

PTF

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK
POŚWIĘCONY
UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY
FIZYCZNEJ

TOM 42
ZESZYT 3
1991

0013563
BIBLIOTEKA INSTYTUTU FIZYKI
ul. Dąbrowskiego 26-28
20-031 Łódź tel. 71-42-04

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD

Prezes

Prof. dr JANUSZ ZAKRZEWSKI

Wiceprezesa

Prof. dr ANDRZEJ OLEŚ

Prof. dr TADEUSZ SKALIŃSKI

Sekretarz Generalny

Prof. dr STANISŁAW G. ROHOZIŃSKI

Skarbnik

Doc. dr TADEUSZ PNIEWSKI

Członkowie Zarządu

Dr TERESA BIAŁECKA

Prof. dr JERZY DEMBCZYŃSKI

Prof. dr STANISŁAW HAŁAS

Prof. dr STANISŁAW ŁĘGOWSKI

Doc. dr STANISŁAW MICHAŁAK

Prof. dr JÓZEF TERLECKI

Prof. dr CECYLIA WESOŁOWSKA

oraz redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI - *Postępy Fizyki*

Prof. dr WIESŁAW CZYŻ - *Acta Physica Polonica*

Dr JAN KALINOWSKI - *Delta*

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

Przewodniczący Oddziałów Towarzystwa

Doc. dr MICHAŁ ŚWIĘCKI (Białystok)

Doc. dr MIKOŁAJ ROZWADOWSKI (Bydgoszcz)

Dr WŁODZIMIERZ ZAPART (Częstochowa)

Doc. dr JERZY GRZYWACZ (Gdańsk)

Doc. dr MIECZYŚLAW F. PAZDUR (Gliwice)

Doc. dr WIESŁAW ZAREK (Katowice)

Dr ADAM S. WROŃSKI (Kielce)

Prof. dr JERZY BLICHARSKI (Kraków)

Prof. dr STANISŁAW HAŁAS (Lublin)

Doc. dr JERZY GAWIN (Łódź)

Doc. dr MIECZYŚLAW PIRÓG (Opole)

Doc. dr STANISŁAW K. HOFFMANN (Poznań)

Prof. dr MAREK RYTEL (Rzeszów)

Dr HENRYK WREMBEL (Słupsk)

Doc. dr TADEUSZ REWAJ (Szczecin)

Prof. dr ANDRZEJ BIELSKI (Toruń)

Prof. dr JAN ŻYLICZ (Warszawa)

Doc. dr MARIA SUSZYŃSKA (Wrocław)

ADRES ZARZĄDU

00-681 Warszawa, ul. Hoża 69

tel. 21 26 68

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

0001353

UNIwersYTET MARIi CURIE-SKŁODOWSKIEJ
Biblioteka Instytutu Fizyki
pl Marii Curie-Skłodowskiej 1
20-031 Lublin, tel. 37-82-94

POSTĘPY FIZYKI

**DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ**

TOM 42, ZESZYT 3
1991

RADA REDAKCYJNA

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

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: Adam Sobiczewski
Członkowie Redakcji: Tomasz Dietl, Magdalena Staszal, Barbara Wojtowicz

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

Korespondenci Oddziałów PTF

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

Dział Wydawnictw Instytutu Fizyki PAN - Al. Lotników 32/46, Warszawa

Nakład 1200+100 egz. Skład w Dziale Wydawnictw Instytutu Fizyki PAN
Druk w Spółdzielni Rzemieślniczej "Poligrafia", Warszawa, Bonifacego 157

Igor Kosacki

Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn

Wyższa Szkoła Inżynierska, Radom

Fizyka i zastosowanie kryształów superjonowych $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$

Physics and applications of $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ superionic crystals

Abstract: A review of the results of investigations on the $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ superionic properties and their applications is given.

1. Wstęp

Własności elektryczne ciał stałych są zazwyczaj związane z ruchem elektronów. Udział jonów w przewodnictwie elektrycznym jest pomijalnie mały i staje się znaczący dopiero w temperaturze bliskiej temperaturze topnienia materiału. Transport jonowy jest charakterystyczny dla cieczy i gazów, jednakże są znane materiały krystaliczne charakteryzujące się możliwością uzyskania w nich wysokich wartości przewodnictwa jonowego. Materiały te nazywane są przewodnikami superjonowymi [1,2]. Jedną z ważniejszych cech przewodników superjonowych jest ich anomalnie duża – w porównaniu z innymi ciałami stałymi – wartość przewodnictwa jonowego. Przewodnictwo jonowe tych materiałów osiąga w temperaturach znacznie niższych od punktu topnienia wartości $(10^{-1} - 10^0)\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, podczas gdy przewodnictwo typowych kryształów jonowych wynosi $(10^{-8} - 10^{-9})\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. Tak więc przewodnictwo materiałów superjonowych jest porównywalne z przewodnictwem w stanie stopionym. W związku z tym przewodniki superjonowe nazywa się również stałymi elektrolitami. To określenie najlepiej odzwierciedla własności przewodników superjonowych łączących cechy ciała stałego i elektrolitu. Przewodniki superjonowe są materiałami charakteryzującymi się sprężystością i mechaniczną twardością ciał stałych oraz wysokim przewodnictwem jonowym charakterystycznym dla elektrolitów.

Prace dotyczące badań własności przewodników superjonowych zostały zapoczątkowane przez Faradaya ponad 100 lat temu, jednakże intensywne badania tych materiałów prowadzone są dopiero od początku lat siedemdziesiątych.

Powrót zainteresowania nimi badaczy związany jest z rozwojem fizyki ciał niekryształicznych i jest stymulowany możliwościami zastosowań ich wyjątkowych własności. Już teraz materiały superjonowe są wykorzystywane jako stałe elektrolity do budowy nowych źródeł energii elektrycznej, przetworników informacji, kondensatorów o wyjątkowo dużej pojemności elektrycznej oraz różnego rodzaju czujników [2-4].

Przełomowym dla rozwoju fizyki przewodników superjonowych wydarzeniem było otrzymanie w 1966 r. nowego materiału – Ag_4RbJ_5 oraz jego zastosowanie w elektrochemicznych źródłach prądu z przeznaczeniem ich do pracy w warunkach kosmicznych [5]. Głównymi zaletami baterii elektrycznych wykorzystujących przewodniki superjonowe są: mechaniczna trwałość, niezawodność i długi czas pracy [2,6]. Bardzo ważnym okazał się również fakt, że Ag_4RbJ_5 charakteryzuje się wysokim przewodnictwem już w temperaturach -150°C !

Prace badawcze z zakresu przewodników superjonowych są prowadzone w dwóch kierunkach. Jeden z nich jest związany z określeniem możliwości modyfikacji własności przewodników superjonowych, drugi natomiast dotyczy poszukiwań nowych materiałów. Oba kierunki badań mają na celu wyjaśnienie przyczyn występowania anomalnie dużego przewodnictwa jonowego i opracowanie modelu poprawnie opisującego własności przewodników superjonowych oraz wskazanie możliwości ich zastosowań.

Wysokie przewodnictwo kryształów superjonowych może być związane z obecnością domieszek lub też z obecnością defektów strukturalnych w jednej z podsieci kryształu. Do pierwszej grupy należy zaliczyć związki o ogólnym wzorze $\text{B}_2\text{O}_2:n\text{M}_2\text{O}_3$ ($\text{B}=\text{Na},\text{K},\text{Rb},\text{Ag}$; $\text{M}=\text{Al},\text{Ga},\text{Fe}$). Przewodnictwo tych materiałów jest związane z ruchem jednowartościowych jonów B [2,4,8]. Przykładem materiałów, których własności superjonowe są związane z występowaniem defektów w podsieci kationowej są związki srebra lub miedzi – AgJ , Ag_4RbJ_5 , AgCl , AgBr , CuJ , CuCl , Cu_2HgJ_5 [2,8].

Z formalnego punktu widzenia, proces przejścia kryształu do stanu superjonowego jest podobny do przejścia typu porządek – nieporządek [7]. Przewodniki superjonowe, w których zdefektowaniu ulega jedna z podsieci kryształu są interesującym przykładem materiałów gdzie koncentracja defektów generowanych temperaturowo może zmieniać się w szerokim zakresie. Dla większości kryształów superjonowych zmiany te wynoszą od 0,01% do 10% ogólnej liczby jonów podsieci krystalicznej. Z tego powodu proces przejścia kryształu do stanu superjonowego określa się jako "topienie" jego podsieci. W przypadku dużej koncentracji defektów, dynamiczne własności kryształu nie mogą być opisywane tradycyjnymi metodami ciała stałego i do ich opisu należy stosować modele hydrodynamiczne [1,2,8]. Przejście od klasycznego opisu ruchu jonów w kryształach do opisu stochastycznego wyznacza porównanie czasów przebywania jonu w węzle sieci krystalicznej

licznej (t_d) z czasem jego przelotu między węzłami (t_f). Dopóki jest spełniony warunek $t_d > t_f$, to do opisu ruchu jonów może być stosowany model klasyczny [7].

Przewodniki superjonowe są materiałami, w których w znacznym stopniu ulega zaburzeniu regularność sieci krystalicznej, w rezultacie czego podstawowe pojęcia fizyki ciała stałego takie jak fonony, pasma energetyczne czy strefa Brillouina muszą być w znacznym stopniu zmodyfikowane [1].

Podstawowymi metodami badawczymi przewodników superjonowych są pomiary transportu jonowego i dynamiki sieci krystalicznej. Transport jonowy i dynamiczne własności kryształu są wyznaczone przez oddziaływanie między jonami sieci krystalicznej. Oddziaływanie to określa częstości i formę drgań sieci oraz parametry charakteryzujące transport jonowy takie jak energia aktywacji czy współczynnik dyfuzji. W związku z tym badania dynamiki sieci kryształów superjonowych odgrywają kluczową rolę w poznaniu natury stanu superjonowego.

W naszym zespole są prowadzone od 1983 roku badania własności fizycznych kryształów superjonowych o strukturze fluorytu. Wynikiem tych prac jest otrzymanie nowego materiału superjonowego i zastosowanie go do budowy źródła energii elektrycznej nowego typu. W ogniwie tym rolę elektrolitu spełnia kryształ mieszany $Cd_{0,4}Pb_{0,6}F_2$.

W tym artykule zostaną przedstawione wyniki badań dynamiki sieci, własności termodynamicznych i transportu jonowego kryształów fluorytów oraz przykłady ich zastosowań. Silnemu zdefektowaniu kryształów superjonowych, jak to zostanie pokazane na przykładzie kryształów fluorytów, towarzyszy występowanie anomalii w widmach rozpraszania ramanowskiego i promieni rentgenowskich oraz anomalii ciepła właściwego. Anomalie te są związane z efektami statystycznego zdefektowania kryształu. Celem artykułu jest przedstawienie Czytelnikowi na przykładzie wybranych przewodników superjonowych wzajemnych korelacji pomiędzy dynamiką sieci i transportem jonowym a strukturą pasmową i specyfiką oddziaływań między jonami sieci krystalicznej.

Intencją autora jest przedstawienie drogi, jaką należy pokonać od badań o charakterze podstawowym poprzez interpretację obserwowanych zjawisk do przykładów realizacji urządzeń wykorzystujących uzyskane wyniki badań.

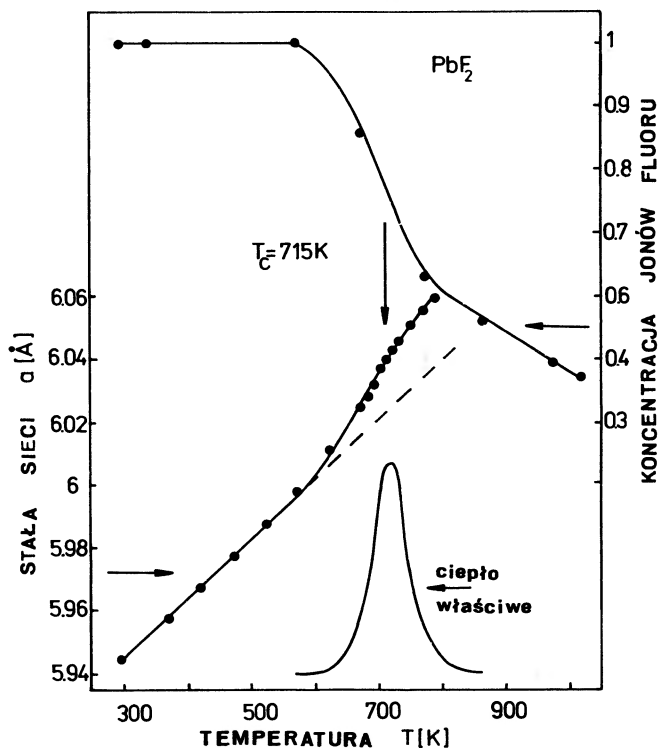
2. Struktura pasmowa i superjonowe własności kryształów fluorytów

Własności superjonowe kryształów z grupy fluorytu (CaF_2 , BaF_2 , SrF_2 , PbF_2) są związane ze zdefektowaniem podsieci fluorowej [1,7,8]. Proces przejścia tych kryształów do stanu superjonowego przebiega monotonicznie ze wzrostem temperatury. W temperaturach znacznie niższych od punktu topnienia stwierdzono występowanie anomalii ciepła właściwego, którą interpretuje się jako wynik

kolektywnych oddziaływań anionowych defektów Frenkla powstałych w procesie roztapiania podsieci fluorowej [7,9].

