanie dwóch zestawów czujników pozwala badać równocześnie przebieg w czasie ruchu dwóch wózków. Wynik takich badań pokazano na rys. 2. Dodajmy, że dowolny z tych przebiegów, lub jego fragment można ba-



Rys. 1. Budowa ultradźwiękowego czujnika położenia



Rys. 2. Wykres wyników pomiaru prędkości i przyspieszenia dwóch równych, zderzających się wózków. Kolejne wykresy przedstawiają: położenie wózka 1, jego prędkość, położenie wózka 2, jego prędkość

dać oddzielnie, stosując inne części programu COACH. Zestaw pozwala wykonać następujące badania:

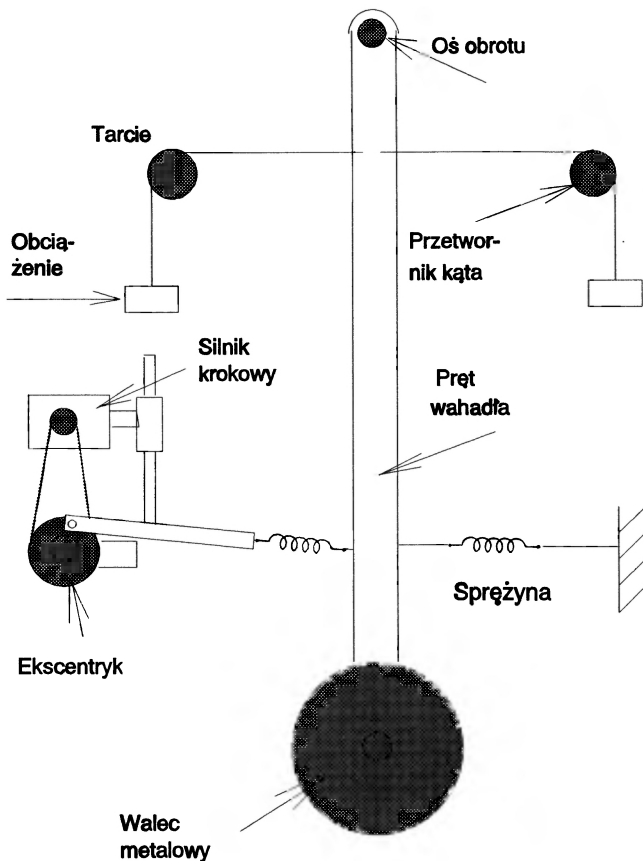
- badanie ruchu jednostajnego i zmiennego z możliwością dopasowania krzywej teoretycznej do wyniku doświadczalnego;

- sprawdzanie pierwszej i drugiej zasady dynamiki;
- badanie zasady zachowania energii kinetycznej, potencjalnej i sprężystej;
- sprawdzanie zasady zachowania pędu;
- modelowanie dowolnego z zaobserwowanych ruchów.

Zestaw daje możliwości znacznie przewyższające te, które dają inne metody badania ruchu. Wyniki czasowego przebiegu dowolnego ruchu otrzymuje się w ciągu kilku minut i w czasie ćwiczeń pozostaje bardzo dużo czasu na interpretację wyników i eksperymentowanie, np. badanie wpływu różnych parametrów na przebieg ruchu.

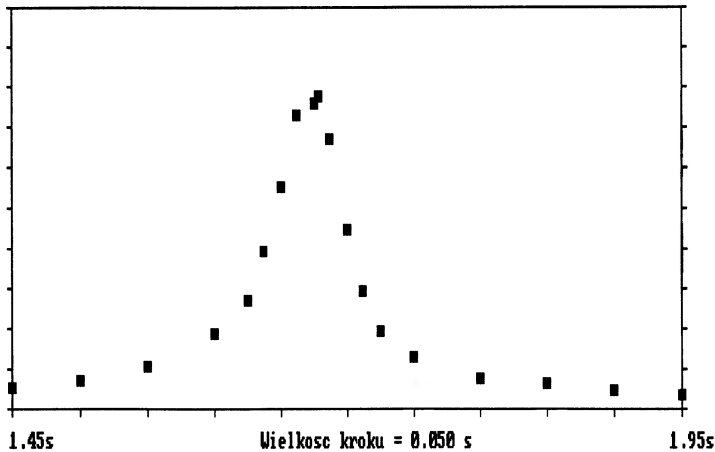
### 3.2. Badanie rezonansu mechanicznego [3,9,10]

W tym doświadczeniu komputer wykorzystuje się nie tylko do pomiarów, lecz również do sterowania. Zestaw doświadczalny pokazano na rys. 3. Obiektem



Rys. 3. Budowa wahadła fizycznego do badania rezonansu mechanicznego

drgającym jest wahadło fizyczne. Źródłem siły wymuszającej jest sterowany przez komputer silnik krokowy. Źródłem tłumienia jest tarcie nici o statyw oraz tarcie w potencjometrze zastosowanym jako przetwornik kąta wychylenia. Zastosowany program steruje częstością obrotów silnika krokowego, który jest źródłem siły wymuszającej. Student sam programuje zakres częstości silnika oraz liczbę punktów pomiarowych. Przy określonej częstości silnika obserwuje na ekranie przebieg drgań. Amplituda rośnie do pewnej wartości i kiedy się już ustali, naciśnięcie klawisza uruchamia jej pomiar i włączenie wyniku do tabeli. Po zatrzymaniu wahadła program uruchamia silnik z nową częstością. Pomiar powtarza się do chwili skompletowania wyników. Pomiedzy pomiarami można wywołać aktualny stan wykresu (patrz rys. 4). Po wykonaniu zaplanowanych pomiarów, można wykonać pomiary dla dodatkowych częstości, których wartości wprowadzamy przez klawiaturę. W wyniku otrzymujemy krzywą pokazaną na rys. 4.



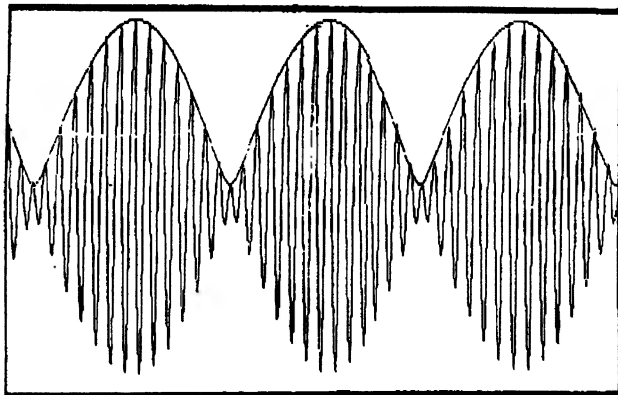
Rys. 4. Graficzny obraz wyników badania rezonansu mechanicznego

### 3.3. Badanie dudnień [3,11]

Doświadczenie jest ilustracją nowych możliwości, jakie zastosowanie komputera otwiera przed doświadczeniami nie wykonywanymi dotąd ze względu na prostotę. W klasycznych doświadczeniach akustycznych dudnienia wywołuje się za pomocą dwóch takich samych kamertonów (widełek stroikowych), z których jeden nieznacznie przestrajamy przez przytwierdzenie do jednego z ramion dodatkowej masy. Nakładanie się drgań obydwu kamertonów odbieramy jako dudnienia. W klasycznej pracowni możemy mierzyć częstość tych dudnień i znając częstość kamertonu nie przestrojonego obliczyć częstość przestrojonego.

Korzystając z zestawu mikrokomputerowego i mikrofonu jako czujnika dźwięku można wykonać następujące obserwacje, pomiary i obliczenia: zaobserwować przebieg drgań i zmierzyć częstotści każdego z kamertonów i dokonać rejestracji przebiegu dudnień; zarejestrować obraz dudnień; dopasować równanie obwiedni (rys. 5); wykonać analizę harmoniczną dudnień. Przykładowy wynik pokazano na rys. 6. Można badać różne modyfikacje tych zjawisk. Doświadczenie uczy nie tylko zjawisk akustycznych, lecz również analizy harmoniczej.

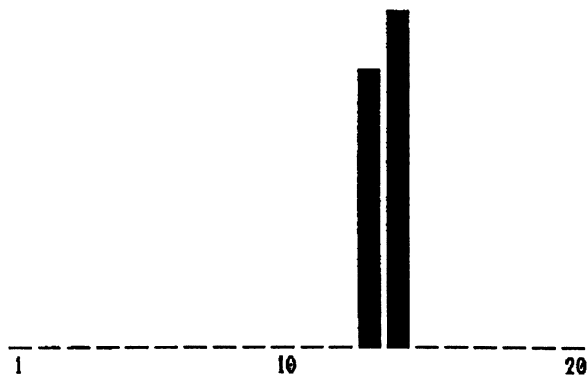
$$y(x) = 82 + \operatorname{sgn}(43 \times 43 + 35 \times 35 + 2 \times 43 \times 35 \times \cos((x+72)/32, 2))$$



Rys. 5. Dopasowanie obwiedni do wykresu dudnień

**Składowe Fouriera**

**F = 31.4 Hz**



Rys. 6. Wykres słupkowy wyniku analizy harmoniczej dudnień

#### 4. Doświadczenia z elektryczności, magnetyzmu i optyki

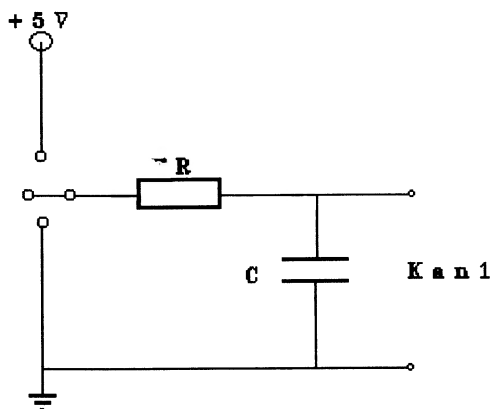
W FiLaMi znajdują się następujące doświadczenia:

1. Zależność oporu elektrycznego od temperatury [4,9,10].
2. Badanie zjawiska ładowania i rozładowania kondensatora [4,9,10].
3. Badanie charakterystyk diod i tranzystorów [4,9,10].
4. Badanie elementów optoelektronicznych [9,15].
5. Badanie zjawiska indukcji Faradaya [2-4,9].
6. Badanie zjawisk towarzyszących włączaniu i wyłączaniu cewki [3,9].
7. Opór kondensatora lub cewki w obwodzie prądu zmiennego [3,9].
8. Badanie rezonansu w obwodach elektrycznych [3,9,10].
9. Badanie rezonansu obwodów RLC [4,9,10].
10. Badanie histerezy ferrimagnetycznej [4,9,10].
11. Ugięcie światła na szczelinach [3,7-10].

Zalety doświadczeń elektrycznych FiLaMi najlepiej ilustruje kilka przykładowych doświadczeń.

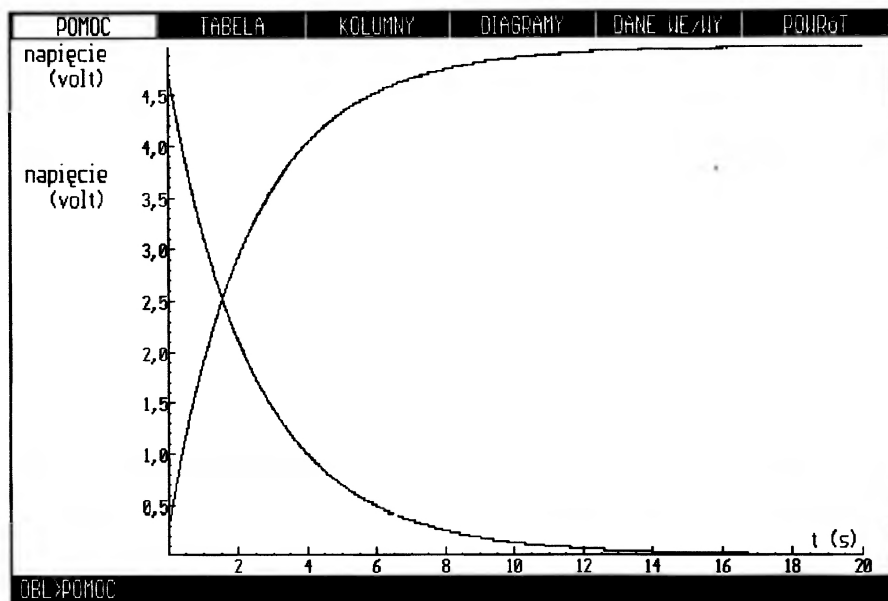
##### 4.1. Badanie zjawiska ładowania i rozładowania kondensatora [4,7-10]

Na tym przykładzie pokażemy nie tylko możliwości wykonania pomiarów, lecz również ich przetwarzania, modelowania i dopasowania krzywej teoretycznej. W najprostszym przypadku stosuje się układ szeregowo połączony opornika i kondensatora (rys. 7) i wykonuje pomiar napięcia na okładkach kondensatora w cza-



Rys. 7. Obwód elektryczny do badania krzywej ładowania i rozładowania kondensatora

się dobranym odpowiednio do stałej czasowej układu. Wykres stanowiący wynik pomiaru: krzywą ładowania i rozładowania pokazano na rys. 8. Uzyskany wynik



Rys. 8. Wyniki pomiaru krzywej ładowania i rozładowania kondensatora

można przybliżyć za pomocą krzywej wykładniczej (czego nie pokazujemy), albo przetworzyć w celu uzyskania linii prostej. Program IP-COACH zawiera arkusz kalkulacyjny pozwalający dla każdego punktu pomiarowego obliczyć  $\ln(U/U_0)$  i wynik przedstawić na wykresie (rys. 9). Wreszcie można wykonać modelowanie dynamiczne stosując następujący model (wartości w jednostkach SI):

Rozładowanie kondensatora

$$U := Q/C$$

$$I := U/R$$

$$dQ := Idt$$

$$Q := Q + dQ$$

$$t := t + dt$$

Warunki początkowe

$$C = 0.0047$$

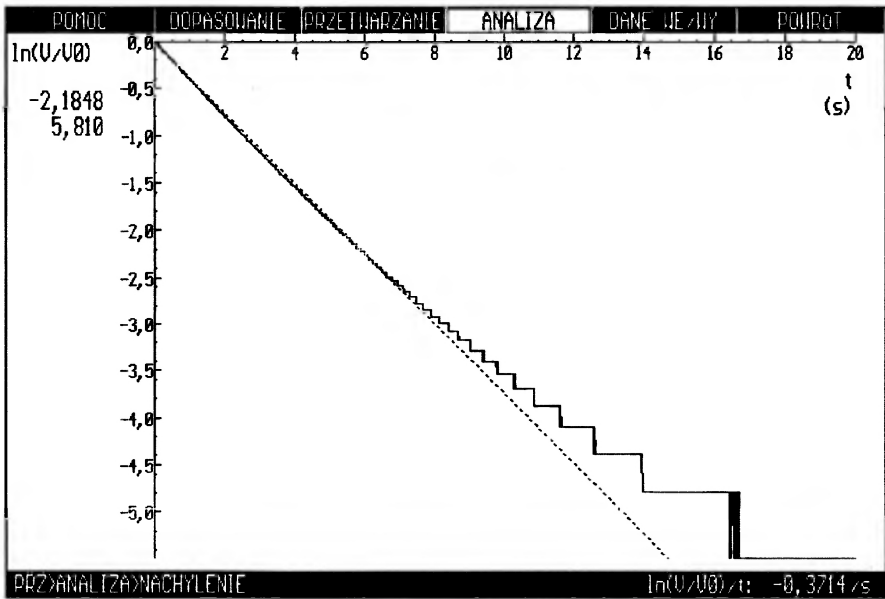
$$R = 390$$

$$U_0 = 4.75$$

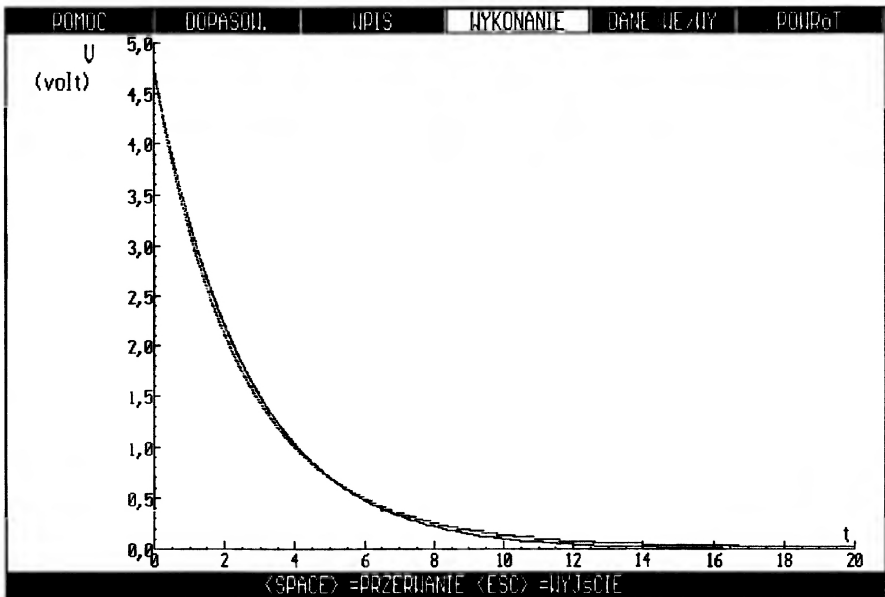
$$t = 0$$

$$dt = 0.01$$

Wynik modelowania można porównać z wynikiem doświadczalnym, co przykładowo pokazano na rys. 10. Warto zwrócić uwagę na doskonałą zgodność wyniku modelowania z wynikiem eksperymentu. Wyniki pomiarów i obliczeń otrzymuje się w bardzo krótkim czasie, co daje duże możliwości samodzielnego eksperymentowania.