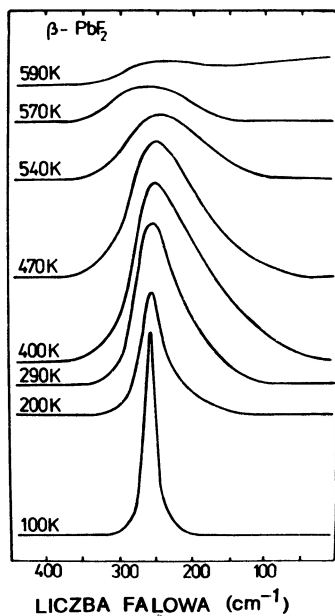
Temperaturę, w której obserwuje się osobliwości ciepła właściwego określa się jako temperaturę przejścia kryształu do stanu superjonowego. Spośród kryształów fluorytów, kryształy PbF_2 wyróżniają się najniższą temperaturą przejścia do stanu superjonowego ($T_c \approx 700$ K) oraz najwyższym stopniem zdefektowania podsieci fluorowej [8,10].

Na podstawie wyników badań rozpraszania neutronów ustalono, że ze wzrostem temperatury, jony fluorów zajmują nowe równowagowe położenia w sieci krystalicznej [11]. Sieć krystaliczna fluorytu (grupa przestrzenna $Fm\ 3m$) utworzona jest z regularnej płasko centrowanej podsieci anionów umieszczonych w punktach $(1/4, 1/4, 1/4)$ kationy natomiast umieszczone są w lukach tetraedrycznych podsieci anionowej. "Roztopienie" podsieci fluorowej polega na przesunięciu fluorów w nieobsadzone kationami położenia $(1/2, 1/2, 1/2)$ [10]. Ilość opuszczających położenia równowagowe fluorów zwiększa się ze wzrostem temperatury i w pobliżu przejścia do stanu superjonowego wynosi ok. 10% dla kryształów SrF_2 [11], 20% dla BaF_2 [12] i ok. 30% dla PbF_2 [13]. Rysunek 1 przedstawia temperaturową zależność koncentracji fluorów znajdujących się w położeniach $(1/4, 1/4, 1/4)$ sieci krystalicznej PbF_2 obliczoną na podstawie wyników rozpraszania neutronów [10]. Na rysunku tym zaznaczono również rezultaty pomiarów ciepła właściwego [14]. W temperaturach odpowiadających przejściu kryształu PbF_2 do stanu superjonowego ($T_c = 715$ K) ok. 30% fluorów opuszcza swoje położenia w węzłach sieci. Efekty zdefektowania podsieci fluorowej przejawiają się również w temperaturowych pomiarach stałej sieci. Dla kryształów PbF_2 obserwuje się odstępstwa od liniowej zależności stałej sieci w temperaturach powyżej 600 K [15] co dobrze koreluje z pojawieniem się anomalii ciepła właściwego [14]. Efekt "roztapiania" podsieci fluorowej jest ściśle związany z dynamiką sieci kryształu i znajduje odzwierciedlenie w pomiarach przewodnictwa jonowego i widm fononowych. Dogodną metodą obserwacji przejścia kryształów fluorytów do stanu superjonowego są badania rozpraszania ramanowskiego. W kryształach tych występuje jeden ramanowsko-aktywny typ drgań o symetrii T_{2g} . Mod ten związany jest z symetrycznym przesunięciem jonów fluoru względem nieruchomych kationów [7]. Tak więc proces "roztapiania", ze wzrostem temperatury, podsieci fluorowej będzie miał wpływ na widmo ramanowskie kryształów. Wpływ zdefektowania podsieci anionowej na widmo rozpraszania ramanowskiego kryształów był wszechstronnie dyskutowany w pracy [16]. Przedstawiono również wyniki obliczeń gęstości spektralnej linii ramanowskiej, jej temperaturowego przesunięcia i poszerzenia przy uwzględnieniu efektów anharmonizmu 3 i 4 rzędu oraz silnego zdefektowania podsieci anionowej w kryształach CaF_2 , SrF_2 , BaF_2 . Tak więc badania rozpraszania ramanowskiego są bardzo ważne dla zrozumienia procesu zdefektowania podsieci



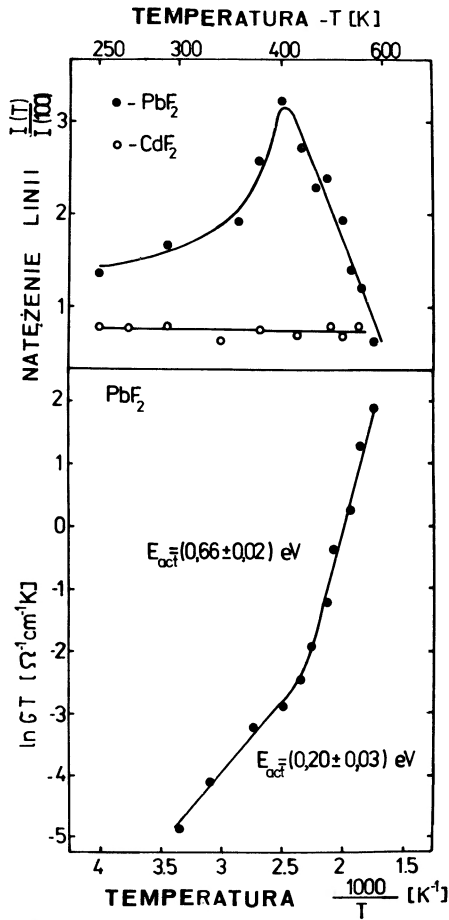
Rys.1. Temperaturowe zależności ciepła właściwego, stałej sieci oraz koncentracji fluorów znajdujących się w położeniach węzłowych kryształu PbF_2

anionowej kryształów superjonowych o strukturze fluorytu. Temperaturowe badania formy linii ramanowskiej dostarczają cennych informacji związanych z mechanizmem przejścia kryształów do stanu superjonowego. Rysunek 2 przedstawia zmiany widma ramanowskiego kryształów PbF_2 w funkcji temperatury [17]. W temperaturze 100 K drganiom T_{2g} odpowiada linia o częstotliwości $\omega_R = 258 \text{ cm}^{-1}$. Ze wzrostem temperatury obserwuje się typowe jej przesunięcie w stronę niższych częstotliwości, zwiększenie jej szerokości połówkowej oraz pojawienie się asymetrii. Dla przewodników superjonowych, na skutek małej bariery potencjału dla węzłowych i międzywęzłowych jonów uczestniczących w transporcie można oczekiwać szczególnie silnych efektów anharmonizmu sieci. W wysokich temperaturach mogą one prowadzić do występowania anomalii rozpraszania ramanowskiego uwarunkowanych efektami zdefektowania sieci. Takie anomalie obserwuje się w kryształach PbF_2 . Dla tych kryształów występuje silniejsza, w porównaniu z CdF_2 , temperaturowe pszerzenie linii oraz silna jej asymetria [17]. Temperaturowa zależność



Rys.2. Widma ramanowskie kryształów PbF_2

intensywności linii ramanowskiej kryształów PbF_2 i CdF_2 przedstawiona jest na rys. 3. W przypadku kryształów CdF_2 natężenie linii słabo zależy od temperatury i jego temperaturowa zależność jest typowa dla większości ciał stałych. Natomiast dla PbF_2 obserwuje się w przedziale temperatur 100–400 K wzrost natężenia linii a następnie gwałtowny jego spadek [17]. Zaobserwowane anomalie intensywności linii ramanowskiej kryształów PbF_2 są związane z efektami zdefektowania podsieci fluorowej. Wzrost ten można wyjaśnić pojawieniem się w widmie ramanowskim fononów spoza centrum strefy Brillouina. Obserwowane zmniejszenie intensywności linii w temperaturach powyżej 400 K jest związane z efektami "topnienia" podsieci fluorowej i koreluje ze zmianą mechanizmu transportu jonowego. Energia aktywacji przewodnictwa wyznaczona dla jego wysokotemperaturowej części wynosi $E_{act} = 0,66 \text{ eV}$ i wskazuje na udział w transporcie jonów fluoru (rys.3) [18]. "Roztopianie" podsieci fluorowej PbF_2 prowadzi do zmniejszenia koncentracji węzłowych jonów fluoru (rys.1) uczestniczących w drganiu T_{2g} co przejawia się w gwałtownym zmniejszeniu całkowitej intensywności linii ramanowskiej w jej temperaturach powyżej 400 K. Podobną zależność intensywności linii ramanowskiej od temperatury obserwuje się dla kryształów AgJ [19]. Przedstawione tu wyniki pomiarów rozpraszania ramanowskiego i transportu jonowego PbF_2 wskazują na korelację dynamiki sieci i transportu jonowego kryształów superjonowych. Zaobserwowane anomalie temperaturowej zależności intensywności linii



Rys.3. Temperaturowa zależność natężenia linii ramanowskiej kryształów PbF_2 i CdF_2 oraz przewodnictwa kryształów PbF_2

ramanowskiej kryształów PbF_2 oraz ich korelacja z pomiarami przewodnictwa pozwalają stwierdzić, że przejście do stanu superjonowego zaczyna się w temperaturze powyżej 400 K [17]. Zgodność wyników pomiarów przewodnictwa i rozpraszania ramanowskiego kryształów PbF_2 (rys.3) świadczy o tym, że badanie rozpraszania ramanowskiego stanowi metodę komplementarną do elektrycznych badań przejścia kryształów do stanu superjonowego.

W przypadku czystych kryształów PbF_2 , jonowe zdefektowanie jest wynikiem temperaturowej generacji defektów Frenkla. Jednakże dużą koncentrację defektów można osiągnąć również poprzez domieszkowanie kryształu lub napromieniowanie fotonami γ . W pracy [20] przedstawiono wyniki pomiarów dynamiki sieci i transportu jonowego kryształów $PbF_2:6\% \text{LiF}$. Obecność atomów Li popra-

wia własności superjonowe kryształów PbF_2 co przejawia się we wzroście przewodnictwa, spadku jego energii aktywacji oraz w poszerzeniu linii ramanowskiej. W pracach [21–23] przedstawiono rezultaty badań wpływu domieszkowania kryształów PbF_2 jedno i trójwartościowymi pierwiastkami (Na, K, Bi, Al). Uzyskane rezultaty wskazują, że obecność nieizoelektronowych domieszek w kryształach powoduje wzrost przewodnictwa a następnie jego spadek. Jest to najprawdopodobniej związane ze zmianą ruchliwości nośników, która obniża się od pewnej zawartości domieszek w kryształach. Analiza kształtu linii ramanowskiej dla domieszkowanych kryształów jest utrudniona poprzez wkład związany z poszerzeniem niejednorodnym jakie dają rozmieszczone chaotycznie w sieci krystalicznej domieszkowe atomy. Dlatego do badań wpływu defektów na widmo ramanowskie kryształów PbF_2 użyto kryształów, w których zdefektowanie podsieci anionowej jest wtnikiem promieniowania γ [24,25].

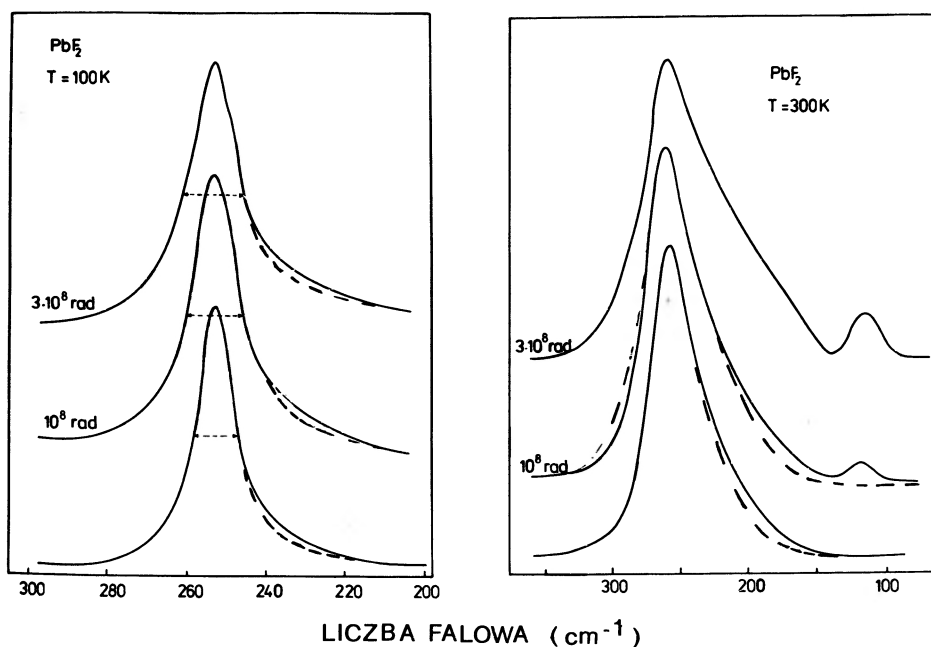
Rysunek 4 przedstawia widma ramanowskie czystych (linie przerywane) i naświetlonych promieniowaniem γ kryształów PbF_2 (linie ciągłe). Ze wzrostem dozy promieniowania obserwuje się poszerzenie linii oraz wzrost jej asymetrii. Dodatkowe maksima obserwowane dla częstości $\omega_R \approx 120 \text{ cm}^{-1}$ są najprawdopodobniej związane z odwzorowaniem funkcji gęstości stanów jednofononowych kryształów PbF_2 [26].

Analizę kształtu linii ramanowskiej wykonano w sposób przedstawiony w pracy [27]. Model ten jest używany w przypadku implantowanych kryształów. Natężenie linii ramanowskiej opisuje w tym modelu równanie:

$$J(\gamma) \sim \int_0^1 \exp\left(-\frac{q^2 L^2}{4}\right) \frac{d^3 q}{[\gamma - \gamma(q)]^2 + \left(\frac{\Gamma_0}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

gdzie q oznacza wektor falowy, $\gamma(q)$ -funkcję dyspersji modów aktywnych ramanowsko, Γ_0 -szerokość połówkową linii ramanowskiej nienapromieniowanego kryształu, L -promień jednorodnej objętości kryształu. Na rysunku 4 przedstawiono (linie przerywane) wyniki przeprowadzonych z wykorzystaniem równania (1) obliczeń kształtu linii ramanowskiej dla kryształów PbF_2 napromieniowanych fotonami γ do dozy 0 rad, 10^8 rad i 3×10^8 rad¹. Najlepsze dopasowanie do danych eksperymentalnych otrzymano w temperaturze $T = 100 \text{ K}$ zakładając $\Gamma_0 = 11 \text{ cm}^{-1}$, natomiast parametr L zależy od dozy naświetlania kryształu promieniowaniem γ i wynosi $L = 34,6 \text{ nm}$, $L = 15,4 \text{ nm}$ i $L = 14,1 \text{ nm}$ dla dawek promieniowania równych 0 rad, 10^8 rad, 3×10^8 rad. W temperaturze $T = 300 \text{ K}$ kształt linii ramanowskiej może być opisany równaniem (1) tylko w przypadku nienapromieniowanych kryształów, jest to związane z pojawieniem się dodatkowego maksimum w widmie ramanowskim dla częstości $\omega_R \approx 120 \text{ cm}^{-1}$ [24,25].

¹rad, pozaukładowa jednostka dawki pochłoniętej promieniowania jonizującego; jest to dawka, przy której substancja o masie 1 kg pochłania energię 0,01 J.



Rys.4. Widma ramanowskie czystych kryształów PbF_2 (linie przerywane) oraz naświetlonych promieniowaniem γ (linie ciągłe)

W przypadku nienapromieniowanej próbki PbF_2 w temperaturze $T = 300 \text{ K}$ parametry dopasowania wynoszą $\Gamma_0 = 25 \text{ cm}^{-1}$ i $L = 7,5 \text{ nm}$. Przybliżenie obszaru jednorodności kryształu sferą o promieniu L pozwala ocenić koncentrację defektów kryształu. Dla kryształów PbF_2 koncentracja defektów w temperaturze $T = 100 \text{ K}$ wynosi $n = 1,1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $n = 1,2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $n = 1,6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ dla dozy $0, 10^8$ i $3 \times 10^8 \text{ rad}$. W temperaturze $T = 300 \text{ K}$ koncentracja defektów wynosi $n = 1,6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ i jej wielkość jest zgodna z oceną defektów wykonaną na podstawie pomiarów ciepła właściwego [14]. Tak więc pomiary rozpraszania ramanowskiego dostarczają informacji o dynamicznych własnościach kryształów oraz dają możliwość wyznaczenia koncentracji defektów sieci. Silne zdefektowanie podsieci fluorowej kryształów PbF_2 może być osiągnięte również poprzez otrzymanie kryształów mieszanych PbF_2 z innym fluorytem. W tym przypadku defekty sieci będą powstawać na skutek zmiany oddziaływania kation–anion. Badania rozтворów stałych dają możliwość przesłedzenia zmian własności superjonowych w znacznie szerszym zakresie składów niż w przypadku domieszkowania kryształów PbF_2 nieizoelektronowymi pierwiastkami.

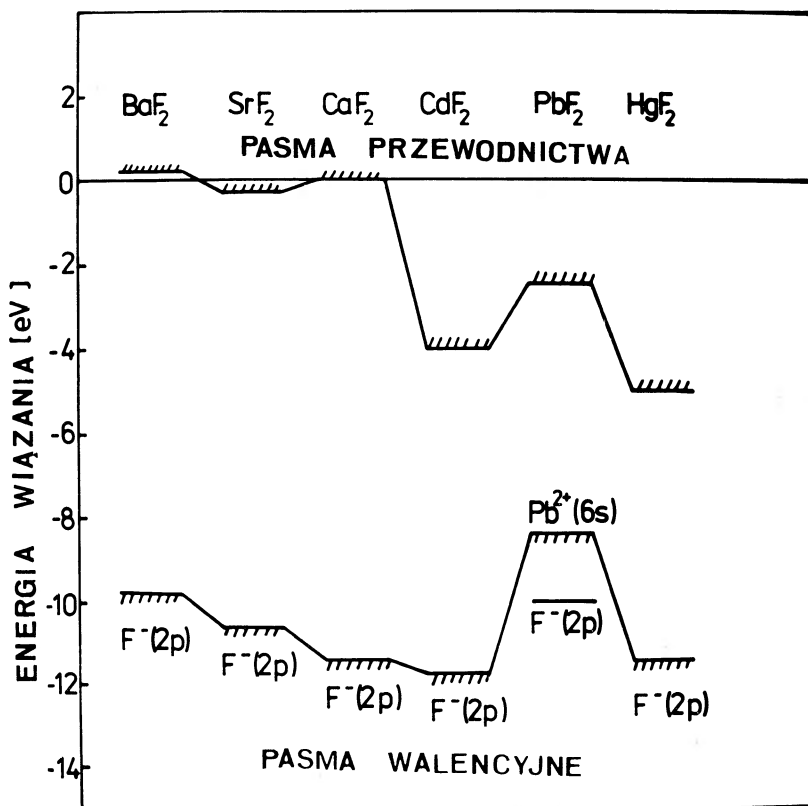
Kryształy PbF_2 charakteryzują się najniższą spośród fluorytów wartością współczynnika oddziaływania kation–anion [28]. Słabe oddziaływanie fluorów z podsiecią anionową jest najprawdopodobniej przyczyną występowania silnych

efektów polaryzacyjnych w kryształach PbF_2 . Ich miarą może być stosunek statystycznej i optycznej stałej dielektrycznej $\epsilon_s/\epsilon_\infty$. Dla PbF_2 stosunek ten jest wyjątkowo duży i wynosi ok. 10. Silne zdefektowanie podsieci fluorowej kryształów PbF_2 przejawia się w zmianach stałej dielektrycznej. W wysokich temperaturach osiąga ona wartość 10^6 [29,30], wyjątkowo dużą dla ciał stałych i stwarza możliwości wykorzystania tych kryształów do konstrukcji elementów elektronicznych o dużej pojemności elektrycznej.

Przedstawione własności kryształów PbF_2 są najprawdopodobniej związane z odmienną konfiguracją elektronów walencyjnych Pb w porównaniu z innymi kationami tworzącymi kryształy fluorytów. W przypadku typowych fluorytów – CaF_2 , CdF_2 , SrF_2 , BaF_2 – pasmo walencyjne jest utworzone ze stanów elektronowych 2p jonów F^- . Wkład zlokalizowanych stanów kationowych – Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Cd^{2+} , jak wynika z obliczeń energii Madelunga, można pominąć [31]. Odmienna sytuacja jest w przypadku kryształów PbF_2 . Na podstawie obliczonej energii Madelunga wynika, że poziom elektronowy 2p(F^-) leży o ok. 1,5 eV poniżej poziomu 6s(Pb^{2+}) (rys.5). Z tego powodu elektronowe stany 6s(Pb^{2+}) dają istotny wkład w formowanie się pasma walencyjnego kryształów PbF_2 . Złożony charakter pasma walencyjnego kryształów PbF_2 potwierdzają wyniki pomiarów fotoemisyjnych [32] będących w dobrej zgodności z obliczeniami ich struktury pasmowej [31]. Pozostałe fluoryty charakteryzują się typową dla kryształów jonowych strukturą pasmową – pasmo walencyjne zbudowane jest ze stanów 2p(F^-) natomiast pasmo przewodnictwa tworzą stany kationowe typu s. Rysunek 5 przedstawia schematy struktur pasmowych wybranych kryształów fluorytów. Wartości powinowactwa chemicznego wyznaczającego dno pasma przewodnictwa otrzymano poprzez analizę widm fotoemisyjnych i odbiciowych [33,34]. Położenie poziomu 6s(Pb^{2+}) powyżej poziomu 2p(F^-) w kryształach PbF_2 daje możliwość obserwacji w widmie absorpcji podstawowej stanów wzbudzonych jonów Pb^{2+} [35]. Badania kryształów mieszanych PbF_2 z innym fluorytem charakteryzującym się typową dla kryształów jonowych strukturą pasmową mogą dostarczyć informacji o charakterze zmian ich elektronowych i superjonowych własności.

W dalszej części artykułu zostaną przedstawione wyniki badań własności kryształów mieszanych $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$. Kryształy te są przykładem materiałów tworzących roztwory stałe w całym zakresie składów a ich stała sieci jest liniową funkcją składu [36].

Badania mieszanych kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ mogą dostarczyć informacji na temat zmian własności kryształów przy przejściu od przewodnika superjonowego – PbF_2 do jonowego – CdF_2 . Ponadto badania tych kryształów dają możliwość określenia roli, jaką spełnia podsieć kationowa w procesach anionowego zdefektowania kryształów fluorytów.



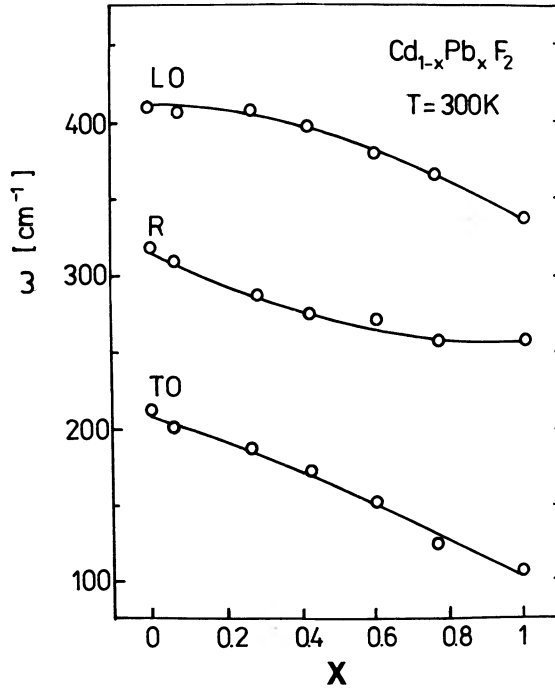
Rys.5. Zarys struktury pasmowej kryształów fluorytów

3. Superjonowe własności kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$

Efekty zdefektowania podsieci anionowej kryształów fluorytów są prawdopodobnie związane z oddziaływaniem kation–anion. Oddziaływanie to określa barierę potencjału dla ruchu jonów uczestniczących w transporcie oraz dynamiczne własności sieci. Jego wielkość związana jest z temperaturą przejścia kryształu do stanu superjonowego [7,28].