Rys. 9. Wykres krzywej rozładowania w układzie półlogarytmicznym z dopasowaną prostą

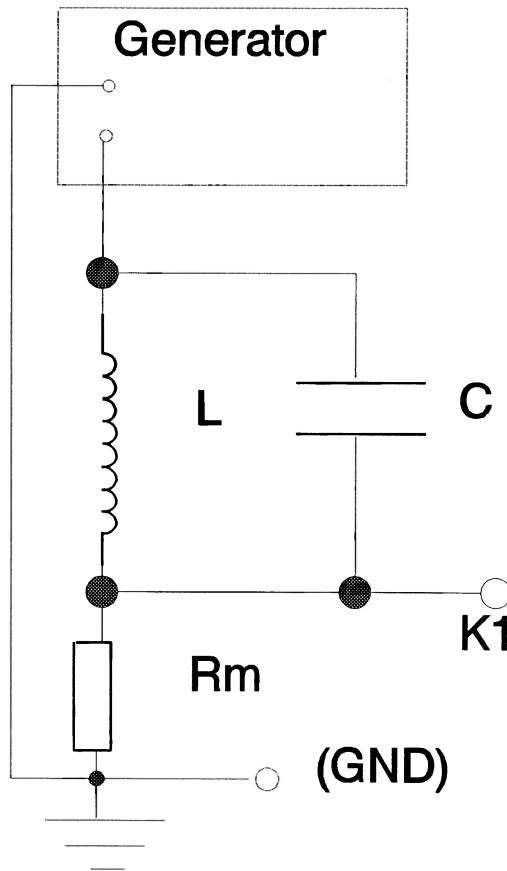


Rys. 10. Wykres wyników eksperymentalnych i modelowania krzywej rozładowania kondensatora

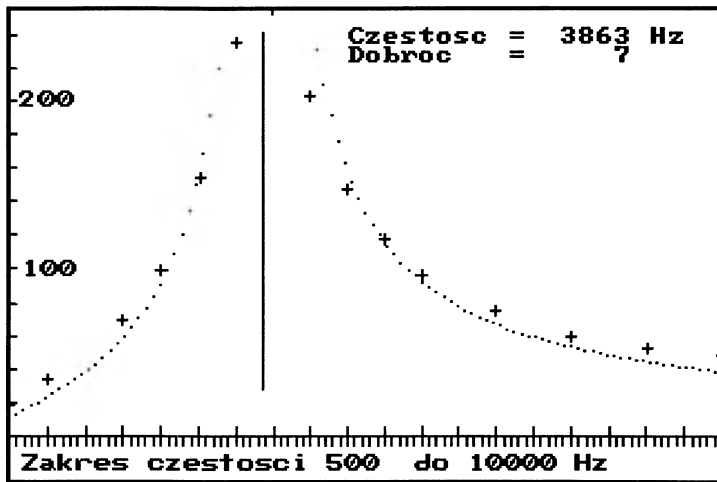


#### 4.2. Badanie rezonansu w obwodach elektrycznych [3,9,10]

Doświadczenie stanowi dobry przykład sprawdzania zgodności wyników doświadczalnych z teorią. Badanie można wykonać zarówno w obwodzie szeregowym jak i równoległym. Przedstawimy wyniki otrzymane w układzie równoległym (rys. 11). Wykorzystuje się kilka programów prof. Linckiego [3]. Program „*Frequenz*” pozwala wykonać systematyczne pomiary zależności amplitudy sygnału od częstotliwości; dla częstotliwości nastawianej na skali generatora program pozwala zmierzyć i włączyć do tabeli wyników amplitudę i dokładnie zmierzoną częstotliwość. Po skompletowaniu wyników przenosi się je w postaci pliku do programu LCR Reso, który pozwala porównać wyniki teoretyczne z doświadczalnymi. Przykładowe porównanie pokazano na rys. 12. Krzyżyki oznaczają punkty pomiarowe, a linia kropkowana krzywą teoretyczną.



Rys. 11. Obwód elektryczny do badania rezonansu w równoległym układzie LC

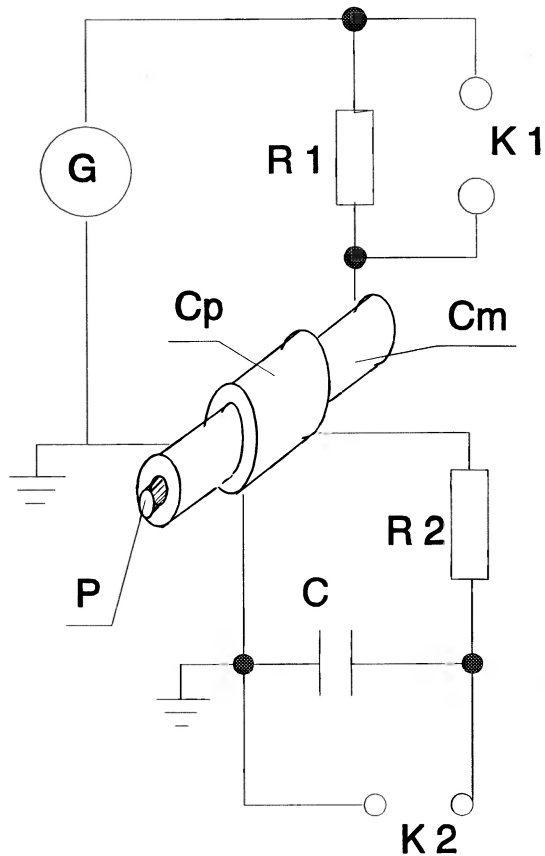


Rys. 12. Porównanie wyników badania krzywej rezonansu (krzyżyki) oraz dopasowanej krzywej teoretycznej

#### 4.3. Badanie histerezy magnetycznej [4,9,10]

W tym doświadczeniu komputer spełnia rolę dobrego ferrografu niedostępnego w pracowniach dydaktycznych. Pokazano również sposób kalibrowania wyników. Próbka P jest umieszczona w solenoidzie (cewce  $C_m$ ) wytwarzającej pole magnetyczne. Cewka jest zasilana z generatora niskiej częstotliwości G o dużej mocy (rys. 13). Natężenie prądu jest proporcjonalne do spadku napięcia na oporniku  $R_1$  i jest mierzone w kanale K1. W cewce pomiarowej  $C_p$  indukuje się sygnał proporcjonalny do prędkości zmiany strumienia magnetycznego. Po scałkowaniu tego sygnału otrzymuje się indukcję magnetyczną. W układzie pokazanym na rys. 13 zastosowano elektroniczny układ całkujący. Sygnał scałkowany, zbierany z okładek kondensatora C jest proporcjonalny do indukcji magnetycznej  $B$  w próbce i jest mierzony w kanale K2. Można sygnał indukowany rejestrować wprost i wykonać całkowanie za pomocą odpowiedniego programu COACH. W celu uzyskania wykresu we właściwych jednostkach wykonuje się kalibrację według wzorów  $H = N_m U / R_1 d W_1$ ,  $B = R_2 C U_C / N_p S W_2$ , w których zastosowaliśmy następujące oznaczenia:  $N_m$  – liczba zwojów cewki magnesującej,  $U$  – napięcie mierzone na oporniku  $R_1$ ,  $d$  – długość cewki magnesującej,  $U_C$  – napięcie mierzone na kondensatorze,  $R_2$  – opór opornika  $R_2$ ,  $C$  – pojemność kondensatora,  $S$  – powierzchnia przekroju próbki,  $N_p$  – liczba zwojów cewki pomiarowej.

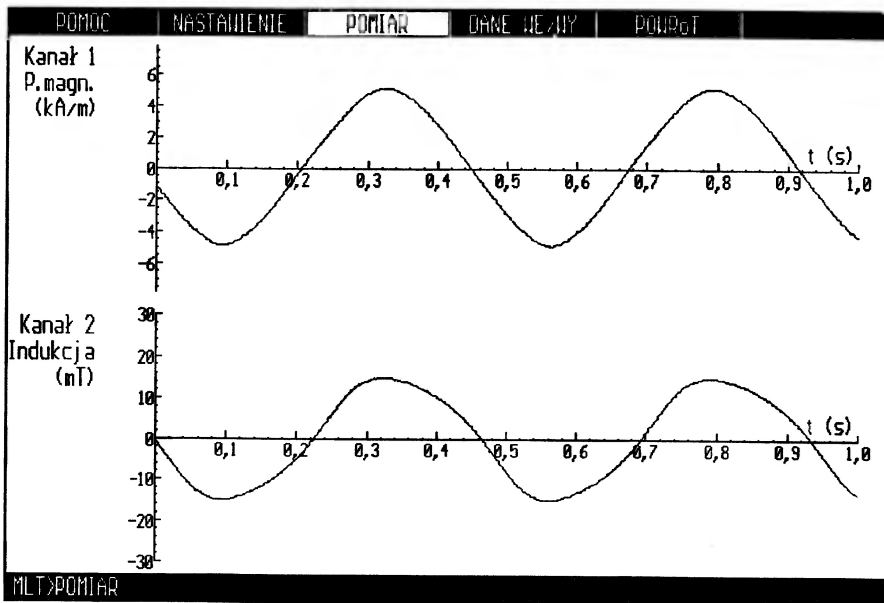
Bezpośrednie wyniki pomiarów pokazano na rys. 14. Po przetworzeniu otrzymuje się pętlę histerezy pokazaną na rys. 15. Można odczytać wartość koercji



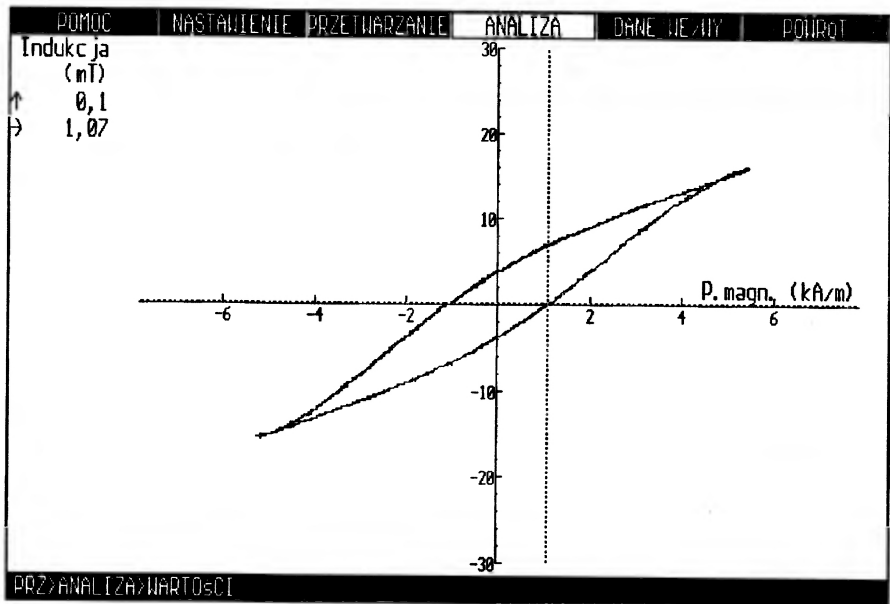
Rys. 13. Obwód do badania histerezy magnetycznej

(położenie pionowej linii przerywanej na rys. 15) i pozostałość magnetyczną, oraz obliczyć straty na histerezę równe polu powierzchni pętli. Zaleta metody polega na tym, że:

- Pozwala badać ilościowo przebieg pętli histerezy bez zastosowania specjalnych, trudno dostępnych i kłopotliwych w użyciu przyrządów (galwanometr balistyczny, strumieniometer lub ferrograf).
- Do wykonania pomiaru wystarczy bardzo krótki czas – kilka cykli stosowanej częstości rzędu 50 Hz. W tak krótkim czasie nie jest zauważalny efekt grzania próbki wskutek histerezy magnetycznej i można badać nawet lite materiały magnetycznie twarde.
- Pomiar wykonuje się w czasie rzędu minut i można je wielokrotnie powtarzać. O jakości zestawu świadczy fakt, że można go stosować do badań naukowych [16].



Rys. 14. Wyniki bezpośrednie sygnałów z obwodu (rys. 13) do badania histerezy



Rys. 15. Pętla histerezy magnetycznej otrzymana po przetworzeniu wyników pokazanych na rys. 14

## 5. FiLaMi w planie studiów fizyki

Zastosowanie mikrokomputera jako przyrządu pomiarowego daje wiele korzyści; zwrócimy uwagę na najważniejsze z nich.

– Komputer z interfejsem jest uniwersalnym przyrządem, który można zastosować do pomiaru niemal wszystkich wielkości fizycznych. Zestaw komputerowy pozwala wykonać wiele pomiarów w bardzo krótkim czasie. Na przykład, dowolny przebieg wykresu drogi w funkcji czasu można uzyskać w ciągu ok. 1 minuty, na co w pracowni klasycznej trzeba przynajmniej godziny pracy. Dzięki temu można poświęcić znacznie więcej czasu na prawdziwe eksperymentowanie („zabawę” eksperymentem), co sprzyja dogłębnemu poznaniu badanych zjawisk.

– Zastosowanie komputera pozwala na lepszą interpretację teoretyczną wyników. Na przykład pozwala przybliżać uzyskane krzywe krzywymi teoretycznymi, a w wielu doświadczeniach pozwala porównać własne wyniki z wynikami modelowanymi teoretycznie, a więc wprost z równań ruchu.

– Większą część interpretacji wyników można wykonać jeszcze w czasie ćwiczeń. Można wydrukować wyniki i wykresy, co pozwala zaoszczędzić wiele godzin pracy związanej z wykreślaniami.

Są również pewne trudności związane z wdrażaniem FiLaMi. Ich źródłem jest:

– Brak właściwego przygotowania studentów; większość z nich nie zna dostatecznie dobrze zasad działania komputera i interfejsu. Na usprawiedliwienie dodam, że w pracowni klasycznej też poważny odsetek studentów nie zna w zadowalającym stopniu zasad działania współczesnych przyrządów elektronicznych, np. woltomierza cyfrowego. Często mimo braku znajomości działania przyrządu można za jego pomocą wykonać poprawne pomiary. Potwierdza to fakt, że dzieci już w pierwszych latach nauki szkolnej posługują się poprawnie zegarkiem, mimo że na pewno nie znają jego działania.

– Pewną wadę posiada przygotowany przez nas skrypt [9]. Wbrew powszechnie przyjętej zasadzie, by proces nauczania upodobnić do procesu badania, podajemy dość ściśle opisy doświadczeń, ilustrowane wynikami, które student powinien otrzymać, co upodabnia instrukcję do książki kucharskiej. Tę wadę będzie można usunąć w chwili, gdy spowszednieje stosowanie komputera w pomiarach fizycznych, i gdy sztukę tę opanują po mistrzowsku instruktorzy.

W celu najlepszego wykorzystania zalet FiLaMi i zminimalizowania wpływu wad, dokonaliśmy zmian w planie studiów fizyki. Rewizję planu wymuszały również dwie inne przyczyny: upowszechnienie mikrokomputerów i obniżenie poziomu wykształcenia fizycznego absolwentów szkół średnich. Najczęściej w liceach

nie wykonuje się doświadczeń, a i pokazy należą do rzadkości. Jakkolwiek wielu studentów wyniosło pewną wiedzę informatyczną ze szkoły, a nawet jest grupa studentów bardzo zaawansowanych, to większość musi się tej sztuki uczyć od podstaw dopiero na studiach. Z tego powodu w UAM zestaw doświadczeń w Pracowni Fizycznej I rozszerzono o pewne bardzo proste eksperymenty, a kształcenie informatyczne rozpoczęto od pierwszego semestru.

Istotne cechy nowego planu to obowiązkowe kształcenie w zakresie informatyki przez pierwsze dwa semestry, rozszerzenie pracowni fizycznej I na semestr 1, w którym szczególnie nacisk położono na proste pomiary i metody obliczeń. Pracownia semestru 2 jest klasyczną pracownią fizyczną I. W planie semestru 3 jest pracownia elektroniki, a dopiero w semestrze 4 FiLaMi. Zatem studenci wykonujący doświadczenia FiLaMi są już przygotowani zarówno w zakresie informatyki, pomiarów fizycznych, metod ich opracowania jak i w zakresie elektroniki. Indywidualny wykaz doświadczeń poszczególnego studenta może zawierać powtórzenia pewnych tematów doświadczeń. Jest to wadą, lecz ma również zalety – utrwala i poszerza wiedzę, oraz pozwala pełniej docenić zalety FiLaMi.