Dla określenia korelacji pomiędzy wartością współczynników oddziaływania kation–anion i parametrami charakteryzującymi transport jonowy, wykonano pomiary przewodnictwa i dynamiki sieci kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ [37]. Rysunek 6 przedstawia zależność częstości aktywnych w podczerwieni fononów w funkcji składu kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$. Częstości fononów wyznaczono w oparciu o wykonane pomiary odbicia w podczerwieni. Częstości poprzecznych i podłużnych fononów optycznych ω_{TO} , ω_{LO} określono na podstawie obliczonych spektralnych zależności urojonej części funkcji dielektrycznej – $\text{Im}(\epsilon)$ oraz funkcji strat

$\text{Im}\left(-\frac{1}{\epsilon}\right)$. Na rys.6 zaznaczono również częstotliwości drgań ramanowskich wyznaczonych w pracy [38]. Na podstawie wykonanych pomiarów dynamiki sieci można



Rys.6. Zależność częstotliwości drgań LO, TO i R od składu kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$

stwierdzić, że kryształy $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ charakteryzują się jednomodowym typem przebudowy widm fononowych, analogicznie do badanych wcześniej kryształów $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{F}_2$ i $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{F}_2$ [39,40]. Otrzymane dane o częstotliwościach fononów pozwoliły wyznaczyć współczynniki oddziaływania między jonami sieci krystalicznej $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$. Obliczenia współczynników oddziaływania wykonano w modelu sztywnych jonów [37]. W modelu tym wyrażenia na częstotliwości fononów mają postać

$$\omega_{\text{R}}^2 = \frac{4}{m}(\alpha_1 + \alpha_3), \quad (2)$$

$$\omega_{\text{TO}}^2 = \frac{2}{\mu} \left(2\alpha_1 - \frac{4\pi(Ze)^2}{3V} \right), \quad (3)$$

$$\omega_{\text{LO}}^2 = \frac{2}{\mu} \left(2\alpha_1 + \frac{8\pi(Ze)^2}{3V} \right), \quad (4)$$

gdzie: Ze – efektywny ładunek jonu, V – objętość prymitywnej komórki kryształu, α_1 – współczynnik oddziaływania kation–anion, α_3 – współczynnik oddziaływania anion–anion, $\mu = \frac{mM}{m+2M}$, m – masa atomu fluoru, M – masa atomu metalu. Na podstawie tych równań zostały wyznaczone wartości α_1 i α_3 . Dla kryształów CdF_2 i PbF_2 wynoszą:

$$\begin{aligned} \alpha_1(\text{CdF}_2) &= 1,75 \text{ mdyn nm}^{-1} & \alpha_1(\text{PbF}_2) &= 1,06 \text{ mdyn nm}^{-1} \\ \alpha_3(\text{CdF}_2) &= 1,06 \text{ mdyn nm}^{-1} & \alpha_3(\text{PbF}_2) &= 0,77 \text{ mdyn nm}^{-1} \end{aligned}$$

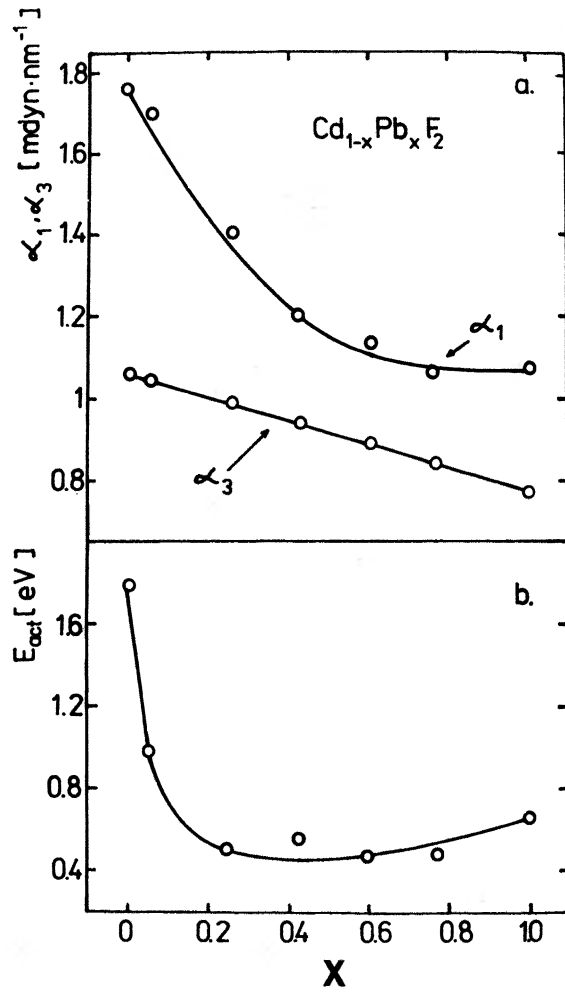
Koncentracyjna zależność współczynników oddziaływania α_1 i α_3 w kryształach $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ jest związana z problemem dynamiki sieci kryształów mieszanych. W pracy [39] analizowano wyniki eksperymentalne w modelu jednorodnych przesunięć jonów z uwzględnieniem możliwości realizacji w stałych roztworach paru typów prymitywnych komórek, które różnią się między sobą najbliższym otoczeniem fluoru. Pokazano, że model ten dobrze opisuje zmiany ze składem częstości ω_{TO} fononów w kryształach $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{F}_2$ i $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{F}_2$. Wykazano również, że model wirtualnego kryształu nie opisuje zależności ω_{TO} , natomiast można go stosować do opisu zmian częstości drgań ramanowskich tych kryształów. Ten fakt można zrozumieć uwzględniając formę drgań ramanowskich oraz to, że uczestniczące w nich jony fluoru nie są najbliższymi sąsiadami i wpływ najbliższego otoczenia na α_3 , w pierwszym przybliżeniu, będzie się uśredniał w zależności od składu. Biorąc pod uwagę formę drgań modu ramanowskiego można dla kryształów fluorytów przyjąć liniową zależność współczynnika α_3 od składu [39]

$$\alpha_3(\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2) = x\alpha_3(\text{PbF}_2) + (1-x)\alpha_3(\text{CdF}_2). \quad (5)$$

Uwzględniając powyższe fakty, analizę zmian współczynników oddziaływania jonów w $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ przeprowadzono następująco: z eksperymentalnie określonych częstości ω_{R} i równania (2) określono wartość $\alpha_1 + \alpha_3$ a następnie obliczano α_1 uwzględniając liniową zależność od składu kryształów współczynnika α_3 . Otrzymane rezultaty przedstawiono na rys.7a. Należy zauważyć, że w dostatecznie dużym przedziale składów $x > 0,3$ współczynnik oddziaływania fluor–kation jest bliski wartości $\alpha_1(\text{PbF}_2)$.

Oczywiście uproszczony charakter wykorzystywanego modelu nie daje podstaw do ilościowej oceny otrzymanych zależności. Można oczekiwać jednak, że otrzymana zależność $\alpha_1(x)$ przejawia się także w pomiarach elektrycznych ponieważ oddziaływanie jonów w sieci krystalicznej określa wielkości barier potencjału charakteryzujących procesy transportu jonowego $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$, na podstawie których wyznaczono energie aktywacji wysokotemperaturowej części przewodnictwa związanej z ruchem jonów fluoru. Na rys.7b przedstawiono zależność energii aktywacji – E_{act} w funkcji składu kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$. Wartość E_{act} określono na podstawie równania Arrheniusa [18,41]

$$\sigma(T) = \sigma_0 \exp(-E_{\text{act}}/kT). \quad (6)$$



Rys.7. Zależność współczynników oddziaływania fluor-fluor (α_3) i kation-fluor (α_1) oraz zależność energii aktywacji przewodnictwa od składu kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$

Podobnie, jak w przypadku zmienności $\alpha_1(x)$, również dla E_{act} obserwuje się gwałtowną zmianę wartości w zakresie koncentracji Pb, $0 < x < 0,3$. Dla $x > 0,3$ obserwuje się słabą zależność $E_{act}(x)$. Z porównania wykresów przedstawionych na rys.7 widać, że rzeczywiście istnieje korelacja zależności energii aktywacji przewodnictwa i współczynnika oddziaływania kation–anion od składu kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$. Gwałtowne zmniejszenie energii aktywacji przy zawartości Pb ok.30% pozwala przypuszczać, że w kryształach mieszanych $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ procesy transportu jonowego określone są ruchem jonów fluoru, których najbliższe otoczenie zawiera jony Pb. Określona korelacja zależności energii aktywacji przewodnictwa (E_{act}) i współczynników oddziaływania kation–anion (α_1) od składu kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ pozwala stwierdzić, że przedstawiona wyżej analiza określa jakościową stronę korelacji dynamicznych własności sieci i procesów transportu jonowego.

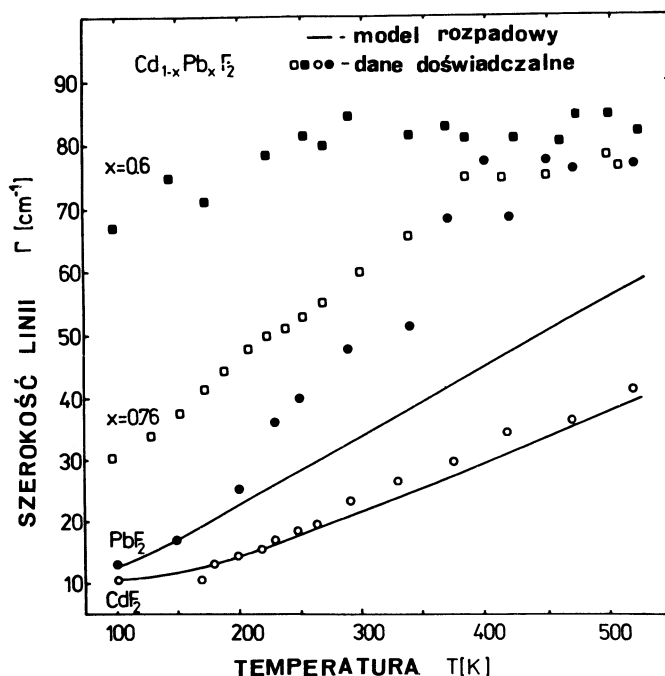
O istotnej roli jaką odgrywa oddziaływanie kation–anion w procesach zdefektowania podsieci anionowej kryształów fluorytów świadczy również wyznaczona dla tych kryształów liniowa zależność temperatury przejścia do stanu superjonowego – T_c od częstości poprzecznych fononów optycznych – ω_{TO} [10].

Efekty zdefektowania kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ związane z przebudową podsieci kationowej widoczne są w widmie ramanowskim tych kryształów. Oprócz głównych linii związanych z modem T_{2g} obserwuje się dopełniające maksima, które należy wiązać z procesem rozpraszania indukowanym zdefektowaniem mieszanych kryształów. Korelacja widm ramanowskich kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ z funkcją gęstości stanów jednofononowych – $g(\nu)$ obliczoną dla kryształów PbF_2 [26] potwierdza słuszność proponowanej interpretacji. Potwierdzeniem tego, że obserwowane przez nas dodatkowe maksima w widmach ramanowskich kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ odwzorowują funkcję gęstości stanów jednofononowych są otrzymane przez nas wyniki badań kryształów $PbF_2:LiF$ [20] oraz kryształów PbF_2 poddanych naświetleniu promieniowaniem γ [24,25].