## 6. Zakończenie

Zajęcia FiLaMi w zmniejszonym wymiarze (12 doświadczeń) prowadzimy już od trzech lat i z dotychczasowych doświadczeń oraz przeprowadzonych badań [4] wiemy, że studenci w olbrzymiej większości pozytywnie, a często bardzo entuzjastycznie, ustosunkowują się do FiLaMi. Cieszą się z tego, że mogą naprawdę eksperymentować i że nie muszą wykonywać żmudnych obliczeń i tracić czasu na wykreślanie. Również łatwo przyzwyczajają się do takiego laboratorium instruktorzy, którzy w codziennej pracy naukowej posługują się komputerami. Podstawową trudność stanowi konieczność stworzenia takiego laboratorium, gdyż wymaga to dużych nakładów finansowych. Ważną rolę spełnia dobre i uniwersalne oprogramowanie. W Polsce podejmowano wiele prób stworzenia czegoś w rodzaju naszego FiLaMi, lecz skoncentrowano się głównie na konstrukcji aparatury a zaniedbano oprogramowanie, co automatycznie skazało całe dzieło na niepowodzenie. Stosowane przez nas FiLaMi wprawdzie w znacznym stopniu bazuje na sprzęcie i oprogramowaniu stworzonym poza granicami, jednak sposób w jaki zostało wykorzystane jest oryginalny i w tej chwili pionierski nie tylko w Polsce. Poza tym jestem przekonany, że przy budowaniu wszystkiego od podstaw nie udałoby się stworzyć w tak krótkim czasie równie dobrego i taniego laboratorium.

Jest również pewnikiem, że nie ma odwrotu od stosowania mikrokomputerów w szkolnych i uniwersyteckich pracowniach fizycznych, oraz że tylko w fizyce można w pełni pokazać i wykorzystać uniwersalność i walory mikrokomputera.

Jako koordynator projektu MAPETT, w ramach którego powstały zręby FiLaMi, pragnę wyrazić serdeczne podziękowania za współpracę i pomoc wszystkim osobom, dzięki którym całkowita liczba publikacji, referatów i materiałów dydaktycznych związanych z projektem MAPETT przekroczyła liczbę 30.

## Literatura

- [1] H. Szydłowski, R. Smuszkiewicz, *Postępy Fizyki* **42**, 335 (1991).
- [2] A.L. Ellermeijer, *An Excursion into Interface Program COACH* (Centre for Microcomputer Applications, University of Amsterdam, Amsterdam 1992).
- [3] R. Lincke, *Loseblattsammlung – Physikalische Experimente mit PC's* (Christian Albrechts Universität, Kiel 1988).
- [4] G. Dudziak, *Nauczanie elektryczności i magnetyzmu w FiLaMi*, praca doktorska, Instytut Fizyki UAM, 1992.
- [5] *Podręcznik do programu IP-COACH, pomiary fizyczne z komputerem*, tłumaczenie materiałów Stichting CMA, Amsterdam 1990, tłum. M. Spsychalska, G. Dudziak (IF UAM, Poznań 1991).
- [6] *Podręcznik do programu IP-COACH, pomiary fizyczne z komputerem, cz. II*, tłumaczenie materiałów Stichting CMA, Amsterdam 1990, tłum. M. Spsychalska, G. Dudziak (IF UAM, Poznań 1993).
- [7] *Mikrokomputer w doświadczeniach fizycznych*, red. H. Szydłowski (IF UAM, Poznań 1993) [skrypt można otrzymać nieodpłatnie od autora].
- [8] *Microcomputer in Physics Experiments*, red. H. Szydłowski (Institute of Physics, A. Mickiewicz University, Poznań 1994).
- [9] *Fizyczne Laboratorium Mikrokomputerowe*, red. H. Szydłowski (IF UAM, Poznań 1994) [skrypt można otrzymać nieodpłatnie od autora].
- [10] H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna* (PWN, Warszawa 1994).
- [11] H. Szydłowski, *Pomiary fizyczne, podręcznik dla nauczycieli* (PWN, Warszawa 1977).
- [12] E. Kopczyńska, *Wykorzystanie mikrokomputera do wybranych doświadczeń z kinematyki i dynamiki*, praca magisterska ZNEF IF UAM, Poznań 1994.
- [13] A.L. Ellermeijer, *Computer Experiments on the topic of Motion* (University of Amsterdam, Amsterdam 1991).
- [14] S. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna, cz. I. Mechanika* (PWN, Warszawa 1972).
- [15] K. Podsadny, *Zastosowanie komputera do badania wybranych elementów optoelektrycznych*, praca magisterska ZNEF IF UAM, Poznań 1994.
- [16] I. Gościańska, informacja prywatna (1994).
- [17] *Materiały pomocnicze do komputerowych warsztatów fizycznych*, red. J. Turło (UMK, Toruń 1992).
- [18] *Doświadczenia fizyczne wspomagane komputerem*, red. J. Turło (IF UMK, Toruń 1993).
- [19] E. Mioduszevska, *Pomiary fizyczne z programem IP-Coach, cz. I* (IFD UG, 1992).
- [20] E. Mioduszevska, *Pomiary fizyczne z programem IP-Coach, cz. II* (IFD UG, 1993).
- [21] R. Lincke, *New Information Technology in Physics Teaching* (CAU, Kiel 1991) [Istnieje tłumaczenie polskie L. Wołejki].

## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

## Międzynarodowa Konferencja Magnetyzmu – ICM'94

W dniach 22–26 sierpnia 1994 odbyła się w Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie Międzynarodowa Konferencja Magnetyzmu – ICM'94 (International Conference on Magnetism). Konferencje z tej serii, organizowane co 3 lata pod auspicjami Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP), stanowią najpoważniejszy przegląd osiągnięć w dziedzinie fizyki magnetyzmu. Powierzenie organizacji obecnej, 13-tej z kolei Konferencji ICM Polakom stanowi niewątpliwym wyraz uznania dla osiągnięć polskiego środowiska fizyków zajmujących się magnetyzmem. Poprzednie konferencje z tej serii odbyły się w Kyoto (1982), San Francisco (1985), Paryżu (1988) i Edynburgu (1991).

Konferencja ICM'94 była dużym sukcesem jeśli chodzi o liczbę uczestników – wzięło w niej udział 1115 fizyków z 47 krajów. Największe grupy narodowościowe stanowili Japończycy (230 osób) i Polacy (178 osób). Pozostałe kraje były reprezentowane w następujący sposób: Niemcy (85), Wielka Brytania (80), Francja (76), Rosja (55), USA (53), Hiszpania (52), Ukraina (28), Czechy (27), Holandia (26), Słowacja (23), Włochy (21), Austria (19), Szwecja (16), Rumunia (13), Chiny (10), Brazylia, Dania i Portugalia – po 9 osób, Kanada, Indie i Tajwan – po 8 osób, Australia i Szwajcaria – po 7 osób, Izrael (6), Finlandia, Węgry, Korea, Wietnam – po 5 osób, Belgia (4), Argentyna, Bułgaria, Grecja, Irlandia – po 3 osoby, Białoruś, Jordania, RPA, Jugosławia – po 2 osoby oraz Azerbejdżan, Chile, Egipt, Meksyk, Mołdawia, Maroko, Arabia Saudyjska i Słowenia – po 1 przedstawicielu. Dzięki lokalizacji konferencji w Warszawie oraz przemianom politycznym ostatnich kilku lat, po raz pierwszy w konferencji ICM mogła uczestniczyć tak duża liczba naukowców z krajów centralnej i wschodniej Europy. Wielu uczestników z krajów byłego Związku Radzieckiego otrzymało specjalne dofinansowanie na ten cel z Fundacji Sorosa.

Organizacją Konferencji zajęły się trzy Instytuty Polskiej Akademii Nauk. Główny ciężar organizacyjny, w tym prowadzenie finansów i korespondencji, przyjął na siebie Instytut Fizyki Molekularnej w Poznaniu. Ze względu na to, że konferencja odbywała się w Warszawie, organizacja spraw lokalnych przypadła w udziale warszawskiemu Instytutowi Fizyki. Trud wydania materiałów konferencyjnych w *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* podjął wrocławski Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych im. W. Trzebiatowskiego. W recenzowaniu nadesłanych prac brali udział naukowcy z całego świata.

Zaszczytną rolę przewodniczącego Konferencji powierzył IUPAP prof. Januszowi Morkowskiemu (IFM PAN). Sekretarzem konferencji został doc. Stefan Krompiewski (IFM PAN), a przewodniczącym komitetu lokalnego prof. Henryk Szymczak (IF PAN). Wydawcą materiałów konferencyjnych był prof. Robert Troć (INTiBS).



Dzięki ogromnemu zaangażowaniu kolegów z Poznania organizacja tego ogromnego przedsięwzięcia była przeprowadzona bez zarzutu. Przy rejestracji uczestników uniknięto kolejek będących zmartwieniem wielu dużych konferencji. Pewnym utrudnieniem dla organizatorów i uczestników były polskie przepisy bankowe, które m.in. nie pozwalały na płacenie czekami podróżnymi, tak popularną formą zapłaty na Zachodzie.

Zgodnie z tradycją ICM tematyka naukowa obecnej konferencji była bardzo szeroka i reprezentowane były wszystkie kierunki magnetyzmu. Jak zwykle w przypadku konferencji ICM, główny nacisk położono na badania podstawowe. Do organizatorów napłynęło aż 2050 streszczeń prac, z czego przyjęto 1803. Po drobnych modyfikacjach programu, na konferencji przedstawiono ostatecznie 43 referaty na zaproszenie organizatorów, 194 komunikaty ustne oraz 1363 plakaty.

Pierwszy dzień konferencji przebiegał w Sali Kongresowej w formie obrad plenarnych. W imieniu Komitetu Organizacyjnego obrady otworzył prof. August Chełkowski, były marszałek senatu i honorowy przewodniczący ICM'94. W dalszej części ceremonii otwarcia krótkie przemówienia wygłosili dr Krzysztof Frąckowiak, sekretarz stanu w Komitecie Badań Naukowych, oraz prof. Józef Werle, wiceprzewodniczący IUPAP-u. Następnie prof. K.H.J. Buschow z Holandii, przewodniczący Komisji Magnetyzmu IUPAP, dokonał wręczenia nagrody ICM za najwybitniejsze osiągnięcia w dziedzinie magnetyzmu. Tegoroczną nagrodę otrzymali wspólnie prof. A. Fert z Francji i prof. P. Grünberg z Niemiec za prace w dziedzinie wielokrotnych warstw magnetycznych. Po ceremonii wręczenia nagród obaj laureaci wygłosili referaty na temat oddziaływań międzywarstwowych oraz gigantycznego magnetooporu obserwowanego w magnetycznych warstwach wielokrotnych. Zjawisko antyferromagnetycznego oddziaływania wymiennego pomiędzy warstwami magnetycznymi oddzielonymi przekładką niemagnetyczną zostało odkryte w 1986 r. przez P. Grünberga. Późniejsze badania wykazały, że oddziaływanie wymienne ma charakter oscylujący i zmienia się w zależności od grubości przekładki niemagnetycznej przechodząc od ferromagnetycznego do antyferromagnetycznego. Teoria wyjaśniająca te oscylacje wiąże oddziaływanie wymienne ze zjawiskami występującymi w obszarze przejściowym. W 1988 r. zaobserwowano ponadto ogromny wzrost oporu elektrycznego w próbkach o silnym sprzężeniu antyferromagnetycznym. Ze względu na wielkość tego zjawiska zostało ono nazwane gigantycznym magnetooporem (*giant magnetoresistance* – GMR). Efekt ten związany jest z zależnością przekroju czynnego na rozpraszanie elektronów od kierunku spinu. Późniejsze badania wykazały, że efekt ten można obserwować również w próbkach, w których antyrównoległe ułożenie spinów osiągnięto innymi metodami niż silne sprzężenie antyferromagnetyczne (np. efektami histerezy magnetycznej). Może być on obserwowany nie tylko w układach warstw wielokrotnych, lecz również w materiałach zawierających klastry magnetyczne umieszczone w matrycy z metalu niemagnetycznego, a także w układach mieszanych, zawierających zarówno struktury warstwowe jak i klastry.

Następny referat plenarny dotyczył innej wzbudzającej szerokie zainteresowanie badawcze dziedziny magnetyzmu jaką są nowe materiały na magnesy trwałe. K.H.J. Buschow przedstawił przegląd rozwoju tej dziedziny, zapoczątkowany rewolucyjnym doniesieniem w 1983 r. o syntezie nowego związku  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  o iloczynie energii 240 J/K i polu koercji około 1 MA/m. Parametry te były co najmniej dwukrotnie lepsze od parametrów najlepszych znanych materiałów na magnesy trwałe. Dalszy rozwój technologii materia-

łów typu  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  był ściśle powiązany z wynikami badań podstawowych. Materiały otrzymywane obecnie charakteryzują się iloczynem energii pomiędzy 350 i 400 J/K i wartością pola koercji dochodzącą do 2.5 MA/m.

Referat plenarny wygłoszony przez R.R. Gałązkę z Warszawy poświęcony był półprzewodnikom półmagnetycznym – dziedzinie, w rozwój której wkład polskich fizyków jest fundamentalny. Jest to klasa materiałów powstałych w wyniku zmieszania w odpowiednich proporcjach dwóch składników o tej samej strukturze krystalicznej, z których jeden jest półprzewodnikiem, a drugi półprzewodnikiem magnetycznym (np. układy  $\text{CdMnTe}$ ,  $\text{HgFeSe}$ ,  $\text{PbGdTe}$ ). Charakteryzują się one własnościami optycznymi i przewodnictwem elektrycznym typowymi dla półprzewodników, a jednocześnie wykazują własności rozcięczonych układów magnetycznych. Gałązka przedyskutował wpływ struktury pasmowej i koncentracji nośników na własności magnetyczne tych materiałów, w szczególności na przejścia fazowe paramagnetyk – ferromagnetyk – szkło spinowe.

W kolejnym referacie plenarnym P.J. Hakonen (Finlandia) omówił orientację spinów jądrowych w temperaturach pikokelwinowych. W przypadku Rh, oddziaływanie antyferromagnetyczne było obserwowane w zakresie temperatur (spinowych) od 280 pK do  $-750$  pK. Są to temperatury odpowiednio najniższa i „najwyższa”, jakie były kiedykolwiek otrzymane i zmierzone.

Następnie M. Johnson (USA) omówił konstrukcję bipolarnych tranzystorów spinowych. W podstawowej wersji składają się one z układu 3 cienkich warstw – dwóch ferromagnetycznych przedzielonych przekładką niemagnetyczną. Pierwsza warstwa magnetyczna służy jako źródło spolaryzowanych elektronów. Wyjściowe napięcie czy prąd zależy od ustawienia spolaryzowanych spinów względem kierunku namagnesowania w drugiej warstwie magnetycznej. Urządzenia te wzbudzają ostatnio duże zainteresowanie i mogą przyspieszyć włączenie materiałów magnetycznych do układów o wielkiej skali integracji.

Wreszcie P. Wachter (Szwajcaria) wygłosił wykład na temat izolatora ekscytowanego. W pobliżu przejścia półprzewodnik – półmetal, indukowanego np. ciśnieniem, może wystąpić anomalia polegająca na tym, że materiał staje się izolatorem. Wynika to stąd, że niska koncentracja nośników w półmetalach bardzo słabo ekranuje długozasięgowe oddziaływanie kulombowskie między elektronami i dziurami, tak że możliwa jest kolektywna kondensacja związanych par elektron–dziura. Choć takie zjawisko zostało przewidziane 30 lat temu przez Motta, udało się je zaobserwować dopiero ostatnio, w stopach  $\text{TmSe}_{1-x}\text{Te}_x$  i  $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{S}$  o bardzo wąskiej przerwie wzbronionej. Przy bardzo wysokich ciśnieniach (do 350 kb) obserwowano podobne zjawisko nawet w półprzewodniku o szerokiej przerwie: YbS.

Końcowym akcentem obrad plenarnych w pierwszym dniu konferencji był wykład, w założeniu popularnonaukowy, H. Kronmüllera (Niemcy) na temat najnowszych materiałów magnetycznych. Wstęp na ten wykład był otwarty dla szerokiej publiczności – była to innowacja wprowadzona po raz pierwszy na konferencji ICM. Trudno ocenić jak wielu Warszawiaków skorzystało z tego zaproszenia, gdyż nie sposób odróżnić „cywila” od naukowca w dużej sali obrad. W odczuciu większości uczestników konferencji wykładowca nie sprosttał jednak oczekiwaniom – przedstawił wykład zbyt specjalistyczny i przeładowany danymi technicznymi.

Program pozostałych dni konferencji był realizowany w formie czterech równoległych sesji ustnych oraz na sesjach plakatowych. Codziennie przedstawiano 350 plakatów podzielonych na kategorie tematyczne tak, aby liczba plakatów z danej kategorii nie przekraczała 50 plakatów dziennie. Były one eksponowane przez cały dzień, co ułatwiało przejrzanie ich w wolnych chwilach. Korytarze Pałacu Kultury okazały się zbyt ciasne, aby umożliwić swobodne dyskutowanie tak wielkiej liczby prac w czasie trzygodzinnej sesji plakatowej.

Ogromna liczba przedstawionych prac, z których wiele było bardzo interesujących, zarówno referatów na zaproszenie jak i zwykłych referatów i plakatów, nie upoważnia do obiektywnego wyróżnienia pewnych prac bez obawy pominięcia innych, nie mniej ważnych. Osoby bliżej zainteresowane tematyką konferencji zachęcamy do przejrzania książki ze streszczeniami prac, która znajduje się w bibliotekach Instytutów zaangażowanych w jej organizację. Organizatorzy konferencji dysponują również pewną liczbą dodatkowych egzemplarzy, które mogą być ewentualnie odstąpione zainteresowanym. Poza tym materiały Konferencji będą opublikowane w specjalnym wydaniu *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Niestety, ze względu na możliwości wydawnicze liczba wydrukowanych artykułów została ograniczona do 1072 (w tym 31 referatów na zaproszenie), więc nie wszystkie przedstawione prace mogły się tam znaleźć.

Ogólnie można powiedzieć że tematyka ICM'94 nie odbiegała od kierunków reprezentowanych na poprzednich konferencjach z tej serii. Są to: magnetyzm metali przejściowych, ziem rzadkich i aktynowców, stopów i związków międzymetalicznych, magnetyzm elektronów wędrownych, problemy magnetyzmu w układach nieuporządkowanych – materiałach amorficznych i szklach spinowych, układy nanokrystaliczne, mocno reprezentowany magnetyzm cienkich warstw i warstw wielokrotnych oraz magnetyzm powierzchni, układy o obniżonej wymiarowości, półprzewodniki magnetyczne i materiały tlenkowe, zjawiska krytyczne, wzbudzenia magnetyczne, problemy silnie skorelowanych elektronów – nadprzewodniki wysokotemperaturowe i ciężkie fermiony, nowe materiały magnetyczne, materiały na magnesy trwałe, tunelowanie magnetyczne i wreszcie biomagnetyzm.

Pewnym wskaźnikiem najnowszych kierunków badań magnetycznych może być tematyka specjalistycznych konferencji satelitarnych: Międzynarodowego Kolokwium Warstw Magnetycznych i Powierzchni w Düsseldorfie (29 sierpnia – 2 września), IV Międzynarodowego Sympozjum Badań w Wysokich Polach Magnetycznych w Nijmegen, Holandia (29–31 sierpnia) oraz konferencji na temat układów o silnie skorelowanych elektronach w Amsterdamie (15–18 sierpnia).

W czasie ceremonii zamykającej obrady prof. W.J.L. Buyers, sekretarz komisji magnetyzmu IUPAP, przedstawił krótkie sprawozdanie z prac tej komisji i ogłosił decyzję, że kolejna konferencja ICM odbędzie się w Melbourne, w Australii w 1997 r. W imieniu przyszłych organizatorów głos zabrał prof. T.J. Hicks, który przekazał informacje wstępne na temat tej konferencji. Obrady ICM'94 zostały następnie zamknięte przez jej przewodniczącego, prof. J. Morkowskiego.

Już po zakończeniu konferencji i prac edytorskich nad materiałami konferencyjnymi, organizatorzy konferencji ponieśli ogromną stratę z powodu śmierci prof. Zygmunta Zołnierka z Wrocławia, członka Komitetu Redakcyjnego Materiałów Konferencji, który zmarł w styczniu 1995 r. Z głębokim smutkiem żegnamy nieodżałowanego Kolegę, jak

również dwóch francuskich członków Międzynarodowego Komitetu Doradczego ICM'94 którzy zmarli w 1993 r.: prof. R. Lemaire'a i prof. J. Rossat-Mignod. Polskie środowisko magnetyczne ze szczególnym smutkiem żegna tragicznie zmarłego profesora Lemaire'a, wielkiego przyjaciela Polaków i promotora decyzji o lokalizacji ICM'94 w Warszawie. Bardzo żałujemy, że nie mógł on uczestniczyć w tej konferencji.

Ewa Jędryka

Instytut Fizyki PAN  
Warszawa

### XXXI Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej

W dniach 13–24 lutego 1995 r. odbyła się w Karpaczu już 31-a Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej, tym razem poświęcona modnym w ostatnich latach zjawiskom chaosu. Pełny angielski tytuł Szkoły brzmiał: *Chaos: The Interplay between Stochastics, Classics and Quanta* i w intencji organizatorów miał odzwierciedlać związki, przenikanie się i wzajemne dopełnianie zazwyczaj analizowanych rozłącznie przejawów chaosu.

Tradycyjnie Szkoły w Karpaczu były organizowane przez Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Tym razem Piotr Garbaczewski i Marek Wolf (IFT UW) zaprosili do współpracy Aleksandra Weron z Centrum Hugona Steinhausa przy Instytucie Matematyki Politechniki Wrocławskiej. Uzasadniała to tematyka, która należy do intensywnie uprawianego obszaru badań zarówno fizyków jak i licznego grona matematyków, a także specjalistów symulacji numerycznych. O popularności tej młodej, interdyscyplinarnej dziedziny może świadczyć udział 110 uczestników, przy czym z powodu braku miejsca byliśmy zmuszeni odmówić udziału w Szkole pewnej liczbie chętnych. Wśród zaproszonych do wygłoszenia wykładów znaleźli się zarówno fizycy jak i matematycy z Anglii, Belgii, Francji, Holandii, Izraela, Meksyku, Niemiec, Polski, Portugalii, Rosji, Szwajcarii, Ukrainy, USA i Włoch. Wykładowcy, zgodnie z charakterem (nie zawsze respektowanym w minionych latach) spotkań w Karpaczu, mieli z reguły 3–4 godziny na przedstawienie wybranych zagadnień. Wieczorami, po kolacji, odbywały się seminaria, gdyż Szkole tradycyjnie nie towarzyszyły sesje plakatowe. Ogółem odbyło się blisko 100 godzin wykładów i seminariów.

Szkołę rozpoczął cykl 4 wykładów P. Manneville'a o przejściu do turbulencji w układach dysypatywnych. J. Klafter z Tel Avivu i G. Zumofen z Zurychu mówili o zastosowaniach procesów Lévy'ego w kontekście tzw. dyfuzji anomalnych. Procesy Lévy'ego okazały się jednym z wyróżnionych wątków Szkoły i były reprezentowane także w wykładach Aleksandra i Kariny Weronów (symulacje numeryczne stabilnych procesów Lévy'ego i ich rola w fizyce statystycznej), P. Garbaczewskiego (problem Schrödingera i dynamika relatywistyczna) oraz P. Grigoliniego z Pizy. Nawiązał do nich w naturalny sposób, w kontekście turbulencji Burgersa, W. Woczyński z Cleveland. A. Lasota z Katowic wygłosił 3 wykłady o matematycznych własnościach fraktali otrzymywanych metodą układow funkcji iterowanych – zagadnieniu wypływającym z wcześniejszej analizy (wraz z M. Mackeyem) dynamiki deterministycznej w języku gęstości. W obszarze opisu klasycz-

nego, W. Szemplińska-Stupnicka z IPPT w Warszawie przedstawiła zjawiska chaotyczne w „uderzanych” wahadłach (oscylatorach) nieliniowych; podobnej tematyki dotyczyły wykłady D. Wawriwa z Charkowa. Natomiast M. Keane z Delft przedstawił, korzystając z twierdzenia ergodycznego, klasyfikację zachowań chaotycznych.

W obszarze podejścia kwantowego i stochastycznego, L. Reichl z Austin mówiła o stochastycznych przejawach chaosu. Temat ten wiązał się blisko z analizą tzw. euklidesowej mechaniki kwantowej oraz probabilistycznego rozumienia oryginalnych idei prowadzących do całki po trajektoriach Feynmana, przedstawionych przez J. Zambriniego z Lizbony. R. Graham z Essen omówił chaos w otwartych układach kwantowych. W podobnym duchu (dynamika półgrupowa Lindblada) kwantową teorię pomiaru omówił P. Blanchard z Bielefeld. G. Casati z Mediolanu wygłosił wykład o kwantowym chaosie w silnych polach i o rozpadzie korelacji klasycznych. W ściśle kwantowym obszarze znalazł się H. Jauslin z Dijon mówiący o rezonansach i niestabilności dynamiki kwantowej. Z Brukseli przyjechała grupa uczniów laureata Nagrody Nobla I. Prigogine’a. Jako przedstawiciel szkoły brukselskiej, w szczególności kontynuując idee Courbage’a, Misry i Prigogine’a wyprowadzenia zjawisk statystycznych (losowość) z dynamiki deterministycznej, wystąpił I. Antoniou, który mówił o widmowych rozkładach układów dynamicznych. P. Grigolini wygłosił cykl wykładów o anomalnej dyfuzji, spontanicznej lokalizacji i zasadzie korespondencji. Stanowiły one swoisty łącznik pomiędzy wykładami Klaftera i Zumofena a problematyką poruszaną przez W. Bielewina (spontaniczna lokalizacja jako uogólniony kwantowy proces stochastyczny), P. Blancharda, a także przez R. Grahama. Ponadto Grigolini poświęcił nieco miejsca tzw. deterministycznym wyprowadzeniom chaosu losowego, tematowi podjętemu szerzej przez Ch. Becka z Londynu. Równoległe z wykładem W. Bielewina z Nottingham, L. Accardi z Rzymu przedstawił rozwijane w kierowanym przez niego Centrum Volterry idee kwantowego rachunku prawdopodobieństwa.

Licznie byli reprezentowani polscy wykładowcy. Oprócz już wymienionych, wykładali także inni, m.in. M. Mrozek z Krakowa. Wzbudził on duże zainteresowanie nowymi metodami dowodzenia chaotyczności, które korzystają z twierdzenia o cieniu (*shadow theorem*). T. Kapitaniak z Łodzi mówił o dziwnych atraktorach w czterech i pięciu wymiarach, stabilności i zastosowaniach w kryptografii (sic!), a kolejny reprezentant Wrocławia Z. Haba włączył się w dominujący podczas Szkoły nurt analizy stochastycznej w zastosowaniu do przedstawień mechaniki kwantowej w języku procesów losowych. Temat ten był podejmowany wielokrotnie w wykładach, zarówno przez J. Zambriniego jak i A. Cetto z Meksyku (mechanika kwantowa: porządek wyłaniający się z nieporządku). I to nie przypadkowo, ponieważ opis dynamiki w języku miar probabilistycznych i ich gęstości jest stosowalny zarówno w klasycznych zagadnieniach chaotycznych jak i w teorii kwantów. Intrygującym wydarzeniem stał się mini-warsztat na temat kwantowej entropii dynamicznej i charakterystycznych wykładników kwantowych, tematyce podjętej przez R. Vilela Mendesa z Lizbony, G. Roepstorffa z Akwizgranu i W. Majewskiego z Gdańska z czynnym udziałem W. Słomczyńskiego i K. Życzkowskiego (Kraków). Specjaliści od eksperymentu numerycznego mieli okazję zapoznać się w wykładach S. Tomsovica z Pullman z osiągnięciami szkoły E. Hellera (Seattle/Harvard) w dziedzinie symulacji układów klasycznie i półklasycznie chaotycznych oraz kwantowych. Zagadnienia te zostały uzupełnione przez J. Zakrzewskiego z Krakowa.

Oprócz Instytutu Fizyki Teoretycznej UWr i Centrum H. Steinhausa PWr wsparcia finansowego Szkole udzieliły też inne instytucje, w tym MEN, Polska Akademia Nauk, Uniwersytet Wrocławski i Instytut Automatyki Systemów Energetycznych we Wrocławiu. Fundacja Dr. Heinricha i Else Hereaus z Niemiec po raz kolejny pokryła koszty pobytu 8 osób z byłego Związku Radzieckiego. Wygłoszone wykłady i seminaria mają się ukazać jesienią (wrzesień 1995) w wydawnictwie Springer Verlag jako kolejny, 457 tom serii *Lecture Notes in Physics* pod tytułem „Chaos: The Interplay between Stochastical and Deterministic Behaviour”.

Ponieważ Szkoła Zimowa jest skomplikowanym przedsięwzięciem organizacyjnym, realizowanym bez udziału jakichkolwiek urzędników, lecz wyłącznie siłami pracowników naukowych i doktorantów IFT (w tym roku również z Centrum H. Steinhausa), uważamy za konieczne wymienienie kilku kolegów, których udział był niezbędny dla naukowego sukcesu Szkoły: A. Borowca, P. Siemiona, M. Mozrzymsa, przepraszając, ale równocześnie dziękując tym, których nie wymieniliśmy.

*Piotr Garbaczewski i Marek Wolf*

Instytut Fizyki Teoretycznej UWr  
Wrocław

## RECENZJE

Michael White, John Gribbin: **Stephen Hawking. Życie i nauka**  
 przekład: Barbara Kołodziejczyk, Danuta M. Śledziwska-Błocka  
 Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994, s. 320

Jest dobrą tradycją fizyki, że jej wielcy twórcy zajmują się popularyzacją. Wspomnijmy tu *Historię świecy* Faradaya czy *Ewolucję fizyki* Einsteina i Infelda. O tym, że tradycja ta nie ginie, świadczą ostatnie lata, kiedy ukazały się w tłumaczeniu na język polski takie książki: *Pierwsze trzy minuty* Weinberga, *QED – osobliwa teoria światła i materii* Feynmana, *Krótką historia czasu* Hawkinga, *Sen o teorii ostatecznej* Weinberga.

Inny nurt upowszechniający fizykę to biografie uczonych pisane przez osoby spoza świecznika nauki czyste. Z polskiego piśmiennictwa można tu przytoczyć takie pozycje, jak *Albert Einstein* B. Kuzniecowa, *Maria Curie* Ewy Curie, *Rumford fizyk niezwykły* S.C. Browna, że wymienię tylko przekłady z innych języków. Do tego nurtu należy dzieło White'a i Gribbina *Stephen Hawking. Życie i nauka*. Pierwszy autor był muzykiem, drugi astrofizykiem, obaj są teraz zawodowymi popularyzatorami nauki w Wielkiej Brytanii. Napisana przez nich książka opisuje drogę życiową i karierę naukową kosmologa, który w krajach anglosaskich zyskał rozgłos porównywany ze sławą Alberta Einsteina.

Wkład Hawkinga do fizyki polega na badaniach osobliwości czasoprzestrzeni z punktu widzenia teorii kwantowej i termodynamiki. Dzięki niemu zrozumiano, że czarne dziury nie muszą być zupełnie czarne – wskutek tworzenia par cząstka-antycząstka w pobliżu horyzontu czarnej dziury materia może wydostawać się z niej, a jej masa maleć. Oto jak Autorzy opisują tę sprawę na s. 144:

To, co postanowił osiągnąć, było wprost rewolucyjne. Dwoma filarami fizyki XX wieku są mechanika kwantowa i [ogólna] teoria względności. Te dwie dziedziny fizyki znajdują się jednak jakby na przeciwległych krańcach nauki. Posługują się odrębnymi językami naukowymi i nikomu nie udało się dotąd ich uzgodnić. I to właśnie zamierzał teraz zrobić Hawking. Wydawało mu się to jedyną drogą do wyjaśnienia zachowania się czarnych dziur (...).

Jednakże ustalenie zagadnienia było dużo łatwiejsze niż jego realizacja. Po miesiącach wyczerpanej pracy polegającej na rozwiązywaniu skomplikowanych równań Hawking otrzymał nonsensowne wyniki. Z jego równań bowiem wynikało niezbitie, że czarne dziury wysyłają promieniowanie. Hawking, podobnie jak wszyscy jemu współcześni, uważał to za rzecz niemożliwą. Z drugiej strony był jednak ciągle przekonany, że jest na właściwym tropie i wskutek tego świadomie postanowił dopóty nie dyskutować z nikim o swoich zdumiewających wynikach, dopóki w ten czy inny sposób ich nie zrozumie.

W omawianej książce opisano przystępnie wyniki Hawkinga, z których najważniejszym jest tzw. promieniowanie Hawkinga, wskutek którego czarna dziura może tracić swoją masę, jeśli jest dostatecznie mała. Umieszczono też wprowadzenie do zagadnień kosmologii współczesnej, aby osiągnięcia Hawkinga znalazły się na właściwym tle. Przy opisywaniu osobliwości pola grawitacyjnego Autorzy nie omieszkali wspomnieć o nazwie kolapsar, która była używana zanim J.A. Wheeler wymyślił czarną dziurę.