Wpływ zdefektowania podsieci fluorowej kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ jest również widoczny w temperaturowej zależności połówkowej linii ramanowskiej (rys.8). W przypadku kryształów PbF_2 szerokość połówkowa wzrasta szybciej z temperaturą niż wynikałoby to z obliczeń dla procesów rozpadu modu ramanowskiego na dwa mody akustyczne. W modelu tym zależność szerokości połówkowej linii ramanowskiej od temperatury opisuje równanie

$$\Gamma(T) = \Gamma(0) \left[1 + \frac{2}{\exp \frac{h\nu}{kT} - 1} \right], \quad (7)$$

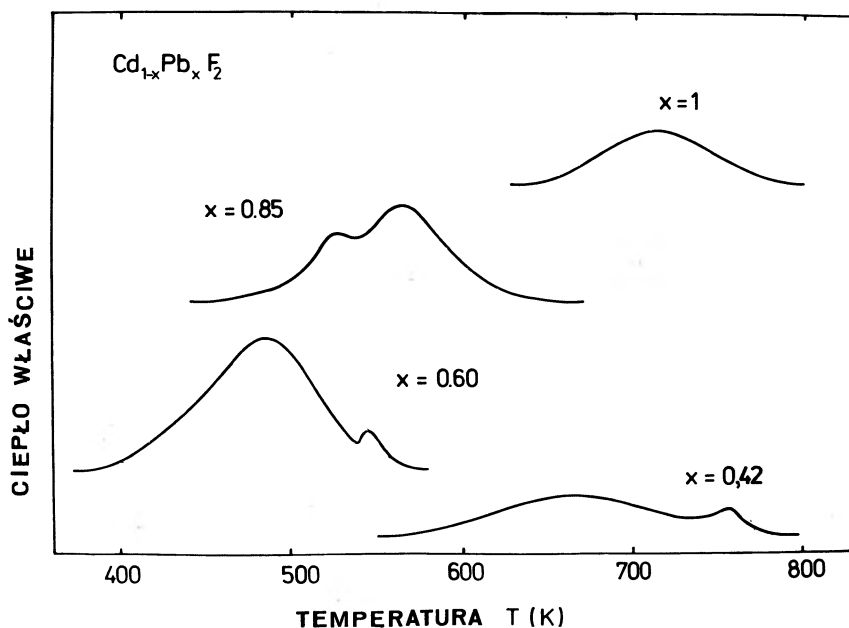
gdzie $h\nu$ oznacza energię fononów akustycznych tworzących się w procesie rozpadu, $\Gamma(0)$ – szerokość linii ramanowskiej w niskiej temperaturze. Linie ciągłe na rys.8 przedstawiają rezultaty obliczeń temperaturowej zależności szerokości



Rys.8. Temperaturowa zależność szerokości połówkowej linii ramanowskiej kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$

linii ramanowskiej dla kryształów CdF_2 i PbF_2 [17]. W obliczeniach przyjęto częstotliwości fononów akustycznych $\omega_{\text{LA}}(\text{PbF}_2) = 100 \text{ cm}^{-1}$ i $\omega_{\text{LA}}(\text{CdF}_2) = 180 \text{ cm}^{-1}$ [42]. Widać że szerokość połówkowa linii ramanowskiej CdF_2 zmienia się zgodnie z modelem rozpadowym (równ.7) co jest typowym dla większości ciał stałych. Natomiast dla kryształów PbF_2 szerokość połówkowa wzrasta szybciej z temperaturą niż wynikałoby to z obliczeń dla procesów rozpadu modu ramanowskiego na dwa mody akustyczne [17]. Jest to związane z efektami zdefektowania podsiatki fluorowej kryształów PbF_2 widocznymi we wzroście intensywności linii. Dla kryształów mieszanych $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ zależność szerokości połówkowej linii ramanowskiej ma bardziej złożony charakter. Jest to związane z rozpraszaniem fononów na termicznie generowanych defektach sieci, które określają kształt linii ramanowskiej już w temperaturach powyżej 400 K. Należy zaznaczyć, że kryształy mieszane $\text{Cd}_{0,4}\text{Pb}_{0,6}\text{F}_2$ charakteryzują się najwyższą, spośród kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$, wartością szerokości połówkowej linii ramanowskiej oraz najniższą energią aktywacji przewodnictwa [43]. Na podstawie przedstawionych wyników badań dynamiki sieci i transportu jonowego kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ można stwierdzić, że kryształy te charakteryzują się wyższym przewodnictwem jonowym, niższą energią aktywacji przewodnictwa w porównaniu z PbF_2 . W związku

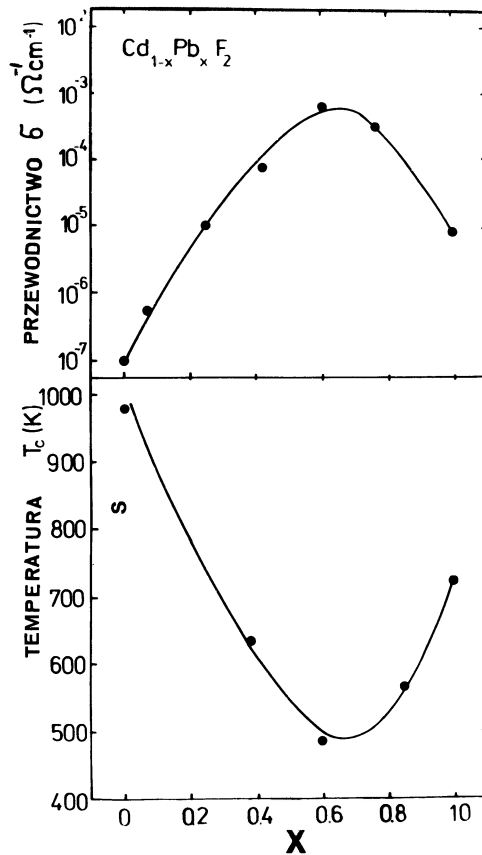
z tym pomiary temperatury przejścia tych kryształów do stanu superjonowego mogą dostarczyć ważnych informacji o ich anionowym zdefektowaniu. Rysunek 9 przedstawia temperaturowe zależności ciepła właściwego kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ [14,44]. Ze zmianą zawartości Pb w zakresie $0,6 < x < 1$ obserwuje się obniżenie



Rys.9. Temperaturowa zależność ciepła właściwego kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$

temperatury odpowiadającej występowaniu maximum ciepła właściwego i co za tym idzie, obniżenie temperatury przejścia do stanu superjonowego. W zakresie zmian zawartości Pb: $0 < x < 0,6$ obserwuje się wzrost temperatury przejścia do stanu superjonowego. Jednocześnie dla kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ pojawiają się dodatkowe maksima ciepła właściwego [14]. Prawdopodobnie obserwowane anomalie są związane ze zmianami lokalnej symetrii węzłów zdefektowanej podsieci fluorowej. Występowanie tych anomalii można opisać w ramach fenomenologicznego modelu uwzględniającego wzajemne oddziaływanie defektów oraz różnice energii ich tworzenia [14]. Obserwowane osobliwości ciepła właściwego związane z przejściem kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ do stanu superjonowego mogą być jakościowo interpretowane z uwzględnieniem indukowanej przebudową sieci kationowej, nieekwiwalentności węzłów podsieci anionowej. Procesy te określają konfiguracyjną entropię kryształu. Uwzględnienie zmian częstości drgań anionów w zdefektowanym kryształcie prowadzi nie tylko do zmiany temperatury przejścia do stanu superjonowego – T_c ale i do pojawienia się dodatkowych anomalii ciepła właści-

wego [14]. Obserwowane anomalie ciepła właściwego występują tylko w przypadku kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$. Wcześniej były badane roztwory stałe $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{F}_{2+x}$ [45] i $\text{Pb}_x\text{U}_{1-x}\text{F}_{2+x}$ [46]. Charakterystyczne dla tych materiałów są słabe zmiany ze składem temperatury T_c i znaczne poszerzenie temperaturowej zależności ciepła właściwego. Ze zmianą zawartości Pb w kryształach $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ obserwuje się nieliniową zależność temperatury przejścia do stanu superjonowego (rys.10), która dla $x = 0,6$ osiąga minimum i wynosi $T_c = 485$ K. Otrzymana zależność jest zgodna z wynikami pomiarów transportu jonowego oraz rozpraszania ramanowskiego [14,17,43]. Zależność przewodnictwa jonowego od składu kryształów



Rys.10. Zależność przewodnictwa jonowego (σ) oraz temperatury przejścia do stanu superjonowego (T_c) od składu kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$

$\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ osiąga maksimum dla $x = 0,6$, dla kryształów tych obserwuje się minimum temperatury przejścia do stanu superjonowego oraz maksimum szerokości połówkowej linii ramanowskiej [14,38,43].

Obserwowane anomalie towarzyszące procesom zdefektowania podsięci anio-

nowej kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ wskazują na złożony charakter przebudowy podsięci kationowej i są związane ze specyfiką konfiguracji elektronów walencyjnych atomów Pb. Biorąc pod uwagę decydującą rolę elektronów walencyjnych w oddziaływaniu między jonami sieci krystalicznej, można stwierdzić, że badane roztwory stałe $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ są interesującym przykładem związków, których specyfika elektronowych konfiguracji określa osobliwości dynamicznych własności kryształów, które przejawiają się w procesach transportu.

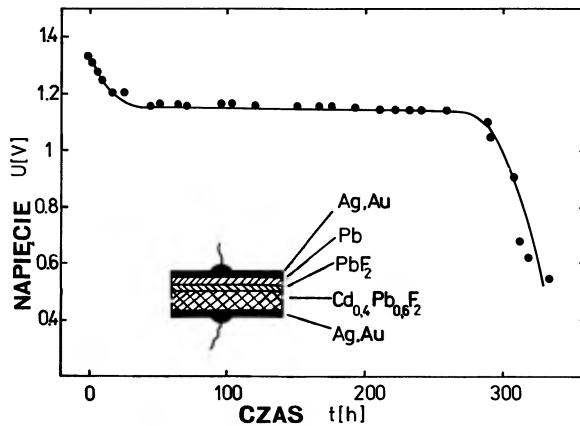
4. Zastosowanie kryształów $Cd_{0,4}Pb_{0,6}F_2$

Przewodniki superjonowe, z powodu swoich wyjątkowych własności łączących cechy elektrolitu i kryształu mogą być wykorzystane do budowy baterii elektrycznych. Ogniwa elektrochemiczne otrzymywane z przewodników superjonowych charakteryzują się wyższymi parametrami energetycznymi w porównaniu do tradycyjnych źródeł prądu [2,6,47]. Kryształy superjonowe, które mogą znaleźć zastosowanie w ogniwach elektrycznych muszą charakteryzować się dużym przewodnictwem jonowym, małą wartością energii aktywacji przewodnictwa, dużą odpornością mechaniczną oraz powinny być stabilne chemicznie [4,6]. Są prowadzone intensywne badania nad otrzymaniem nowych materiałów superjonowych, które mogłyby być zastosowane w bateriach elektrycznych. Duże nadzieje związane są z litowymi przewodnikami superjonowymi. Jest to związane z własnościami litu, jego małym ciężarem atomowym oraz najwyższą elektrojemnością w szeregu napięciowym. Obie te cechy sprawiają, że ogniwa elektrochemiczne z litowymi elektrolitami mogą magazynować duże ilości energii elektrycznej na jednostkę masy ogniwa [4,6].

Jednym ze sposobów poprawienia własności przewodników superjonowych jest wprowadzenie do ich struktury domieszek, które powodują wzrost koncentracji defektów, obniżenie temperatury przejścia do stanu superjonowego i w konsekwencji wzrost ich przewodnictwa jonowego.

Słaby związek między metalem a fluorem [28] oraz szeroka przerwa energetyczna (rys.5), wykluczająca przejścia elektronów do pasma przewodnictwa, określają fluoryty jako dobre anionowe przewodniki, które mogą być wykorzystane do budowy ogniw elektrochemicznych. Interesującym materiałem są kryształy PbF_2 wyróżniające się spośród innych fluorytów najniższą temperaturą przejścia do stanu superjonowego ($T_c = 715$ K) oraz najwyższą wartością przewodnictwa jonowego. Znane są materiały uzyskane w wyniku wprowadzenia do struktury kryształów PbF_2 nieizoelektronowych domieszek – Bi,Zr,In,Sb,Tr,Cl,K,Na, [21–23]. Wprowadzenie do kryształu domieszek powoduje wzrost jego przewodnictwa jonowego. Jednakże od pewnej zawartości domieszki następuje obniżenie ruchliwości nośników i obserwuje się spadek przewodnictwa domieszkowanego

kryształu. Innym sposobem modyfikacji własności przewodników superjonowych może być otrzymywanie roztworów stałych, w których zastępujące się jony posiadają tę samą wartościowość chemiczną. W tym przypadku zmiany własności elektrycznych kryształu będą związane z obniżeniem wartości współczynników oddziaływania kation–anion. Na podstawie przedstawionych wyników badań dynamiki sieci, transportu jonowego i ciepła właściwego kryształów $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ można stwierdzić, że kryształy te charakteryzują się lepszymi, w stosunku do PbF_2 , własnościami superjonowymi. Przejawia się to we wzroście przewodnictwa jonowego, obniżeniu temperatury przejścia kryształu do stanu superjonowego (rys.10) oraz obniżeniu energii aktywacji przewodnictwa (rys.7). Kryształy mieszane $Cd_{0,4}Pb_{0,6}F_2$ charakteryzują się najlepszymi, spośród badanych roztworów stałych $Cd_{1-x}Pb_xF_2$, własnościami superjonowymi. Z tego powodu kryształy $Cd_{0,4}Pb_{0,6}F_2$ zostały użyte do budowy ogniwa elektrochemicznego, którego schemat przedstawia rys.11. Poszczególne warstwy ogniwa otrzymano metodą paro-

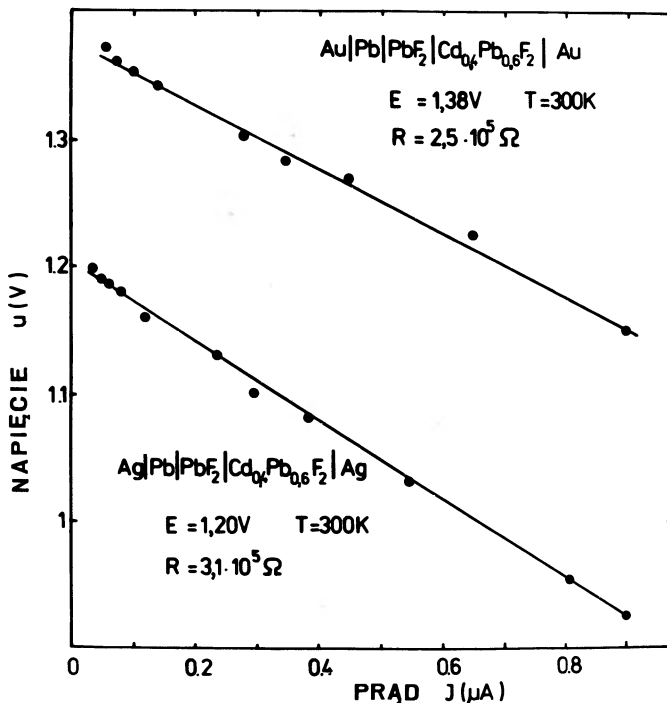


Rys.11. Schemat budowy superjonowego ogniwa elektrycznego $Me/Pb/PbF_2/Cd_{0,4}Pb_{0,6}F_2/Me$ ($Me=Au,Ag$) oraz jego czasowa charakterystyka rozładowania

wania próżniowego [48]. Stosowano srebrne lub złote kontakty elektryczne. Zastosowanie kryształów $Cd_{0,4}Pb_{0,6}F_2$ do budowy ogniwa elektrycznego pozwoliło uzyskać baterię pracującą w temperaturze pokojowej w sposób odwracalny. Na podstawie charakterystyk prądowo-napięciowych wyznaczono opór wewnętrzny R oraz siłę elektromotoryczną E otrzymanego ogniwa [49].