Wątek popularnonaukowy przepleciony jest gęsto z wątkiem biograficznym, w którym opisano bardziej osobistą stronę życia bohatera książki. Na jego życiu zaważyła istotnie choroba zwana *amyotropic lateral sclerosis*, w skrócie ALS. Jest ona odmienna od stwardnienia rozsianego, ale powoduje równie katastrofalne skutki. Objawiły się one już po skończeniu studiów i po ślubie Hawkinga. Zmusiły go do poruszania się na wózku inwalidzkim, a po kilku latach uniemożliwiły porozumiewanie się za pomocą mowy. Jednak Hawking nie poddał się i wielkim wysiłkiem własnej woli oraz dzięki pomocy rodziny i przyjaciół pracował nadal naukowo. Jego oryginalne prace zostały zauważone i dały mu wiele wyróżnień naukowych. Jak piszą Autorzy na s. 208: „Straszna choroba wyzwoliła go z codziennych obowiązków, co zaowocowało wspaniałymi osiągnięciami naukowymi.” Ponadto, o paradoksie! uczyniła go sławnym poza światem nauki. Dziennikarze wszelkich mediów chętnie przychodzili po wywiady do uczonego przykutego do wózka inwalidzkiego, posługującego się syntezatorem mowy, wymagającego nieustannej opieki medycznej. Wydawcy książek popularnych skłonili Hawkinga do napisania książki według dobrze sprawdzonych schematów, włożyli w jej reklamę spore pieniądze i tak ukazała się wspomniana na wstępie, dostępna niemal na każdym lotnisku *Krótką historia czasu*, której recenzję zamieściły już *Postępy Fizyki* [45, 605 (1994)]. Dzieje powstania tej publikacji też zostały opisane w książce White'a i Gribbina.

Razem wzięwszy chciałbym stwierdzić, że książka *Stephen Hawking. Życie i nauka* jest pożyteczna. Fizykom takim jak ja, o specjalnościach dalekich od kosmologii, przybliża tę dziedzinę i wyjaśnia, na czym polega nowatorstwo Hawkinga. Na przykład duże wrażenie zrobiły na mnie uwagi ze s. 196 o niemożności zejścia do zera z czasem przy rozważaniu Wielkiego Wybuchu. Natomiast ludzi dalekich od nauki dzięki wątkom osobistym przyciąga do samej postaci bohatera i niejako przy okazji uprzystępnia najnowsze odkrycia kosmologii. Styl książki jest żywy i tłumaczkom udało się go oddać w języku polskim.

A teraz nieliczne uwagi krytyczne. Na s. 50 napisano: „stała Plancka wynosi  $6 \times 10^{34}$  dzuli na sekundę” – są to niewłaściwe jednostki; powinno być „dzuli razy sekunda”, a może „dzulosekund”?

Przy ocenie przekładu recenzenci na ogół zwracają uwagę na terminologię. Pod tym względem mogę tylko wskazać jedno drobne uchybienie w postaci czarnej materii użytej zamiast ciemnej materii (s. 234). Jest też niezręczność na s. 44: „astronauci nie mają wagi i unoszą się”; lepiej byłoby napisać: „astronauci nic nie ważą i unoszą się”. Warto też zauważyć pomysł tłumaczek na to, jak oddać w języku polskim przeciwieństwo Wielkiego Wybuchu zwane po angielsku *Big Crunch* – otóż wybrały one nazwę Wielki Krach (s. 198 i 227). Jest to chyba ich oryginalne odkrycie, bo do tej pory spotkałem jedynie Wielką Zapasć.

Ja chciałbym jednak wspomnieć o uleganiu składni angielskiej (podmiot na początku, orzeczenie potem), która czasami brzmi sztucznie w języku polskim. Przykład



ze s. 71: „...nie przykładał się zbytnio do pracy, więc stopy nie przerobionego, a potrzebnego do pracy doktorskiej materiału, niepokojąco rosły”. Chyba lepiej byłoby to przełożyć tak: „nie przykładał się zbytnio do pracy, więc niepokojąco rosły stopy nie przerobionego materiału potrzebnego do pracy doktorskiej”. Drugi przykład ze s. 73: „Od tamtej nocy przyjaźń ich zaczęła się rozwijać.” Lepiej byłoby napisać: „Od tamtej nocy zaczęła się rozwijać ich przyjaźń.”

O wiele więcej jest przykładów z przeniesieniem angielskiej interpunkcji, która wszak nieco różni się od polskiej. Na s. 285 przykład zbędnej przecinka: „Zaraz po wizycie w Chicago obaj uczeni napisali prace, opublikowane w tym samym numerze *Physical Review*”. W naszym języku nie oddziela się przecinkiem przydawki od dopełnienia. Zaraz na tej samej stronie taki sam niepotrzebny przecinek: „...każda z nich podawała wnioski, sprzeczne z wnioskami drugiej pracy”. Występują też biorące się z angielszczyzny przedstawienia kolejności rzeczownik-przymiotnik, jak np. *Mleczna Droga* (s. 92) zamiast *Droga Mleczna*.

*Bernard Jancewicz*

Institut Fizyki Teoretycznej UW  
Wrocław

### Ian Stewart: *Czy Bóg gra w kości?* – Nowa matematyka chaosu

tłum. M. Tempczyk i W. Komar, Wydawnictwo Naukowe PWN

Warszawa 1994, s. 365

Czy dysponując dostatecznie dużą maszyną obliczeniową moglibyśmy przepowiedzieć pogodę z wyprzedzeniem, powiedzmy miesięcznym? Słowem, czy długość przedziału czasu, w którym prognoza ewolucji układu dynamicznego będzie zgadzała się z jej fizyczną realizacją, zależy jedynie od mocy naszych środków obliczeniowych? Odpowiedź jest negatywna. Istnieją procesy fizyczne, opisywane równaniami fizyki, których przebieg nie daje się wyznaczyć wiarygodnie nawet przy zastosowaniu najpotężniejszych środków obliczeniowych. Do tych procesów należą m.in. zmiany pogody. Chodzi tu o procesy niezwykle czułe na zmianę warunków początkowych. Aby zatem postawić prognozę długoterminową, tzn. przewidywać ewolucję procesu fizycznego w długim okresie czasu, należy znać warunki początkowe z olbrzymią dokładnością. Ta dokładność warunków początkowych, a w przypadku przewidywania pogody – aktualne dane meteorologiczne, przesądza ostatecznie o przedziale czasu, w którym prognoza jest poprawna. Niedoskonały system komputerowy może ten przedział czasu jedynie skrócić. Okazuje się, że nie jest to sytuacja wyjątkowa. Wprost przeciwnie, Natura pełna jest procesów, których ewolucji w dłuższym przedziale czasowym nie da się przewidzieć. O nich właśnie traktuje książka I. Stewarta *Czy Bóg gra w kości?*. Tytuł jest zapożyczony oczywiście ze słynnego zdania Einsteina, a książka w nader przystępny sposób wprowadza czytelnika w zagadnienia zjawisk chaosu deterministycznego, fraktali, samopodobieństwa, doprowadzając go aż do elementów chaosu kwantowego.

Jest na naszym rynku kilka książek wprowadzających w tajniki zjawisk chaotycznych (np. H.G. Schuster – *Chaos deterministyczny*, PWN, 1993;<sup>1</sup> J. Kudrewicz – *Fraktale i chaos*, WNT, 1993), ale książeczka Stewarta ma niewątpliwą wyższość nad nimi: wykład jest prowadzony poprzez umiejętnie dobrane przykłady z najrozmaitszych dziedzin, nie zawiera wzorów i dlatego niemal jak „kryminał” daje się czytać przed zaśnięciem w łóżku. Autor wprowadza nas w tajniki i problemy Natury, które jakkolwiek dają się przedstawić w postaci równań matematycznych, to jednak zbiór ich rozwiązań jest tak bogaty, że nie sposób przewidywać, według którego schematu podaży Natura. Mamy tu przykłady z astronomii, biologii, meteorologii, chemii, no i oczywiście z matematyki i fizyki. Autor stara się w poglądowy sposób wyjaśnić podstawowe pojęcia stosowane w teorii chaosu deterministycznego, takie jak odwzorowanie zwijające, odwzorowanie logistyczne, przekroje Poincarégo, atraktory, fraktale i wiele innych. Trzeba powiedzieć, że zazwyczaj czyni to z powodzeniem, co jest dużą umiejętnością, jeżeli wziąć pod uwagę, że jest to książka w zasadzie pozbawiona wzorów. A robi to zawsze w sposób przyciągający uwagę czytelnika. Wykład przeplatany jest uwagami o charakterze historycznym, niekiedy dykteryjkami, nic więc dziwnego, że w swoim czasie, po wydaniu oryginału, książka była w USA uważana za najlepszą pozycję literatury popularnonaukowej.

Jeżeli pragnie się wyjaśnić dość skomplikowane pojęcia matematyczne czy fizyczne, bez odwoływania się do wzorów, to istnieje w zasadzie jedna możliwość – ilustrowanie wykładu dużą liczbą rysunków, wykresów czy fotografii. Tę drogę wybrał też Autor. Rysunki mają jednak charakter szkiców, co nie jest specjalnym defektem popularnego opracowania, ale chciałoby się, aby komentarz do rysunków w tekście, a zwłaszcza podpisy, były wyczerpujące i wyjaśniały istotę ilustrowanej kwestii. A tak niestety nie zawsze jest i w moim przekonaniu stanowi to pewien mankament książeczki. By nie być gołosłownym, np. rys. 58 i 118 można by uzupełnić bardziej wyczerpującym opisem. Pozycja zawodowa Autora gwarantuje, że wykład jest solidny, a jego doświadczenie jako popularyzatora sprawia, że książkę z satysfakcją będzie czytać duże grono czytelników o rozlicznych zainteresowaniach, poczynając od uczniów szkół średnich. Znajomość matematyki czy fizyki wymagana aby nadażać za tokiem wykładu jest naprawdę minimalna.

Tłumacze starali się dostosować do lekkości i potoczystości stylu oryginału, zachowując równocześnie jego walory naukowe. Udało się to w zupełności.

*Credo* Autora zawarte jest w zdaniu na s. 343 w postaci komentarza do słów Einsteina z listu skierowanego do Maxa Borna: „Ty wierzysz w Boga, który gra w kości, ja w prawo i zupełny porządek w świecie, ...”. Autor pisze: „Zgadzam się z Einsteinem. Znacznie bardziej podoba mi się drugi pomysł – bardziej chytra gra, której jeszcze nie rozumiemy”. Korzystając z epilogu omawianej właśnie książki niniejszą recenzję można by zatytułować: „Gdyby Bóg grał w kości ... to by wygrał”. A książkę z czystym sumieniem można polecić wszystkim, którzy starają się zrozumieć sens otaczającego nas świata i nie zawsze chcą się pogodzić z faktem, iż nawet na poziomie zjawisk klasycznych nie wszystko da się przewidzieć.

Jerzy Zagroźniński

Instytut Fizyki PAN  
Warszawa

---

<sup>1</sup> Patrz recenzja M. Kusia, *Postępy Fizyki* 45, 297 (1994).

## K R O N I K A

**Nominacje profesorskie**

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymał w dniu 27 lutego 1995 Wiktor Kurcewicz (UW, Warszawa). W dniu 24 marca 1995 tytuł otrzymali: Marek Kuś (CFT PAN, Warszawa), Karol Izidor Wysokiński (UMCS, Lublin), Mirosław Załużny (UMCS, Lublin). W dniu 10 maja 1995 tytuł otrzymali: Marek Cieplak (IF PAN, Warszawa), Stefan Jurga (UAM, Poznań), Henryk Witała (UJ, Kraków), Wiesława Zarek (UŚl, Katowice).

*Sprawy Nauki*, nr 2 i 3 (1995)

**Międzynarodowe Centrum  
Fizyki Teoretycznej**

Nowym dyrektorem Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej (International Centre for Theoretical Physics – ICTP) w Trieście został, po ustąpieniu Abdusa Salama, Miguel A. Virasoro. Salam pozostaje nadal prezesem ICTP. Od bieżącego roku rolę organizacji sponsorującej ICTP przejęła od Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) Organizacja Kształcenia, Nauki i Kultury Narodów Zjednoczonych (UNESCO).

Virasoro urodził się w 1940 r. w Buenos Aires, w 1967 r. uzyskał doktorat z fizyki na tamtejszym uniwersytecie. Większą część życia naukowego spędził poza Argentyną, głównie w Stanach Zjednoczonych, Izraelu, Francji, Włoszech i w CERN-ie. Od 1982 r. jest wykładowcą fizyki teoretycznej na Uniwersytecie La Sapienza w Rzymie. Prowadzi badania w dziedzinie teorii cząstek elementarnych (m.in. współ-

udział w tworzeniu teorii superstrun) a także nad sieciami neuronowymi jako modelem pracy mózgu.

Obejmując nowe stanowisko powiedział: „Chcę podkreślać międzynarodowy charakter Centrum. ... Będę próbował wciągnąć więcej krajów do współpracy zarówno w planowaniu jak i w finansowaniu.”

*Phys. Today* 48, nr 6 (1995)

B. W.

**CERN**

Rząd Japonii podał do wiadomości, że z dodatkowego budżetu na 1995 r. przeznaczył równowartość 58 mln USD na udział w kosztach konstrukcji Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC – Large Hadron Collider) w CERN-ie.

Obecnie w pracach CERN-u bierze udział 70 Japończyków. Liczba ta zapewne wkrótce wzrośnie.

*Phys. Today* 48, nr 7 (1995)

B. W.

**Nagroda ICO '94**

Międzynarodowa Komisja Optyki (International Commission for Optics – ICO) przyznała swoją nagrodę za rok 1994 Emmanuelowi Desurvire'owi za oryginalny i znaczny wkład w rozwój łączności za pomocą włókien optycznych, w szczególności za prace teoretyczne i doświadczalne nad wzmacniaczami.

Desurvire urodził się w 1955 r. w Boulogne (Francja), studiował na Uniwersytecie Pierre et Marie Curie w Paryżu, doktoryzował się na Uniwersytecie w Nicei. Następnie prowadził badania w USA na Uniwersytecie Stanforda, w Laborato-

riach AT&T Bell i w Uniwersytecie Columbia. Obecnie pracuje we Francji w centrum badawczym Alcatel Alsthom w Marcoussis. Jego specjalnością są wzmacniacze z włókien domieszkowanych erbem, a wyniki jego prac pozwoliły na dokonanie przełomu w przesyłaniu światła na odległości transoceaniczne. Jest autorem ponad 50 publikacji oraz książki *Erbium-doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications*.

Nagroda ICO jest przyznawana co roku osobom, które przed ukończeniem 40 roku życia przyczyniły się wybitnie do rozwoju optyki.

*ICO Newsletter*, styczeń 1995

B. W.

## Wyróżnieni tłumacze

Stowarzyszenie Tłumaczy Polskich wśród nagród i wyróżnień za 1995 r. przyznało Michałowi Tempczykowi i Włodzimierzowi Komarowi wyróżnienie w dziedzinie nauk ścisłych za przekład z języka angielskiego książki Iana Stewarta *Czy Bóg gra w kości?* (Wydawnictwo Naukowe PWN).

*Tłumacz*, nr. 2/3 (1995)

## Piotr i Maria Curie w Panteonie

W marcu 1994 r., z okazji święta kobiet, François Mitterand, ówczesny prezydent Francji, wysunął myśl przeniesienia szczątków Marii Skłodowskiej-Curie do Panteonu. Rok później, 14 marca 1995, ukazał się we francuskim *Journal Officiel* dekret prezydenta Republiki Francuskiej o złożeniu w Panteonie prochów Marii Skłodowskiej-Curie, ale razem ze szczątkami jej małżonka – Piotra Curie. Nierozdzielanie po śmierci tej nierozłącznej za życia pary uczonych było nakazem elementarnej sprawiedliwości. Małżonkowie Curie mogli dokonać swych wielkich odkryć w dziedzinie promieniotwórczości nie tylko

dlatego, że oboje mieli umysł twórczy, ale również dlatego, że ich cechy charakteru i intelektu znakomicie się uzupełniały: on – marzyciel pełen wyobraźni, ona – realistka, entuzjastka systematycznej pracy.

Uroczystość odbyła się w czwartek 20 kwietnia 1995 r. Rozpoczęła się o godzinie 17 w piękne słoneczne popołudnie na placu przed paryskim Panteonem, estetycznie udekorowanym olbrzymią flagą państwową. Dawny kościół św. Genowefy, patronki Paryża, pełni od czasów Wielkiej Rewolucji Francuskiej (z dwiema kilkudziesięcioletnimi przerwami) rolę nekropolii narodowej, w której znajdują się groby wielkich francuskich pisarzy i myślicieli, uczonych, polityków, działaczy społecznych. Na portyku widnieje złotymi literami napis: „Aux grands hommes la Patrie reconnaissante” (Wielkim ludziom wdzięczna Ojczyzna).

Na trybunach, wzniesionych przed Panteonem na tę okazję, zasiedli prezydenci Francji i Polski, potomkowie małżonków Curie: ponad 90-letnia Ewa Curie-Labouisse – ich młodsza córka, autorka znanej biografii swej matki, mieszkająca od wielu lat stale w Nowym Jorku, wnuki – fizyk jądrowy Hélène Langevin i brat jej, biolog Pierre Joliot, oraz dalsi członkowie rodziny, reprezentanci świata nauki, sztuki, polityki (w tym przedstawiciele ambasady polskiej w Paryżu), prasy itd. Studenci fizyki i chemii w szarych bluzach wnieśli na barkach przed trybuny trumny obojga uczonych. Za nimi kroczyli uczniowie licealni niosący wielkie barwne makiety symboli związanych z promieniotwórczością: Ra, Po, ich liczby masowe i litery  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

Pierwszy przemówił fizyk francuski Pierre-Gilles de Gennes, laureat Nagrody Nobla z 1991 r. (za badania materii miękkiej), który jest obecnie dyrektorem Szkoły Fizyki Przemysłowej i Chemii Przemysłowej

wej miasta Paryża, w której lokalu małżonkowie Curie odkryli polon i rad. W swoim krótkim przemówieniu w sposób niebanalny scharakteryzował odkrycia Piotra Curie w dziedzinie magnetyzmu i krystalografii, następnie wspólne prace obojga małżonków w zakresie promieniotwórczości i wreszcie późniejsze badania promieniotwórczości prowadzone przez samą owdowiałą Marię Curie. Z kolei Lech Wałęsa odczytał po polsku zwięzły, dobrze przygotowany tekst okolicznościowy, który następnie przetłumaczono na francuski. Po prezydencie polskim zabrał głos François Mitterand. Odczytał opracowany starannie obszerny referat o drodze życiowej i działalności naukowej Marii i Piotra Curie. Moim zdaniem referat był zbyt szczegółowy jak na taką uroczystość, zwłaszcza iż dokonania naukowe kompetentnie omówił już de Gennes. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że było to jedno z ostatnich wystąpień publicznych schorowanego prezydenta tuż przed końcem jego drugiej siedmioletniej kadencji. W przemówieniach obu prezydentów brzmiały akcenty przyjaźni polsko-francuskiej.

Na zakończenie uroczystości, w odpowiedniej oprawie muzycznej, żołnierze Gwardii Narodowej w galowych mundurach wnieśli trumny do wnętrza Panteonu.

Po dwóch dniach trumny spoczęły w krypcie w bliskim sąsiedztwie grobów przyjaciół Piotra i Marii ze Skłodowskich Curie – Jeana Perrina i Paula Langevina, jednocześnie pochowanych w Panteonie 17 listopada 1948 r.

W Panteonie spoczywają już od dawna szczątki kobiety, Sophie Berte Berthelot, która jednak znalazła się tam jako towarzyszka życia wybitnego chemika francuskiego – Marcelina Berthelota. Maria Skłodowska-Curie jest natomiast pierwszą kobietą, którą wprowadzono do Panteonu za własne zasługi.

Przeniesienie prochów Marii i Piotra Curie do Panteonu jest niewątpliwie wyrazem najwyższego dla nich uznania. Czy jednak nie pogwałcono ich woli? Małżonkowie Curie byli niezmiernie skromni i konsekwentnie unikali rozgłosu i odmawiali wszelkich zaszczytów poza karierą naukową. (Przypomnijmy, że gdy w 1903 r. Paul Appell, dziekan Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Sorbony chciał przedstawić Piotra Curie do odznaczenia orderem Legii Honorowej, ten nie wyraził na to zgody.) Gdyby można było ich spytać, odpowiedzieliby zapewne, że wolą spoczywać w skromnym grobie rodzinnym na małym cmentarzu w Sceaux pod Paryżem, obok rodziców Piotra i córki Ireny z zięciem Fryderykiem Joliot.

Na marginesie dodam, iż jeszcze jednym wyrazem uznania we Francji dla Marii i Piotra Curie było ostatnio wprowadzenie do obiegu zielonego banknotu 500-frankowego z wizerunkiem tej pary uczonych.

*Józef Hurwic*

### Laboratorium Nanolitografii w Warszawie

Badania ostatnich lat dowodzą istnienia wielu jakościowo nowych zjawisk fizycznych w tzw. układach mezoskopowych, tj. materiałach o rozmiarach geometrycznych rzędu 10 – 100 nm (patrz np. *PF* 41, 139 (1990)). Zjawiska te nie istnieją ani w przypadku pojedynczych atomów lub cząsteczek ani też w ciałach makroskopowych. Ujawniają się one szczególnie silnie w temperaturze bliskiej zera bezwzględnemu (poniżej 1 K), gdzie zanikają procesy niszczące spójność funkcji falowej. Nowe odkrycia radykalnie zmieniają nasz pogląd na wiele podstawowych własności materii skondensowanej i ukazują istotne ograniczenia dalszej miniaturyzacji kon-

wencjonalnych elementów elektronicznych, a także, jak można przypuszczać, będą stanowić podstawę technik przyszłości: nanoelektroniki, fotoniki i mikromechaniki.

W 1991 r. interdyscyplinarny zespół fizyków, elektroników i chemików ciała stałego ze Środowiskowego Laboratorium Badań Kriogenicznych Instytutu Fizyki PAN oraz z Zakładu Technologii Struktur Optoelektronicznych Instytutu Technologii Elektronowej pod kierunkiem Tomasza Dietla (IF PAN) i Anny Piotrowskiej (ITE) rozpoczął tworzenie laboratorium nanolitografii. Założono, że unikatowy potencjał technologiczny i pomiarowy będzie mógł być wykorzystywany także przez inne zespoły badań materiałowych w Polsce.

Jako metodę nanolitografii wybrano wysokoenergetyczną (30 keV) litografię elektronową. W metodzie tej powierzchnia, na której wytwarza się nanostruktury zostaje pokryta elektronoczułą emulsją, np. polimerem, którego łańcuchy pękają pod wpływem działania wiązki elektronów. Po napromieniowaniu emulsji w wybranych miejscach zogniskowaną wiązką elektronów wywołuje się ją i utwardza. Uzyskuje się w ten sposób maskę, przez którą można trawić podłoże lub też osadzać inny materiał. Metoda ta charakteryzuje się wysoką zdolnością rozdzielczą (do 20 nm), pozwala na wytwarzanie struktur o dowolnym kształcie i na kilku poziomach, może więc służyć do wytwarzania struktur odpowiednich zarówno do badań podstawowych jak i przyrządów.

Powstanie laboratorium stało się możliwe dzięki zaangażowaniu IF PAN i ITE (środki statutowe, budowa ultraczystego pomieszczenia), Komitetu Badań Naukowych (skaningowy mikroskop elektronowy JEOL 6400, generator wzorów i drobniejsze oprzyrządowanie), Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (zakup mikroskopy rentgenowskiej w ramach pro-

gramu SEZAM), Fundacji Współpracy Polsko-Niemieckiej (z funduszy rządu RFN zakupiono szybki generator wzorów i stolik mikroskopu o przesuwie kontrolowanym interferometrem laserowym) oraz Austriackiego Programu Ost-West i Wspólnego Funduszu Polsko-Amerykańskiego im. Marii Skłodowskiej-Curie (sfinansowanie zakupu wirówki do nakładania i wygrzewania emulsji).

Laboratorium Nanolitografii korzysta również z chłodziarki rozcieńczalnikowej  $^3\text{He}/^4\text{He}$  umożliwiającej badania w obszarze temperatur poniżej 0.4 K, będącej własnością Środowiskowego Laboratorium Kriogenicznego IF PAN.

*Tomasz Dietl*

## Nowe narzędzia dla niewidomych naukowców

Coraz bliższa wydaje się chwila, w której niewidomi będą mogli poznawać nauki ścisłe oraz pracować naukowo na równi z innymi. A wszystko za sprawą nowoczesnych zastosowań komputerów. Już obecnie niewidomi mogą korzystać z komputerów wyposażonych w syntezator mowy, mogą otrzymywać i wysyłać listy elektroniczne i w szeroki sposób korzystać z internetu.

W naukach ścisłych podstawowym problemem okazuje się dostęp do literatury fachowej, zawierającej dużą ilość formuł matematycznych i specjalnych symboli. Wynaleziony w XIX w. przez L. Braille'a alfabet niewidomych, w którym litery są reprezentowane przez wypukłe kropki ułożone w matrycę  $2 \times 3$ , nie pozwala na zapis symboli ani na prostą reprezentację liczb. Co prawda od ok. 40 lat istnieje matematyczny kod Braille'a, opracowany przez A. Nemetha, ale jego używanie jest bardzo kłopotliwe.

J.A. Gardner, ociemniały fizyk ciała

stałego, opracował system notacji naukowej zwany Dots Plus, w którym wypukłe symbole matematyczne zachowują swój tradycyjny kształt, a są jedynie powiększone ok. 2.5 raza, zaś litery i cyfry reprezentowane są w typowym Braille'u. Gardner, wspólnie z matematykiem N. Salinsem, pracuje także nad ośmiopunktowym kodem Braille'a, umożliwiającym bezpośredni zapis cyfr i niektórych symboli matematycznych, takich jak np. „+”.

Problem naukowej komunikacji niewidomych z zupełnie innej strony zaatakował T.V. Raman. Stworzył on system AsTeR, przetwarzający dokumenty naukowe zapisane w  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -u na dźwięk za pomocą syntezatora mowy. Jest to bardzo zaawansowane narzędzie, znacznie przewyższające technikę „książki na taśmie magnetofonowej”. Program AsTeR pozwala na odczytywanie artykułów w sposób podobny do zwykłego ich „oglądania”. Umożliwia swobodne poruszanie się po całym dokumencie, odczytywanie pobieżne (np. tylko tytuły rozdziałów), lub bardziej szczegółowe, łącznie ze wzorami matematycznymi, zawsze zgodnie ze strukturą artykułu. Zalety programu objawiają się szczególnie przy odczytywaniu wzorów matematycznych: indeksy górne i dolne odróżniane są przez wyższe lub niższe tony, równanie można odczytywać z prawa do lewa lub na odwrót, można skoncentrować się na wybranym fragmencie wzoru, aby go lepiej zrozumieć.

Opisane narzędzia spotkały się z dużym zainteresowaniem i uznaniem osób, którym zagadnienie pracy naukowej niewidomych jest nieobce. Projekty te są ciągle w stadium badań, a ich praktyczne wdrożenie jest dosyć kosztowne. Wydaje się jednak, że wkrótce z jednego elektronicznego zbioru będzie można powszechnie wyprodukować tradycyjny wydruk, wydruk wypukły i odczyt dźwiękowy, co umożliwi niewidomym naukowcom i studentom zupeł-

nie swobodny dostęp do bieżącej fachowej literatury.

*Phys. Today* 48, nr 3 (1995) K. B.

### Pożytki medyczne z pompowania optycznego

Pompowanie optyczne, w najbardziej klasycznym rozumieniu tego terminu, tzn. jako metoda otrzymywania orientacji spinowej w stanie podstawowym atomów, stało się przed szansą ważnych zastosowań w medycynie. Jest to o tyle nieoczekiwane, że lata największej świetności metody minęły już dość dawno i można było sądzić, że wszystkie jej istotne zastosowania już znamy.

Pompowanie optyczne powstało w latach pięćdziesiątych. Stwierdzono, że w wyniku oddziaływania zbioru atomów (w postaci pary atomowej lub gazu) z wiązką światła spolaryzowanego kołowo można uzyskać makroskopową polaryzację spinową próbki. W połączeniu z zastosowaniem rezonansu magnetycznego dało to bardzo czułą metodę spektroskopową, pozwalającą na pomiary bardzo małych struktur i rozszczepień poziomów atomowych. Okazało się także, że dzięki tzw. zderzeniom z wymianą spinów można uzyskać orientację w stanie podstawowym atomów innych niż te, które są pompowane bezpośrednio. W szczególności prowadzi to do czysto jądrowej orientacji spinowej w stanie podstawowym np. atomów gazów szlachetnych, która może być bardzo trwała.

Metoda świeciła największe sukcesy w latach sześćdziesiątych, i wtedy też doczekała się najbardziej istotnych zastosowań: we wzorcach częstości i w magnetometrii. Magnetometry wykorzystujące pompowanie optyczne były powszechnie używane do pomiaru bardzo słabych pól magnetycznych w przestrzeni wokółziemskiej i były standardowym wyposażeniem kosmicznych

sond badawczych, a zegary cezowe do dziś są jednymi z najdokładniejszych wzorców częstości. Warto też pamiętać, że pompowanie optyczne oddało znaczne usługi fizyce jądrowej, stanowiąc ważne źródło informacji o momentach jądrowych oraz o własnościach spektroskopowych izotopów promieniotwórczych.

Pojawienie się laserów i rozwinięcie licznych nowych metod spektroskopii laserowej pozbawiło klasyczne pompowanie optyczne głównego miejsca wśród nowoczesnych metod spektroskopowych. Sam termin „pompowanie optyczne” zmienił też nieco znaczenie i jest dziś używany na określenie silnego wzbudzenia optycznego. Lasery zostały też jednak użyte do klasycznego pompowania optycznego, umożliwiając uzyskanie bardzo dużego stopnia polaryzacji spinowej.

Jedną z grup nadal działających z większą lub mniejszą aktywnością w dziedzinie klasycznego pompowania optycznego jest zespół Williama Happera z Uniwersytetu w Princeton. Jednym z głównych celów prac tej grupy było uzyskanie dużych polaryzacji jąder gazów szlachetnych z myślą o zastosowaniach w fizyce jądrowej i fizyce cząstek. Doprowadziły one w szczególności do wytworzenia znacznych rozmiarów próbki gazowej z helu-3, spożywaną spinowo do ok. 35%, która została użyta z dużym powodzeniem w badaniach struktury spinowej neutronu, przeprowadzonych niedawno przy użyciu stanfordzkiego akceleratora liniowego.

Kolejnym pomysłem Happera jest użycie silnie spolaryzowanych jądrowo gazów szlachetnych do polepszenia jakości obrazów organów wewnętrznych zwierząt i ludzi uzyskiwanych metodą obrazowania za pomocą rezonansu magnetycznego. W metodzie tej wykorzystuje się rezonans magnetyczny protonów, których jest w ciele ludzkim bardzo wiele, głównie w cząstecz-

kach wody. Są jednak organy, dla których trudno jest uzyskać obrazy dobrej jakości. Należą do nich w szczególności płuca, które są także trudne do „podejrzenia” innymi metodami – klasyczne metody rentgenoskopowe i metody wykorzystujące promieniotwórczy ksenon-133 są ryzykowne z uwagi na konieczność stosowania znacznych dawek promieniowania.

Tu właśnie może się przydać pompowanie optyczne. Przy użyciu stosunkowo tanich obecnie laserów półprzewodnikowych do pompowania optycznego rubidu, można uzyskać na drodze zderzeń z wymianą spinów znaczny stopień polaryzacji jąder gazów szlachetnych. Do zastosowań w obrazowaniu metodą rezonansu magnetycznego najlepiej nadają się hel-3 i ksenon-129, które mają spin jądrowy równy 1/2. Jeśli w płucach obecny jest jeden z tych gazów o dużej polaryzacji spinowej jąder, to uzyskuje się lepsze obrazy. Wskazują na to wyniki doświadczeń przeprowadzonych ostatnio przez badaczy z Princeton we współpracy z zespołami z Uniwersytetu Duke'a i z Uniwersytetu Stanu Nowy Jork w Stony Brook. W doświadczeniach tych m.in. po raz pierwszy obserwowano obrazy organów wewnętrznych (w tym płuc) żywego zwierzęcia, świnki morskiej, która wdychała hel-3 o polaryzacji jądrowej ok. 20%.

Trudno jeszcze powiedzieć, jaki będzie koniec tej historii i czy istotnie uda się na tej drodze dać praktykom do ręki tak potrzebną im dobrą metodę otrzymywania obrazu płuc. Doświadczenia z ludźmi są już przygotowywane. Jak mówi prof. Happer ochotników nie brakuje, bo planuje się użycie w nich ksenonu-129, którego wdychanie daje bardzo przyjemne efekty w związku ze znanymi własnościami anestezjologicznymi ksenonu.

Na zakończenie trudno nie przytoczyć refleksji Happera, że opisane tu sukcesy i



nadzieje biorą swój początek w czystych badaniach podstawowych, motywowanych ciekawością praw przyrody, a nie w badaniach nastawionych na cel praktyczny: „Gdyby swego czasu polecono nam znaleźć lepszą metodę uzyskiwania obrazu płuc, nigdy nie doszlibyśmy do miejsca, w którym dziś jesteśmy”.

*Phys. Today* 48, nr 6 (1995)

M. Ł.

## XXVI Międzynarodowa Olimpiada Fizyczna

Zawody XXVI Międzynarodowej Olimpiady Fizycznej (MOF) odbyły się w Canberrze (Australia) w dniach 5 – 12 lipca 1995. Wzięły w nich udział ekipy z 51 państw. Ponadto cztery kraje przysłały swoich obserwatorów, zaś obserwatorem z ramienia Europejskiego Towarzystwa Fizycznego był dr Lars Gislen, zarazem opiekun ekipy szwedzkiej.

Zgodnie z regulaminem każdy kraj mógł przysłać pięciu zawodników (zawodniczek) oraz dwóch delegatów. Polskę reprezentowali zwycięzcy krajowej XLIV Olimpiady Fizycznej, którzy w zawodach krajowych zajęli czołowe miejsca (z wyjątkiem laureata III miejsca, który w nagrodę za wyniki na XLIII i XLIV olimpiadach krajowych uzyskał stypendium na wakacyjny pobyt naukowy w Szwajcarii): Jarosław Simiński, uczeń mgra Leopolda Stefanka, I LO im. Tadeusza Kościuszki w Legnicy; Artur Gawryszczak, uczeń mgra Janusza Kuczyńskiego, Zespół Szkół Technicznych w Chełmie; Edward Goerlich, uczeń dra Jerzego Muchy, V LO im. Augusta Witkowskiego w Krakowie; Jakub Strzałkowski, uczeń dr Elżbiety Zawistowskiej, XIV LO im. Stanisława Staszica w Warszawie i Jakub Zieliński, uczeń mgr Marii Zaborowskiej-Kuśmierk, XXVII LO im. Tadeusza Czackiego w Warszawie.