Rysunek 12 przedstawia zależność napięcia ogniwa U od natężenia prądu I płynącego w ogniwie przy obciążeniu go różnymi oporami zewnętrznymi. Na podstawie równania

$$U = E - RI, \quad (8)$$



Rys.12. Charakterystyki prądowo-napięciowe ogniw elektrycznych $\text{Me/Pb/PbF}_2/\text{Cd}_{0,4}\text{Pb}_{0,6}\text{F}_2/\text{Me}$ ($\text{Me}=\text{Au,Ag}$)

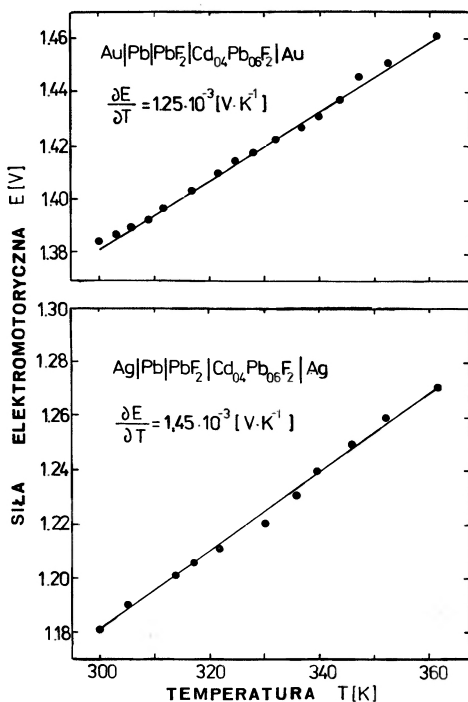
wyznaczono siłę elektromotoryczną i opór wewnętrzny.

Dla ogniwa $\text{Au/Pb/PbF}_2/\text{Cd}_{0,4}\text{Pb}_{0,6}\text{F}_2/\text{Au}$ opór wewnętrzny wynosi $R = 2,5 \times 10^5 \Omega$ a siła elektromotoryczna $E = 1,38\text{V}$. W przypadku ogniwa $\text{Ag/Pb/PbF}_2/\text{Cd}_{0,4}\text{Pb}_{0,6}\text{F}_2/\text{Ag}$, $R = 3,1 \times 10^5 \Omega$, $E = 1,2\text{V}$. Otrzymane przez nas ogniwo z zastosowaniem przewodnika superjonowego $\text{Cd}_{0,4}\text{Pb}_{0,6}\text{F}_2$ pracuje w sposób odwracalny, czas ładowania ogniwa jest stosunkowo krótki i wynosi ok. 3 godzin. Na rys.11 przedstawiono czasową charakterystykę napięcia ogniwa przy obciążeniu go oporem zewnętrznym $r = 10^7 \Omega$. Ogniwo może pracować w sposób ciągły w czasie $t \approx 300$ godzin dając prąd $I = 0,1 \mu\text{A}$. Obliczona stąd pojemność ogniwa wynosi ok. 10^{-4}Ahcm^{-2} . Pomiary siły elektromotorycznej ogniwa w funkcji temperatury umożliwiają wyznaczenie parametrów termodynamicznych reakcji elektrochemicznych zachodzących w ogniwie [47]. Entalpia ΔH i entropia ΔS reakcji są funkcjami siły elektromotorycznej oraz szybkości jej zmian z temperaturą $-\frac{\partial E}{\partial T}$

$$\Delta S = F \frac{\partial E}{\partial T}, \quad (9)$$

$$\Delta H = -F \left[E - T \frac{\partial E}{\partial T} \right], \quad (10)$$

F – stała Faradaya. Rysunek 13 przedstawia zależność siły elektromotorycznej



Rys.13. Temperaturowa zależność siły elektromotorycznej ogniw elektrycznych Me/Pb/PbF₂/Cd_{0,4}Pb_{0,6}F₂/Me (Me=Au,Ag)

ogniw Me/Pb/PbF₂/Cd_{0,4}Pb_{0,6}F₂/Me (Me=Ag,Au) od temperatury. Na podstawie tych pomiarów oraz korzystając z równań (9) i (10) wyznaczono entalpię i entropię reakcji elektrochemicznych zachodzących w ogniwach i wynoszą: $\Delta S = 33,6 \text{ cal/Kmol}$, $\Delta H = -17,7 \text{ Kcal/Kmol}$ dla elektrody z Ag oraz $\Delta S = 29 \text{ cal/Kmol}$ i $\Delta H = -23,3 \text{ Kcal/Kmol}$ dla elektrody Au. Uzyskane napięcia pracy ogniwa Me/Pb/PbF₂/Cd_{0,4}Pb_{0,6}F₂/Me oraz jego pojemność elektryczna są wyższe w porównaniu do analogicznych baterii budowanych na fluorytach Bi/Pb/PbF₂/BiF₃/Bi [50] oraz Pb/PbF₂/AgF [51] lub Pb/PbCl₂/AgCl/Ag [52] dla tych ogniw siły elektromotoryczne wynoszą odpowiednio: 0,3 V, 1,25 V i 0,4 V. Istotną cechą otrzymanego przez nas ogniwa jest jego odwracalność oraz możliwość otrzymania go przy zastosowaniu technologii napyłania próżniowego co stwarza możliwości uzyskania baterii o miniaturowych rozmiarach [49].

5. Zakończenie

Na podstawie przedstawionych wyników badań transportu jonowego, dynamiki sieci i ciepła właściwego kryształów fluorytów można stwierdzić, że efekty zdefektowania podsieci anionowej tych kryształów są związane z oddziaływaniem między jonami sieci krystalicznej. Pomiary rozpraszania ramanowskiego, przewodnictwa jonowego oraz ciepła właściwego są komplementarnymi technikami obserwacji przejścia kryształów do stanu superjonowego. Cechą charakterystyczną widm ramanowskich kryształów superjonowych, jak to pokazano na przykładzie PbF_2 , $\text{PbF}_2:\text{LiF}$ i $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$, jest duża szerokość połówkowa linii oraz silna jej asymetria. Kształt linii ramanowskiej jest określony efektami statystycznego zdefektowania kryształu. Rozuporządkowanie to określa w przypadku kryształów PbF_2 i $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ gęstość spektralną linii i jej całkowitą intensywność. Zaobserwowane anomalie w temperaturowej zależności intensywności linii ramanowskiej kryształów PbF_2 oraz ich korelacja z pomiarami przewodnictwa jonowego pozwalają stwierdzić, że przejście PbF_2 do stanu superjonowego rozpoczyna się w temperaturach powyżej 400 K. Obserwowane temperaturowe poszerzenie linii ramanowskiej mieszanych kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ jest związane z efektami anharmonizmu sieci i ruchem defektów. Silne zdefektowanie kryształów $\text{PbF}_2:\text{LiF}$, $\text{PbF}_2:\gamma$ i $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ powoduje złamanie reguł wyboru i pozwala wprost obserwować w widmie ramanowskim funkcję gęstości stanów jednofononowych. Analiza kształtu linii ramanowskiej kryształów PbF_2 poddanych działaniu promieniowania γ pozwala wyznaczyć koncentrację defektów. Otrzymane wyniki są zgodne z oceną koncentracji defektów przeprowadzoną na podstawie pomiarów przewodnictwa jonowego i ciepła właściwego. Wykazano korelację pomiędzy dynamicznymi własnościami kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ a ich transportem jonowym i temperaturą przejścia do stanu superjonowego. Na podstawie wyznaczonych koncentracyjnych zależności współczynników oddziaływania fluor-kation (α_1) i energii aktywacji przewodnictwa (E_{act}) kryształów mieszanych $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ wykazano, że o dynamicznych i elektrycznych własnościach kryształów decyduje oddziaływanie między jonami sieci krystalicznej. Własności superjonowe są również z tym oddziaływaniem związane. Podsieć kationowa, jak to pokazano na przykładzie kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$, odgrywa ważną rolę w procesie zdefektowania podsieci fluorowej. O superjonowych własnościach fluorytów decyduje najprawdopodobniej, jak to pokazano na przykładzie PbF_2 , mała wartość oddziaływania fluor-olów w porównaniu z oddziaływaniem fluor-fluor, które dla fluorytów ma zbliżone wartości.

Przedstawione wyniki badań kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ świadczą o tym, że zdefektowanie podsieci kationowej towarzyszące przejściu kryształów od CdF_2 do PbF_2 , poprawia ich własności superjonowe. Przejawia się to we wzroście przewodnictwa jonowego kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ oraz w istotnym obniżeniu temperatury

ich przejścia do stanu superjonowego. Przedstawione anomalie towarzyszące procesom zdefektowania podsięci anionowej kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ wskazują na złożony charakter przebudowy podsięci kationowej i są związane ze specyficzną konfiguracją elektronów walencyjnych jonów Pb w porównaniu z jonami Cd. Kryształy $\text{Cd}_{0,4}\text{Pb}_{0,6}\text{F}_2$ charakteryzują się najlepszymi spośród badanych kryształów $\text{Cd}_{1-x}\text{Pb}_x\text{F}_2$ własnościami superjonowymi. Zastosowanie ich do budowy ogniwa elektrycznego pozwoliło uzyskać baterię pracującą w sposób odwracalny.

Literatura

- [1] M.B. Salamon, *Physics of Superjonic Conductors*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1979.
- [2] S. Chandra, *Superjonic Solids*, North-Holland Amsterdam, New York, Oxford 1981.
- [3] J.J. Gurevich, J.I. Charkac, *Superionnaja Prevodimost Tverdyh Tel*, Moskva 1987.
- [4] W. Jakubowski, *Przewodniki superjonowe*, WNT, Warszawa 1988.
- [5] J. Bradley, P. Green, *Trans. Faraday Soc.* **62**, 2069 (1966).
- [6] F. Beniere, *Cryst. Latt. Def. Amorph. Materials* **44**, 225 (1987).
- [7] W. Hayes w: *Light Scattering in Solids*, red. M. Cardona, G. Guntherodt, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1982.
- [8] W. Hayes, *Contemp. Phys.* **19**, No 5, 469 (1978).
- [9] D.S. Riami, R.J. Sladek, *Solid State Commun.* **31**, 473 (1979).
- [10] S.M. Shapiro, F. Redinger w: *Physics of Superjonic Conductors*, red. M.B. Salamon, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1979.
- [11] M.W. Thomas, *Chem. Phys. Lett.* **40**, 111 (1976).
- [12] M.H. Dickens, W. Hayes, M.T. Hutchings, *J. Phys.* **37**, C7-353 (1976).
- [13] M.H. Dickens, W. Hayes, C. Smith, M.T. Hutchings w: *Fast Ion Transport in Solids*, red. P. Vashishta, J. N. Mundy, G.K. Shenoy, North-Holland, Amsterdam (1979), str. 225.
- [14] I. Kosacki, A.P. Litvinchuk, M.Ya. Valakh, *J. Phys. Condens. Matter* **1**, 929 (1989).
- [15] K. Koto, H. Schulz, R.A. Huggins, *Solid State Ionics* **1**, 355 (1980).
- [16] R.J. Elliot, W. Hayes, W.G. Kleppman, A.J. Rushworth, J.F. Ryan, *Proc. R. Soc. London*, **A360**, 317 (1978).
- [17] I. Kosacki, A.P. Litvinchuk, M.Ya. Valakh, *Solid State Commun.* **53**, 373 (1985).
- [18] G.A. Samara, *J. Phys. Chem. Solids* **40**, 509 (1979).