Opiekunami naszej delegacji byli

członkowie Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej: dr Waldemar Gorzkowski (jednocześnie prezes MOF) – kierownik delegacji i dr Włodzimierz Ungier (sekretarz KG OF ds. zadań teoretycznych) – opiekun pedagogiczny.

Przed zawodami KG OF zorganizował dziesięciodniowy obóz przygotowawczy dla naszej reprezentacyjnej piątki. Część doświadczalna odbywała się w I Pracowni Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (pod kierunkiem dra Andrzeja Wyszmołka), natomiast zajęcia teoretyczne – w Instytucie Fizyki PAN (prowadzili je dr Bronisław Brojan i opiekunowie delegacji).

W czasie zawodów w Canberrze uczniowie otrzymali do rozwiązania 3 zadania teoretyczne (jednego dnia) i 2 zadania doświadczalne (dwa dni później). Na rozwiązanie zadań każdego dnia uczniowie mieli po pięć godzin. Zadania konkursowe były bardzo ciekawe. Jedyne jedno z zadań teoretycznych może budzić pewne zastrzeżenia ze względu na niefizyczne założenie w jednym z podpunktów.

Zawody XXVI MOF były najliczniej obsadzone z dotychczasowych. Liczba krajów uczestniczących przekroczyła oczekiwania organizatorów, mimo to dawali sobie oni dobrze ze wszystkim radę, co niewątpliwie było zasługą przewodniczącego miejscowego Komitetu Organizacyjnego, prof. Rodneya Jory'ego. Do tłumaczenia treści zadań na języki narodowe mieliśmy do dyspozycji komputery IBM z kilkoma bardziej popularnymi edytorami, można też było zainstalować własne programy do edycji tekstów.

Oryginalne teksty zadań, zgodnie ze statutem MOF, są przygotowywane w pięciu językach: angielskim, francuskim, hiszpańskim, niemieckim i rosyjskim (choć ostateczną wersję tekstów zadań omawia się i przygotowuje tylko po angielsku). Statut jednak nie zabrania organizatorom

przygotowania większej liczby wersji językowych. Dzięki temu w tym roku sporo drużyn spotkała miła niespodzianka: organizatorzy przygotowali wstępne teksty zadań w kilkunastu językach, a w tym i po polsku, co bardzo usprawniło pracę.

Rozwiązania zadań były sprawdzane przez lokalną komisję złożoną z fizyków australijskich. Wystawione oceny były następnie omawiane z opiekunami poszczególnych ekip. Najlepszy wynik (95 punktów na 100 możliwych) uzyskał Yu Hai-tao z Chin, tym samym zdobył tytuł absolutnego zwycięzcy XXVI Międzynarodowej Olimpiady Fizycznej. Zgodnie z regulaminem przyznano 25 pierwszych nagród (złote medale), 29 drugich nagród (srebrne medale), 43 trzecie nagrody (brązowe medale) i 54 wyróżnienia, ponadto kilka nagród specjalnych za wyróżniające się rozwiązania niektórych zadań. Europejskie Towarzystwo Fizyczne, podobnie jak w latach ubiegłych, przyznało nagrodę specjalną za najbardziej zrównoważone wyniki w teorii i doświadczeniu, a niżej podpisany ufundował nagrodę dla najlepszego zawodnika z krajów, które uczestniczą w MOF pierwszy raz (zdołał ją zawodnik z Nowej Zelandii).

Nasi uczniowie wypadli marnie. Zdobyl oni tylko jeden medal brązowy (Artur Gawryszczak) oraz trzy wyróżnienia (Jarosław Simiński, Edward Goerlich i Jakub Strzałkowski). Wprawdzie jest to nieco lepiej niż w ubiegłym roku, ale nie zaspokaja naszych ambicji, tym bardziej że nasz najlepszy zawodnik uplasował się dopiero pod koniec pierwszej setki. Nieco pocieszające jest to, że aż trzech naszych uczniów było z klasy przedostatniej i ma szansę wykorzystać zdobyte doświadczenie w przyszłym roku (jeżeli zakwalifikują się do drużyny olimpijskiej).

Co jest przyczyną wyników słabszych niż oczekiwane? Można tu tylko powtórzyć diagnozę z roku ubiegłego (patrz *PF* 45,

614 (1994)). W skrócie: niewątpliwie jedną z najważniejszych przyczyn jest obniżający się systematycznie od kilku lat poziom nauczania fizyki w szkołach średnich. Skutki zubożenia programów nie od razu są widoczne. Doszliśmy już jednak do punktu, w którym „niedouczenie z fizyki” doszło do ostatniej klasy, czego objawem jest m.in. to, że w tym roku liczba laureatów na krajowej Olimpiadzie Fizycznej była ponad dwukrotnie niższa, niż to było jeszcze trzy lata temu.

Chciałbym tu dodać następującą refleksję. Otóż gdy chodziłem do szkoły średniej, to uczyliśmy się przez 6 dni w tygodniu i byliśmy klasyfikowani co „okres” (a w roku szkolnym okresów takich było cztery) i w ostatniej klasie liceum nie było dnia, w którym liczba lekcji byłaby mniejsza niż sześć. Tygodniowo mieliśmy nieco ponad 40 lekcji. I nikt się nad nami nie użalał, że mamy dużo pracy, że mamy dużo stresów itp. My sami też nie biadoliliśmy. Teraz zaś w ostatniej klasie liceum uczniowie mają zaledwie 23 godziny lekcyjne tygodniowo. To musi procentować w taki sposób, jaki obserwujemy na olimpiadzie (nie tylko międzynarodowej). Uczniowie wykazują nie tylko braki merytoryczne z fizyki, ale również nie potrafią formułować swoich myśli w czytelny sposób. Prace zawodników z Olimpiady Fizycznej mogą służyć jako bardzo bogaty materiał źródłowy do ilustracji wszelkich możliwych błędów językowych. Żał patrzeć na prace naszej przyszłej elity intelektualnej rojące się od błędów logicznych, gramatycznych, ortograficznych i wszelkich innych. Zjawisko systematycznego obniżania się poziomu nauczania, i to praktycznie ze wszystkich przedmiotów, jest bardzo niepokojące.

Jak co roku, odbyło się zebranie Komisji Międzynarodowej MOF. Dyskutowano sprawę kryteriów przyznawania nagród oraz wstępnie sprawę opłat za uczest-

nictwo. Dotychczas kraj organizujący ponosi wszelkie koszty związane z organizacją zawodów, a kraje uczestniczące tylko koszty podróży. System ten funkcjonował bardzo dobrze przez wiele lat, ale teraz gdy liczba krajów uczestniczących przekroczyła 50, wielu przyszłych organizatorów nie będzie w stanie zgromadzić odpowiednich funduszy (w większości krajów olimpiady nie są organizowane przez władze państwowe) i olimpiadom międzynarodowym grozi załamanie. Wprowadzenie opłat za uczestnictwo wydaje się więc tylko kwestią czasu.

Program „socjalny”, czyli imprezy towarzyszące, był – jak co roku – bardzo bogaty. Główną atrakcją wycieczek była przyroda australijska, tak odbiegająca od naszej. Program obejmował też wizyty uczestników w domach australijskich. Przyjmujące uczestników rodziny australijskie były z rozmaitych grup społecznych: były to i rodziny robotnicze, i inteligencje, i rolnicy itd. To było bardzo ciekawe i kształtujące. Dla mnie osobiście najbardziej interesująca była wizyta u pani Gwen Wilcox, ministra edukacji w Gabinetcie Cieni i rozmowa na temat współpracy między ministrami: tymi „prawdziwymi” i tymi z Gabinetu Cieni. Okazuje się, że ta współpraca jest dość ścisła – wszystkie ważniejsze posunięcia są wzajemnie konsultowane i nie ma żadnych wrogich działań. Nie bardzo potrafiłbym sobie wyobrazić taką współpracę między naszymi politykami.

Bardzo sympatycznym akcentem było spotkanie naszej drużyny z drem Waldemarem Figajem, radcą naszej ambasady w Canberrze, i jego rodziną. Tym sympatyczniejszym, że w dotychczasowej historii MOF jeszcze się nie zdarzyło, by któraś z naszych ambasad nami się zainteresowała. Miejmy nadzieję, że wspomniane przyjęcie było początkiem pewnych korzystnych zmian.

Zawody następnej, XXVII Międzynarodowej Olimpiady Fizycznej odbędą się w Oslo (Norwegia) w lipcu 1996 r.

Waldemar Gorzkowski

### Coraz więcej zagranicznych prac w *Phys. Rev.*

Liczba prac nadsyłanych do publikacji w czasopismach Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego (APS) rośnie o ok. 8% rocznie i prawdopodobnie przez najbliższe lata wzrost ten będzie się utrzymywał. Spowodowane jest to przede wszystkim stale rosnącą liczbą prac nadsyłanych spoza USA.

Prezes APS powołał specjalną komisję, która przeanalizowała sytuację wydawniczą *Physical Review* i *Physical Review Letters*, opracowała prognozę na następne 5–10 lat i postawiła pewne wnioski w sprawie polityki wydawniczej.

W okresie 1987–93 liczba prac autorów amerykańskich nie zmieniała się znacznie, natomiast rosła liczba prac nadsyłanych spoza USA (obecnie jest ich dwukrotnie więcej niż prac amerykańskich). Zdaniem komisji „czasopisma APS odzwierciedlają światowe rozprzestrzenianie się badań fizycznych i w wielu dziedzinach fizyki są uważane za najlepszy środek reklamy i wartościowania prac”.

Stały, szybki wzrost liczby prac nadsyłanych z zagranicy komisja przypisuje m.in. powiększaniu się społeczności fizyków prowadzących badania, rosnącemu na całym świecie naciskowi „publikuj lub zgiń”, naciskowi pracodawców lub grantodawców aby publikować właśnie w *Phys. Rev.*, oraz temu, że biblioteki, ze względu na wciąż obcinane fundusze a jednocześnie rosnące ceny prenumeraty, rezygnują z zakupu wielu konkurencyjnych w stosunku do *Phys. Rev.* czasopism (to oczywiście skłania autorów do kierowania swoich

prac do bardziej rozpowszechnionego *Phys. Rev.*).

Komisja zaleca redakcjom APS, aby zmniejszyły liczbę przyjmowanych do druku prac o 10 – 20%. Do takiej sytuacji doprowadzić powinno rygorystyczne przestrzeganie wymagania, aby praca wносиła coś nowego do fizyki, a ponadto aby manuskrypt odpowiadał technicznym wymaganiom redakcji oraz był napisany w „przyzwoitej” angielszczyźnie. Dla skrócenia cyklu wydawniczego komisja proponuje przyjmowanie, względnie odrzucanie prac na podstawie opinii tylko jednego recenzenta.

*APS News* 4, nr 5 (1995)

B. W.

### Stanisław Andrzej Ignatowicz (1933 – 1993)

W dniu 20 listopada 1993 r. zmarł Stanisław A. Ignatowicz junior. Mimo, że chorował od dawna, jego śmierć była niespodziewana, gdyż jeszcze kilkanaście dni wcześniej – pełen energii – prowadził zebranie Komitetu Redakcyjnego miesięcznika *Elektronika* przedstawiając swoją wizję działalności na tym polu.

Urodził się 24 maja 1933 r. w Warszawie. Studiował na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Uniwersytetu Warszawskiego. Dyplom magistra fizyki o specjalności fizyka ciała stałego uzyskał w roku 1959. W tym samym roku rozpoczął pracę w Zakładzie Elektroniki Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, który wkrótce (w r. 1960) stał się załącznikiem Instytutu Technologii Elektronowej CEMI.

Wkrótce jego zainteresowania badawcze zwróciły się w kierunku otrzymywania i badania własności cienkich warstw półprzewodników o dużej ruchliwości nośników. Z tego faktu wynikała jego specjalizacja, którą kultywował przez całe swoje ży-

cie zawodowe: technologia próżniowa traktowana jako narzędzie do uzyskiwania i badania cienkich warstw związków półprzewodnikowych typu AII–BVI o dużej ruchliwości nośników prądu. Były to więc przede wszystkim cienkie warstwy HgTe, a następnie – CdHgTe. Ta tematyka badań spowodowała długoletnią współpracę z pracownikami Instytutu Fizyki PAN: Witoldem Giriatem i Jerzym Rauluszkiwiczem, a następnie Robertem Gałązką, których zespoły zajmowały się m.in. syntezą kryształów HgTe i CdHgTe.

Działalność Ignatowicza związana z cienkimi warstwami półprzewodnikowymi miała od początku dwa aspekty. Jeden związany z technologią ich otrzymywania i badaniem ich struktury chemicznej i fizycznej oraz drugi związany z ich zastosowaniami, przede wszystkim w postaci przyrządów galwanomagnetycznych: hallotronów i podzespołów wykorzystujących hallotrony. Z drugiego nurtu działalności wyniknęła długoletnia współpraca z zespołem piszącego te słowa, zajmującym się wówczas technicznymi zastosowaniami zjawisk galwanomagnetycznych.

Jego najważniejsze osiągnięcie badawcze, będące wynikiem wielu lat konsekwentnej pracy – to kompleksowe zbadanie mechanizmów odpowiedzialnych za uzyskiwanie naparowywanych stechiometrycznych cienkich warstw związków półprzewodnikowych o bardzo dużej różnicy przewodności par poszczególnych składników. Badania te, analizujące czynniki wpływające na strukturę chemiczną i fizyczną cienkiej warstwy, takie jak technika „zgodnego” parowania składników związku, rola temperatury podłoża, dodatkowe źródła czynników parowanych, a następnie obróbka cieplna w odpowiedniej atmosferze, zakończyły się sukcesem. Opracowana przez Ignatowicza „zrzutowa” metoda naparowania ze źródła w postaci kryształów półprzewodnika

o określonej granulacji przyniosła doskonałe rezultaty. Uzyskiwane cienkie warstwy, zarówno HgTe jak i  $Cd_{0.1}Te_{0.9}$  wykazały najwyższą dotychczas osiągniętą ruchliwość elektronów, najbliższą ruchliwości uzyskiwanej w monokryształach tych półprzewodników.

Równoległe do prac badawczych zajmował się konstruowaniem hallotronów i podzespołów elektronicznych wykorzystujących je. Z upływem lat powstały konstrukcje hallotronów do pomiarów natężeń pól magnetycznych w bardzo wąskich i nawet krzywoliniowych szczelinach (podłożem była mika). Specjalne rozwiązania hallotronów znalazły zastosowanie do pomiaru pól magnetycznych w kriostatach pracujących w temperaturach azotowych i helowych. Ciekawymi rozwiązaniami były hallotроны z koncentratorami ferrytowymi – znalazły one zastosowanie w automatyce. Są m.in. stale używane jako czujniki położenia wagoników wind kopalnianych.

Jest oczywiste, że tematyka ta stała się również przedmiotem obu jego dysertacji. W roku 1969 w Instytucie Technologii Elektronowej uzyskał stopień doktora nauk technicznych za rozprawę pt. „Otrzymywanie cienkich warstw tellurku rtęciowego (HgTe)”, a w r. 1976 rozprawa pt. „Technologia próżniowa cienkich warstw tellurków i selenków cynkowców” stała się podstawą do uzyskania stopnia doktora habilitowanego. W r. 1992 uzyskał nominację na stanowisko profesora w Instytucie Tele- i Radiotechnicznym.

Podsumowaniem jego wiedzy i zdobytego doświadczenia podczas pracy nad cienkimi warstwami półprzewodnikowymi była napisana wspólnie z drem Andrzejem Kobendzą, jego długoletnim współpracownikiem i przyjacielem monografia, której szczególnie drugie wydanie z roku 1990 – opublikowane w języku angielskim wspólnie przez Państwowe Wydawnictwo

Naukowe i Ellis Horwood Ltd (S. Ignatowicz, A. Kobendza, *Semiconducting Thin Films of A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> Compounds*, PWN – Polish Scientific Publishers, Warszawa, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, 1990) – stanowi ważną pozycję na światowym rynku wydawniczym w swojej dziedzinie.

Ważną dziedziną jego aktywności była działalność wydawnicza. Były to tłumaczenia na język polski 12 książek dla Redakcji Fizyki Państwowego Wydawnictwa Naukowego. Od r. 1980 działał w redakcji miesięcznika *Elektronika* zostając w 1985 r. jego redaktorem naczelnym. W r. 1992 założył kwartalnik *Optoelectronics Review* wydawany w języku angielskim, a stawiający sobie za zadanie informowanie o pracach w dziedzinie optoelektroniki przeprowadzonych w Europie Środkowej i Wschodniej.

W uznaniu jego działalności badawczej i społecznej honorowany był różnymi nagrodami i odznaczeniami jak: Zespołowa Nagroda Państwowa II stopnia w 1972 r., Nagroda Komitetu Nauki i Techniki w 1967 r., Złoty Krzyż Zasługi w 1984 r. Ponadto był posiadaczem Złotej Odznaki Honorowej Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Medalu im. prof. J. Groszkowskiego i Srebrnej Odznaki Honorowej Naczelnej Organizacji Technicznej.

Odszedł w pełni sił twórczych, do ostatnich chwil opracowując plany wielu, niestety niespełnionych zamierzeń.

*Andrzej Kobus*

## **E.P. Wigner (1902 – 1995)**

Dnia 1 stycznia 1995 zmarł Jenó Pál (Eugene Paul) Wigner, fizyk amerykański pochodzenia węgierskiego, który wniósł wielki wkład do fizyki teoretycznej.

Urodził się 17 listopada 1902 w Buda-

peszcie. Wprawdzie już w szkole średniej postanowił zostać fizykiem, ale ze względów praktycznych, za namową ojca, studiował inżynierię chemiczną na Politechnice Berlińskiej. W Berlinie była zresztą wówczas grupa wybitnie zdolnych Węgrów, m.in. Michael Polanyi, Leo Szilard, John von Neumann, z którymi Wigner był zaprzyjaźniony. Za namową von Neumanna, Wigner zaczął wprowadzać do mechaniki kwantowej metodę teorii grup i zastosował ją do klasyfikacji widm atomowych. Później w Getyndze, gdzie pracował u Maxa Borna, rozwinął pojęcia symetrii (parzystości i odwrócenia czasu) w zastosowaniu do mechaniki kwantowej.

W połowie lat trzydziestych wyjechał do USA do Uniwersytetu w Princeton. W fizyce jądrowej wyprowadził, wspólnie z G. Breittem, wzór na przekrój czynny w jądrowych zjawiskach rezonansowych (tzw. wzór Breita-Wignera), wprowadził też ideę spinu izotopowego (izospinu).

Gdy w 1939 r. zostało odkryte rozszczepienie jądrowe, Wigner, Fermi i Szilard rozpoczęli badania nad możliwością uzyskania reakcji łańcuchowej. Wigner wspólnie z Leo Szilardem i Edwardem Tellerem namówił Einsteina do podpisania historycznego listu do prezydenta Roosevelta w sprawie konieczności rozpoczęcia w USA prac nad bombą atomową. Jak wiadomo, Fermi zbudował w Chicago pierwszy reaktor jądrowy w 1942 r. Wigner z małą grupą młodych, wybitnie utalentowanych ludzi zajmował się projektowaniem reaktorów produkujących pluton, bardzo mu się tu przydawało jego wykształcenie inżyniera chemika. Gdy jednak zdał sobie sprawę z potwornych skutków broni jądrowej, podpisał w 1945 r. apel przeciw jej używaniu. W 1946 r. rozpoczął prace nad reaktorami do celów pokojowych, wkrótce jednak powrócił do życia akademickiego i problemów fizyki teoretycznej.

W 1963 r. Wigner otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki (jednocześnie z J.H.D. Jensenem i Marią Goeppert-Mayer) za swój wybitny wkład do fizyki jądrowej i sformułowanie prawa zachowania parzystości. Był autorem książek: *Dispersion Relations and their Connection with Causality* (1964) i *Symmetries and Reflections* (1967).

B. W.

## Eugeniusz Gabryelski (1928 - 1995)

Dnia 16 stycznia 1995 r. zmarł dr Eugeniusz Gabryelski, wybitny nauczyciel i popularyzator fizyki, wielce zasłużony dla Ziemi Opolskiej.

Gabryelski urodził się 27 kwietnia 1928 r. w Sompolnie (pow. Koło, woj. poznańskie). Po ukończeniu liceum ogólnokształcącego w Kole rozpoczął pracę jako nauczyciel szkół podstawowych. W następnych latach podnosi stale swoje kwalifikacje zawodowe: w 1954 uzyskuje w WSP w Gdańsku dyplom nauczyciela fizyki szkół ponadpodstawowych, w 1960 r. w WSP w Opolu – tytuł magistra fizyki i w 1974 r. w Instytucie Badań Pedagogicznych – stopień doktora nauk pedagogicznych. W latach 1963–64 w ramach International Teacher Development Program odbywał staż w uczelniach amerykańskich.

Z Opolszczyzną związał się już w drugiej połowie lat pięćdziesiątych. Był kierownikiem sekcji fizyki Wojewódzkiego Ośrodka Doskonalenia Kadr Oświatowych w Opolu. Od 1973 r. pracował w Instytucie Kształcenia Nauczycieli i Badań Oświatowych, prowadził też zajęcia z dydaktyki fizyki w WSP w Opolu. Należał do pierwszych w Polsce nauczycieli badających osiągnięcia szkolne metodą pomiaru dydaktycznego. Opracowywał sprawdziany testowe wiedzy uczniów licealnych i kandydatów na studia. Dobra znajomość angiel-

skiego i niemieckiego ułatwiała mu przenoszenie na grunt krajowy nowości światowych z zakresu dydaktyki nauk ścisłych. Był autorem podręczników fizyki i radiotechniki oraz zestawów testowych dla liceów i techników. Szczególnie bliskie kontakty miał z nauczycielami z Opolszczyzny.

W jego pracach pomagała mu jego żona, Maria z Gruszeckich Gabryelska, również nauczycielka fizyki. Swoich zainteresowań nie ograniczał do dydaktyki fizyki – prowadził też z wielkim przekonaniem działalność polityczną w Stronnictwie Demokratycznym.

Był odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, srebrnym i złotym Krzyżem Zasługi, Medalem Komisji Edukacji Narodowej. Wspominać go będziemy z podziwem i wdzięcznością za wyjątkowe przymioty umysłu i serca.

*Jerzy Duda*

### Mieczysław F. Pazdur (1946 – 1995)

W dniu 11 maja 1995 zmarł nagle w Gliwicach Mieczysław F. Pazdur, profesor i dziekan Wydziału Matematyczno-Fizycznego Politechniki Śląskiej.

Mieczysław F. Pazdur urodził się w 1946 r. w Tuchowie. Studia wyższe z fizyki ukończył w 1969 r. na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Z Politechniką Śląską był związany od 1970 r. Jego liczne prace badawcze dotyczyły szeroko pojętych datowań metodą C-14. W dziedzinie chronometrii radiowęglowej był autorytetem naukowym na skalę światową – był członkiem Komitetu Naukowego Międzynarodowej Konferencji Radiowęglowej i ekspertem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. W kraju był członkiem Komitetu Badań Czwartorzędu PAN, gdzie od 1984 r. pełnił

funkcję przewodniczącego Sekcji Chronologii i Datowania Bezwzględnej. Był członkiem założycielem Komisji Paleogeografii Oddziału PAN w Krakowie.

Kierowane przez niego Laboratorium Radiowęglowe stało się uznanym w świecie ośrodkiem naukowo-badawczym. U źródeł tego sukcesu z całą pewnością leżała cechująca prof. Pazdura umiejętność przeniesienia fizycznego sposobu myślenia do takich nauk, jak geologia, geografia, paleobotanika czy archeologia. Był reprezentantem dobrze pojmowanej fizyki stosowanej i badań interdyscyplinarnych. Wiele uwagi poświęcił także innym metodom datowania (termoluminescencji, elektronowemu rezonansowi paramagnetycznemu, dendrochronologii). Wszystkie te cechy można odnaleźć w zainicjowanej przez niego cyklicznej konferencji „Metody chronologii bezwzględnej”, która stała się forum porozumienia między badaczami reprezentującymi zarówno fizykę, nauki o Ziemi, jak i archeologię.



Mieczysław F. Pazdur

Profesor Pazdur prowadził aktywną działalność wychowawczą i dydaktyczną. Jako dziekan ostatnie dwa lata swego życia poświęcił reorganizacji i modernizacji Wydziału Matematyczno-Fizycznego Politechniki Śląskiej. Był twórcą kierunku studiów „Fizyka środowiska”, co zaowocowało znacznym wzrostem liczby studentów. Szczególną troską otaczał swoich młodszych współpracowników.

W latach 1980–81 silnie zaangażował się w walkę o przemiany ustrojowe w kraju. Był członkiem Komitetu Założycielskiego, a następnie Komisji Zakładowej I kadencji

NSZZ „Solidarność” Politechniki Śląskiej. Za swoją działalność był w 1982 r. internowany.

Przez cały okres swojej pracy w Politechnice Śląskiej Mieczysław F. Pazdur był członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego. W latach 1988–92 pełnił funkcję przewodniczącego Oddziału Gliwickiego PTF.

Żegnamy człowieka, naukowca, fizyka o szerokim umyśle, którego życie – tak wcześniej przerwane – pozostawiło trwałe ślady w naszych sercach i umysłach.

*Roman Bukowski*



## 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).

### 1995

13 – 15 października 1995, Kraków

#### **Workshop on crystal-field effects in transition-metal compounds**

Inst. Fizyki i Informatyki WSP Kraków i Inst. Fizyki UJ; prof. R.J. Radwański, CSSP, ul. św. Filipa 5, 31-150 Kraków, adr.el.: sfradwan@cyf-kr.edu.pl.

Z: 15.9.95, A: 15.9.95, P, U: 60, ang.

23 – 26 października 1995, Spała

#### **III Seminarium: Powierzchnia i struktury cienkowarstwowe**

Inst. Technologii Elektronowej, patronat: Sekcja Nauki o Powierzchni i Sekcja Cienkich Warstw Polskiego Towarzystwa Próżniowego; doc. dr hab. inż. Jerzy Kątcki, ITE, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, tel.: 435401 w. 305 lub 302, fax: 470631, adr.el.: katcki@ite.waw.pl.

P, O: 280 zł (wraz z zakwaterowaniem i wyżywieniem).

7 – 12 listopada 1995, Zakopane

#### **Nonlinear dynamics, chaotic and complex systems**

Directorate General XII EC, KBN, PAN, PAEA; dr A. Gałkowski, IFPLM, Radiowa 3, 00-908 Warszawa, skr.poczt. 49, fax: 366272, adr.el.: ifplms@cx1.cyf.gov.pl.

O: ok. 1300 zł (wraz z zakwaterowaniem i wyżywieniem), ang.

5 – 8 grudnia 1995, Toruń

#### **XXVIII Symposium on mathematical physics**

Inst. Fizyki UMK, Redakcja *Rep. Math. Phys.*, KBN; Komitet Organizacyjny XXVIII SMP, IF UMK, Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, tel.: 22367, fax: 25397, adr.el.: romp95@phys.uni.torun.pl.

Z: 31.9.95, P, O: 130 USD, ang.

14 – 16 grudnia 1995, Wrocław

#### **II Krajowa Konf.: Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych**

Wrocławskie Tow. Naukowe, patronat: Kolegium Rektorów Uczelni Wrocławskich, KBN, Oddz. Wrocławski PAN; WTN, Parkowa 13, 51-616 Wrocław, tel.: 484061.

1996

29 – 30 stycznia 1996, Warszawa

**Physics at the turn of the century – sesja naukowa w ramach „75 lat fizyki na Hożej”**

Wydział Fizyki UW, prof. K. Ernst, Inst. Fizyki Doświadczalnej UW, Hoża 69, 00-681 Warszawa, adr.el.: ernst@fuw.edu.pl.

luty lub marzec 1996, Kraków

**Szkoła Analizy Termicznej**

Polskie Tow. Kalorymetrii i Analizy Termicznej i AGH, prof. Andrzej Małecki, Zakł. Chemii Nieorganicznej, Wydz. Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel.: 338898 lub 172470, fax: 338898, telex: 0322203 agh pl.

19 – 29 lutego 1996, Karpacz

**32. Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej – Fizyka ciała stałego: mechanika kwantowa a technika**Inst. Fizyki Teoretycznej UWr, prof. Jerzy Przystawa, IFT UWr, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław, tel.: 222363, 201423, fax: 214454, adr.el.: przystaw@ift.uni.wroc.pl.  
P, U: 100, ang.

20 – 24 maja 1996, Warszawa

**Polarimetry and Ellipsometry**Polish Chapter SPIE i Inst. Optyki Stosowanej, prof. M. Pluta, IOS, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa, tel.: 184497, fax: 133265, tlx: 825960 ios pl.  
P.

10 – 14 czerwca 1996, Polanica Zdrój

**18th Internat. Seminar on Surface Physics**Inst. Fizyki Doświadczalnej UWr, dr hab. Adam Kiejna, IFD UWr, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław, tel.: 201267, 201266, fax: 223365, adr.el.: sem96@max.ifd.uni.wroc.pl.  
Z: 15.11.95, A: 1.3.96, U: 120, P, O: równowartość 260 USD (wraz z zakwaterowaniem i wyżywieniem), ang.

10 – 20 lipca 1996, Białowieża

**Szkoła: Electrons in Solids: Experiment and Theory**

prof. Ludwik Dobrzyński, adr.el.: ludwik@cksr.ac.bialystok.pl.

25 – 31 lipca 1996, Warszawa

**XXVIII International Conference on High Energy Physics**patronat IUPAP, org. prof. A.K. Wróblewski, Inst. Fizyki Doświadczalnej UW, Hoża 69, 00-681 Warszawa, WWW: <http://info.fuw.edu.pl/HEP/ICHEP96/Welcome.html>.

3 – 6 sierpnia 1996, Jaszowiec

**Int. Conf. on Electron Localization and Quantum Transport in Solids**

PTF i IF PAN, prof. T. Dietl, IF PAN, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, tel.: 435324,

fax: 430926, adr.el.: loc@ifpan.edu.pl.

A: 15.4.96, U: 200, ang.

17 – 20 września 1996, Warszawa

**Contact and Confocal Microscopic Techniques**

Polish Chapter SPIE i Inst. Optyki Stosowanej, prof. M. Pluta, IOS, Kamionkowska 18,

03-85 Warszawa, tel.: 184497, fax: 133265, tlx: 825960 ios pl.

P.

## NOWE KSIĄŻKI

- H.-O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe, *Granice chaosu, Fraktale, część 1*, z jęz. angielskiego tłum. K. Pietruska-Pałuba i K. Winkowska-Nowak, PWN, Warszawa 1995, s. 543.
- Robert Matthews, *O najskrytszych zamysłach Pana Boga. Tajemnice na pograniczu wiedzy*, z jęz. angielskiego tłum. Aleksandra Kopystyńska, Książka i Wiedza, Warszawa 1995, s. 279.

## 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 TeX-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 1995 r. wynosi 8 zł 25 gr za pół roku, 16 zł 50 gr za rok.

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

- 1) Wpłaty na prenumeratę przyjmują:
  - a) jednostki kolportażowe „RUCH” S.A. właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora. Dostawa egzemplarzy następuje w uzgodniony sposób;
  - b) od osób lub instytucji zamieszkałych lub mających siedzibę w miejscowościach, w których nie ma jednostek kolportażowych „RUCH”, wpłaty należy wносить na konto „RUCH” S.A. Oddział Warszawa w PBK XIII O/Warszawa 370044-1195-139-11 lub w kasach Oddziału Warszawa, ul. Towarowa 28. Dostawa w takim przypadku odbywa się pocztą zwykłą.
- 2) Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej. Wpłaty przyjmuje „RUCH” S.A. Oddział Warszawa na wyżej podane konto 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 na prenumeratę krajową i zagraniczną od osób zamieszkałych w kraju: do 20 listopada – na I półrocze roku następnego, do 20 maja – na II półrocze roku bieżącego.
- 4) Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru w danym roku kalendarzowym.
- 5) Informacje o warunkach prenumeraty i sposobie zamawiania udziela „RUCH” S.A. Oddział Warszawa, 00-958 Warszawa, ul. Towarowa 28, tel. 620-10-39, 620-10-19, 620-12-71 w. 2442, 2366.

### PRENUMERATA ZA POŚREDNICTWEM ZG PTF

Prenumeratę można także zamówić w Zarządzie Głównym PTF, drogą wpłaty na konto ZG PTF w Banku Gdańskim IV O/Warszawa 300009-6695-132 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 tym przypadku 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 Warszawa, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, Poland.

## SPIS TREŚCI

P. Armbruster, S. Hofmann, A. Sobiczewski – Synteza pierwiastków 110 i 111	431
J. Braziewicz – Całkowite odbicie zewnętrzne promieni X: nowe zastosowania	453
WSPOMNIENIA – ROCZNICE	
B. Średniawa – Katedra Historii Nauk Ścisłych Uniwersytetu Jagiellońskiego	479
ROZMOWY	
Nie cierpiałem szkoły średniej – Rozmowa z K.G. Wilsonem	485
ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH	
H. Szydłowski – Fizyczne laboratorium mikrokomputerowe	497
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	515
RECENZJE	523
KRONIKA	527

## CONTENTS

P. Armbruster, S. Hofmann, A. Sobiczewski – Synthesis of the elements 110 and 111	431
J. Braziewicz – External total reflection of X rays: new applications	453
RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES	
B. Średniawa – Department of History of Sciences of the Jagiellonian University	479
DEBATES	
I hated high school – An interview with K.G. Wilson	485
PROBLEMS OF TEACHING PHYSICS IN ACADEMIC SCHOOLS	
H. Szydłowski – Microcomputer based physics laboratory	497
MEETINGS AND CONFERENCES	515
REVIEWS	523
CHRONICLE	527