- [19] E. Cazzanelli, A. Fontana, G. Mariotto, F. Rocca, *J. Phys. (France)* **42**, C6-190 (1981).
- [20] I. Kosacki, K. Hibner, A.P. Litvinchuk, M.Ya. Valakh, *Phys. Stat. Solidi (b)* **134**, 495 (1986).
- [21] A. Rhandour, J.M. Reau, P. Hagemmuller, *J. Solid State Chem.* **61**, 197 (1986).
- [22] J.L. Soubeyroux, S.F. Mataor, J.M. Reau, P. Hagemmuller, *Solid State Ionics* **14**, 337 (1984).
- [23] J.M. Reau, S.F. Mataor, J.L. Soubeyroux, *Progress in Solid Electrolytes*, red. T.A. Wheat, A. Ahmad, A.K. Kuriakose, (1983), str. 391.
- [24] I. Kosacki, A.P. Litvinchuk, M.Ya. Valakh, *Proc. XI International Conference on Raman Spectroscopy*, London 1988, str. 325.
- [25] M.Ya. Valakh, I. Kosacki, A.P. Litvinchuk, *Fiz. Tverd. Tela* **29**, 3673 (1987).
- [26] M.H. Dickens, M.T. Hutchings, J.B. Sack, *Solid State Commun.* **34**, 559 (1980).
- [27] H. Richter, Z.P. Wang, L. Ley, *Solid State Commun.* **39**, 625 (1981).
- [28] P. Denham, G.R. Field, P.L.R. Morse, G.R. Wilkinson, *Proc. Roy. Soc. London*, **A317**, 55 (1970).
- [29] I. Kosacki, K. Zalibowski, *Phys. Stat. Solidi (a)*, **108**, 765 (1988).
- [30] I. Kosacki, *Solid State Ionics*, **28-30**, 449 (1988).
- [31] B. Velicky, T. Mlasek, *Solid State Commun.* **58**, 663 (1986).
- [32] V. Chab, B.T. Kowalski, B.A. Orłowski, *Solid State Commun.* **58**, 667 (1986).
- [33] B.A. Orłowski, J.M. Langer, *Phys. Stat. Solidi (b)* **91**, K53 (1979).
- [34] I. Kosacki, praca doktorska, Instytut Fizyki PAN, Warszawa 1983.
- [35] I. Kosacki, J.M. Langer, *Phys. Rev. B* **33**, 5972 (1986).
- [36] I. Kosacki, E. Dynowska, *J. Crystals Growth* **50**, 575 (1980).
- [37] I. Kosacki, K. Hibner, A.P. Litvinchuk, M.Ya. Valakh, *Solid State Commun.* **57**, 729 (1986).
- [38] P. Ciepielewski, I. Kosacki, *Solid State Commun.* **44**, 417 (1982).
- [39] H.W. Velleur, A.S. Barker, *Phys. Rev.* **164**, 1169 (1967).
- [40] W.B. Lacina, P.S. Pershan, *Phys. Rev. B* **1**, 1765 (1970).
- [41] A. Azimi, V.M. Carr, A.V. Chadwick, F.G. Kirkwood, R. Saghafian, *J. Phys. Chem. Solids* **45**, 23 (1984).
- [42] W. Hayes, *Crystals with the Fluorite Structure*, Oxford Univ. Press, London 1974.
- [43] I. Kosacki T. Stefański, A.P. Litvinchuk, M.Ya. Valakh, *Solid State Ionics* **36**, 227 (1989).

- [44] I. Kosacki, A.P. Litvinchuk, M.Ya. Valakh, *Proc International Conf. on Lattice Defects in Ionic Crystals*, Parma 1988, nie publikowane.
- [45] N.H. Andersen, K.N. Clausen, T.K. Kjems, J. Schoonman, *J. Phys. C19*, 2377 (1986).
- [46] N.H. Andersen, K.N. Clausen, T.K. Kjems, *Solid State Ionics* **9/10**, 543 (1983).
- [47] F. Beniere, D. Boils, H. Conepa, J. Franco, A.Le. Corre, J.P.Lubonits, *J. Electrochem. Soc.* **132**, 2100 (1983).
- [48] I. Kosacki, J. Domańska, "Elektrolit stały akumulatora energii elektrycznej", patent nr P-269948, 1988.
- [49] I. Kosacki, *Appl. Phys.* **A49**, 413 (1989).
- [50] P. Hagenmuller, J.M. Reau, C. Lucat, S. Matar, G. Villeneuve, *Silikaty* **27**, 225 (1983).
- [51] J. Portier, *Solid State Chemistry*, **3**, 133 (1982).
- [52] J.N. Mrudich, D.V. Louzos, *Primary Battery* **1**, 373 (1971).

Dennis L. Matthews, Mordecai D. Rosen

Lawrence Livermore National Laboratory

Livermore, California, USA

Lasery miękkiego promieniowania rentgenowskiego¹

Soft-X-ray lasers

Abstract: A quarter of a century after the appearance of the optical laser, experimental X-ray lasers have begun to produce beams with wavelengths 100 times shorter than those of visible light.

W ciągu prawie 30 lat od wynalezienia, lasery stały się w naszym społeczeństwie powszechnością. Urządzenia te, wytwarzające bardzo skoncentrowane światło o jednej długości fal, są najważniejszą częścią tak odmiennych układów jak pomosty sterowania bezwładnościowego w samolotach pasażerskich, precyzyjne skalpele dla chirurgów, kasowe czytniki kodów paskowych w domach towarowych, odwarzaczce płyt kompaktowych i drukarki laserowe.

Rozwój laserów szedł w parze z postępem w kierunku coraz mniejszych długości fal. Pierwsze lasery, zbudowane w połowie lat pięćdziesiątych, były ściśle mówiąc maserami, wytwarzającymi nie światło widzialne ale promieniowanie elektryczne o znacznie większej długości fal - mikrofałe. Typowy maser mógł emitować wiązkę mikrofal o długości fal 5 centymetrów, nieco krótszej niż wysokość cięściowe sygnały telewizyjne. Właściwe lasery powstały ok. r. 1960. Lasery optyczne wysyłały zwykle wiązkę światła widzialnego o długości fal równej w przybliżeniu 500 nm (nanometr to jedna miliardowa metra), tj. 100 000 razy krótszej w porównaniu z maserem.

Jednym z nieziszczonych marek fizyków laserowych było konstruowanie lasera rentgenowskiego. Podobnie jak mikrofałe, promienie rentgenowskie różnią się od widzialnych fotonów jedynie długością fal. Promieniowanie rentgenowskie zajmuje obszar widma elektromagnetycznego w przybliżeniu pomiędzy 100 nm a 0,01 nm. Fotony promieniowania rentgenowskiego o większych długościach fal

¹ Artykuł opublikowany w *Scientific American* 259, no. 6 (1988), został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission. Copyright © 1988 by Scientific American] (Przyp. Red.).

Dennis L. Matthews, Mordecai D. Rosen

*Lawrence Livermore National Laboratory
Livermore, California, USA*

Lasery miękkiego promieniowania rentgenowskiego ¹

Soft-X-ray lasers

Abstract: A quarter of a century after the appearance of the optical laser, experimental X-ray lasers have begun to produce beams with wavelengths 100 times shorter than those of visible light.

W ciągu prawie 30 lat od wynalezienia, lasery stały się w naszym społeczeństwie powszedniością. Urządzenia te, wytwarzające bardzo skoncentrowane światło o jednej długości fali, są najważniejszą częścią tak odmiennych układów jak pomosty sterowania bezwładnościowego w samolotach pasażerskich, precyzyjne skalpele dla chirurgów, kasowe czytniki kodów paskowych w domach towarowych, odtwarzacze płyt kompaktowych i drukarki laserowe.

Rozwój laserów szedł w parze z postępowaniem w kierunku coraz mniejszych długości fal. Pierwsze lasery, zbudowane w połowie lat pięćdziesiątych, były ściśle mówiąc maserami, wytwarzającymi nie światło widzialne ale promieniowanie elektromagnetyczne o znacznie większej długości fali - mikrofałe. Typowy maser mógł emitować wiązkę mikrofal o długości fali 5 centymetrów, nieco krótszej niż wysokoczęstościowe sygnały telewizyjne. Właściwe lasery powstały ok. r. 1960. Lasery optyczne wysyłają zwykle wiązkę światła widzialnego o długości fali równej w przybliżeniu 500 nm (nanometr to jedna miliardowa metra), tj. 100 000 razy krótszej w porównaniu z maserem.

Jednym z nieziszczonych marzeń fizyków laserowych było skonstruowanie lasera rentgenowskiego. Podobnie jak mikrofałe, promienie rentgenowskie różnią się od widzialnych fotonów jedynie długością fali. Promieniowanie rentgenowskie zajmuje obszar widma elektromagnetycznego w przybliżeniu pomiędzy 100 nm a 0,01 nm. Fotony promieniowania rentgenowskiego o większych długościach fal

¹Artykuł opublikowany w *Scientific American* 259, no.6 (1988), został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1988 by Scientific American] (Przyp. Red.).

określane są mianem "miękkich", gdyż pozbawione są możliwości przenikania powietrza i żywych tkanek. Natomiast fotony o mniejszych długościach fal, jak w przypadku 0,03 nanometrowego promieniowania używanego w prześwietleniach dentystrycznych, określa się jako "twarde" ze względu na jego przenikliwość.

Po 25 latach oczekiwania lasery rentgenowskie wkroczyły nareszcie na arenę naukową, aczkolwiek działają ciągle tylko laboratoryjne prototypy. Wytwarzają one miękkie promienie rentgenowskie aż do długości fali 5 nm, prawie 100 razy krótszej niż długość promieniowania widzialnego; być może badacze będą w stanie uzyskać przy pomocy tych urządzeń długość fali 2 nm.

Lasery o tak małej długości fali mogą mieć bardzo wielorakie zastosowania. Najważniejszym spośród nich wydaje się tworzenie hologramów mikroskopijnych struktur biologicznych, zbyt małych, by można je było badać przy pomocy światła widzialnego. Hologramy takie pierwszy raz umożliwiłyby biologom poznanie trójwymiarowej struktury głównych protein i hierarchicznych zwojów przekształcających DNA z podstawowej podwójnej spirali w zwarte struktury chromosomów.

*

*

*

Lasery rentgenowskie zachowują zwykle własności swych optycznych odpowiedników: bardzo wąską wiązkę, spójność czasową i przestrzenną (oznacza to, że różne promienie rentgenowskie poruszają się ze sobą w fazie), oraz najwyższą jasność (czyli natężenie). Obecne lasery rentgenowskie są np. prawie 100 milionów razy jaśniejsze niż drugie co do mocy źródło promieni rentgenowskich: synchrotron elektronowy.

W zasadzie jedyną różnicą pomiędzy laserami optycznymi a rentgenowskimi jest to, że te ostatnie wytwarzają fotony o dużo mniejszych długościach fal. Jednakże, ta jedyna różnica sprawia, że jest niezwykle trudno skonstruować takie urządzenie. Faktycznie, pierwszy udany laser rentgenowski skonstruowano dopiero w r. 1984 w Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) (rys.1). Komplikacje wynikają wprost z mechaniki kwantowej, zgodnie z którą długość fali fotonu jest odwrotnie proporcjonalna do jego energii. Im mniejsza jest długość fali, tym większa jest energia fotonu. Ta właśnie większa energia z kolei powoduje, że dużo trudniej jest spełnić podstawowy warunek działania każdego lasera, tj. uzyskać inwersję obsadzeń w materiale, gdzie zachodzi akcja laserowa.

Żeby zrozumieć jak wywoływana jest inwersja obsadzeń, rozważmy pospolity laser helowo-neonowy, taki jak w czytniku kodów paskowych w domach towarowych. W takich laserach wysokonapięciowy prąd elektryczny wzbudza (czyli

pompuje) elektron w gazie helowo-neonowym ze stanu podstawowego na wyższy poziom energetyczny. Po upływie charakterystycznego czasu, wskutek spontanicznego rozpadu, elektron przechodzi na niższą orbitę. W tym procesie emituje on foton o energii odpowiadającej różnicy energii pomiędzy orbitami (rys. 2). Niektóre fotony wyemitowane w ten sposób natrafiają na inne wzbudzone atomy, powodując wymuszone przejście wzbudzonego elektronu na niższy poziom energetyczny. W procesie wymuszonego rozpadu, każdy atom wyemituje foton. Zakładając, że wszystkie te przejścia będą zachodzić pomiędzy tymi samymi poziomami energetycznymi, wszystkie fotony będą miały tę samą energię i w konsekwencji, tę samą długość fali. Zgodnie z mechaniką kwantową, fotony te będą wystane w tym samym kierunku i z tą samą fazą co fotony wymuszające. Proces ten jest powtarzany, gdyż fotony odbijają się tam i z powrotem od lustec, dopóki nie wytworzą się lawina fotonów, wszystkich o tej samej długości fali, wszystkich poruszających się w tym samym kierunku i wszystkich w fazie. Stąd pochodzi skrótowo LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), oznaczający wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania.

Akcja laserowa nie może jednak powstać, dopóki większość atomów nie będzie miała więcej elektronów w stanie wzbudzonym, niż w stanie podstawowym. Sytuacja taka nazywana jest inwersją obsadzeń. Jest ona jednak dość trudna do uzyskania, gdyż zgodnie z jedną z podstawowych zasad mechaniki statystycznej,

Rys. 1 Laser *Nova* w Lawrence Livermore National Laboratory jest najpotężniejszym laserem optycznym na świecie. Może dostarczyć 100000 J energii w czasie krótszym niż jedna miliardowa sekundy, w impulsie o mocy 10^{14} watów. Dwie z dziesięciu wiązek lasera *Nova* służą jako źródło energii dla laserów rentgenowskich, wytwarzających energię pompowania 1000 razy większej niż lasery optyczne, dostarczanej w czasie 10000 razy krótszym



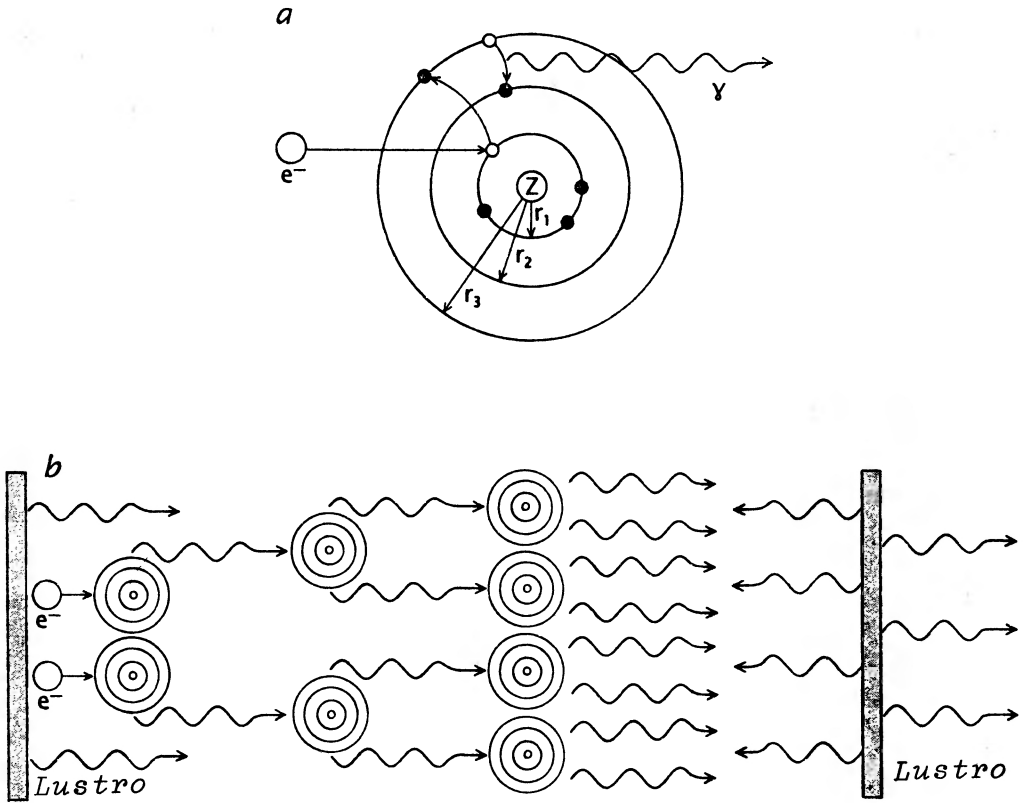
Lasery młkkiego promienowania rentgenowskiego



Rys.1 Laser *Nova* w Lawrence Livermore National Laboratory jest najpotężniejszym laserem optycznym na świecie. Może dostarczyć 100000 J energii w czasie krótszym niż jedna miliardowa sekundy, w impulsie o mocy 10^{14} watów. Dwie z dziesięciu wiązek lasera *Nova* służą jako źródło energii dla laserów rentgenowskich, wymagających energii pompowania 1000 razy większej niż lasery optyczne, dostarczanej w czasie 10000 razy krótszym

pompuje) elektron w gazie helowo-neonowym ze stanu podstawowego na wyższy poziom energetyczny. Po upływie charakterystycznego czasu, wskutek spontanicznego rozpadu, elektron przechodzi na niższą orbitę. W tym procesie emituje on foton o energii odpowiadającej różnicy energii pomiędzy obiema orbitami (rys. 2). Niektóre fotony wyemitowane w ten sposób natrafiają na inne wzbudzone atomy, powodując wymuszone przejście wzbudzonego elektronu na niższy poziom energetyczny. W procesie wymuszonego rozpadu, każdy atom wyemituje foton. Zakładając, że wszystkie te przejścia będą zachodzić pomiędzy tymi samymi poziomami energetycznymi, wszystkie fotony będą miały tę samą energię i w konsekwencji, tę samą długość fali. Zgodnie z mechaniką kwantową, fotony te będą wysłane w tym samym kierunku i z tą samą fazą co fotony wymuszające. Proces ten jest powtarzany, gdyż fotony odbijają się tam i z powrotem od luster, dopóki nie wytworzy się lawina fotonów, wszystkich o tej samej długości fali, wszystkich poruszających się w tym samym kierunku i wszystkich w fazie. Stąd pochodzi akronim LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), oznaczający wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania.

Akcja laserowa nie może jednak powstać, dopóki większość atomów nie będzie miała więcej elektronów w stanie wzbudzonym, niż w stanie podstawowym. Sytuacja taka nazywana jest inwersją obsadzeń. Jest ona jednak dość trudna do uzyskania, gdyż zgodnie z jedną z podstawowych zasad mechaniki statystycznej,



Rys.2 Wszystkie lasery działają przez emisję wymuszoną, jak ilustruje model atomu Bohra (a). Energia pompowania (tutaj wysokoenergetyczne elektrony) ze źródła zewnętrznego wzbudza elektrony w atomie z orbity o niższej energii (r_1) na orbitę o energii wyższej (r_3). Elektron przechodzi spontanicznie na orbitę pośrednią (r_2), emitując foton (*linia falista*) o energii równej różnicy energii pomiędzy obiema orbitami. Foton taki pada potem na atom (b), którego elektrony są już wzbudzone i pobudza jeden elektron do przeskoku na niższy stan energetyczny, z emisją drugiego fotonu, poruszającego się w tym samym kierunku co pierwszy foton i będącego z nim w fazie. Proces ten powtarza się tak długo, aż powstała kaskada fotonów wydostanie się poprzez lustro jako spójna wiązka lasera

w zwykłym stanie cieplnej równowagi większa liczba elektronów zajmuje niższe stany energetyczne, niż stany wyższe. Elektrony w stanach wzbudzonych przejawiają tendencję do szybkiego przechodzenia do stanów niższych aby utrzymać tę równowagę. Jeśli zaś więcej atomów ma elektrony w stanach podstawowych, niż w stanach wzbudzonych, więcej fotonów jest pochłanianych niż emitowanych i akcja laserowa nie zachodzi. Dla uzyskania znaczącej inwersji obsadzeń, należy pompować elektrony w stany wzbudzone w tempie szybszym, niż się one rozpadają.

*

*

*

Energia wyemitowanego fotonu równa jest energii traconej przez elektron spadający z wyższego stanu energetycznego na niższy. Dlatego też, jeśli miękkie fotony rentgenowskie mają 100 razy większą energię niż fotony optyczne, to co najmniej 100 razy więcej energii należy wpompować w laser rentgenowski, żeby wzbudzić elektrony na zadane poziomy energetyczne. Różnice energii pomiędzy poziomami w mieszaninie helowo-neonowej i w innych materiałach używanych w laserach optycznych są, ogólnie rzecz biorąc, zbyt małe dla emisji wysokoenergetycznych fotonów w przejściach elektronowych. W LLNL wybraliśmy rozwiązanie tego problemu polegające na użyciu pierwiastków o wysokiej liczbie atomowej, zawierających dużą liczbę protonów. Przyciąganie elektryczne zwiększonej liczby protonów w jądrze silnie wiąże najbardziej wewnętrzne elektrony z jądrem. Wiele wtedy energii potrzeba, żeby wzbudzić te elektrony. Z drugiej zaś strony, fotony o wysokich energiach są emitowane, gdy takie elektrony przechodzą do niższych stanów energetycznych.

Przejście do wyższych liczb atomowych nie jest samo w sobie wystarczające. Na przykład, obojętny elektrycznie atom uranu, choć posiada najwyższą liczbę atomową spośród naturalnie występujących pierwiastków, nie byłby wcale odpowiednim materiałem dla akcji laserowej w laserze rentgenowskim. Wiele z 92 elektronów uranu nie jest wcale silnie związanych z jądrem, ponieważ przyciągający dodatni ładunek bogatego w protony jądra jest efektywnie ekranowany (lub neutralizowany) przez ujemny ładunek wewnętrznych powłok elektronowych. W istocie, efektywna liczba atomowa, lub innymi słowy efektywny ładunek jądra uranu jest bliski zeru. W konsekwencji, należy raczej rozpocząć od zjonizowania substancji laserującej, czyli od pozbawienia jej zewnętrznych elektronów. Zmniejsza to wielkość ekranowania, a przez to zwiększa efektywny ładunek jądra (oznaczany przez Z), pozwalając na silniejsze wiązanie pozostałych elektronów.

Ażeby przekształcić atom o efektywnym ładunku bliskim zeru w "wysoko

naładowany jon” o efektywnym ładunku Z w taki sposób, konieczne jest pozabawienie go pewnej liczby zewnętrznych elektronów w ilości prawie dorównującej Z . A przecież energie przejść w najprostszym modelu atomowym, jak również energia potrzebna na oderwanie zewnętrznego elektronu są proporcjonalne do Z^2 . Żądanie, aby emitowane fotony były 100 razy bardziej energetyczne, niż fotony optyczne, wymaga w schemacie użytym w LLNL, pierwiastków o Z prawie 10 razy większym, niż mają pierwiastki używane w laserach optycznych. Żeby z kolei oderwać zewnętrzne elektrony, należy dostarczyć laserowi promieni rentgenowskich prawie 1000 razy więcej energii niż potrzebuje laser optyczny: 100 razy większa energia na pojedynczy elektron razy 10 zewnętrznych elektronów, które mają zostać oderwane.

Co więcej, okazuje się, że szybkość z jaką elektrony spontanicznie przechodzą na niższe poziomy energetyczne, jest proporcjonalna do Z^4 . Zatem, żeby uzyskać znaczącą inwersję obsadzeń w laserze miękkich promieni rentgenowskich, nie tylko należy dostarczyć 1000 razy więcej energii niż w przypadku lasera optycznego, ale jeszcze należy uczynić to z grubsza 10000 razy szybciej. Ażeby to osiągnąć używa się jako pomp laserów optycznych wielkiej mocy. W LLNL pompami są dwie wiązki z 10-ciu wiązek lasera *Nova*, najsilniejszego lasera na świecie [por. R. Stephen Craxton, Robert L. McCrory i John M. Soures "Postęp w syntezie laserowej", *Scientific American*, sierpień 1986], mogącego dostarczać aż do 10 watów w impulsie nie przekraczającym nanosekundy.

Lasery takie zostały pierwotnie zbudowane w LLNL dla potrzeb rozwijającego się programu syntezy laserowej, którego celem ostatecznym jest dostarczenie właściwie nieograniczonego źródła energii zasilanego syntezą jądrową. Chociaż LLNL zasłynęło programem dotyczącym lasera twardych promieni rentgenowskich, w którym energia pompująca pochodzi z wybuchów jądrowych i który ma potencjalne zastosowanie w Inicjatywie Obrony Strategicznej (znanej jako program "Wojen Gwiazdnych"), laser miękkich promieni rentgenowskich nie ma bezpośrednich zastosowań wojskowych. Lasery takie, jak również przyrządy naukowe powstałe w trakcie pracy nad nimi, być może znajdą któregoś dnia swoje miejsce również w uzyskaniu oraz zbadaniu i syntezy laserowej, i lasera twardych promieni rentgenowskich, jednakże prace, o których będzie tu mowa nie są w żadnym sensie tajne.

*

*

*

W laserach promieniowania rentgenowskiego działających obecnie w LLNL wiązka lasera *Nova* pada na cienką folię, powiedzmy selenu, itru, albo molibdenu.

Pierwiastki te, których wybór zasugerował Peter L. Hagelstein (obecnie w Massachusetts Institute of Technology), są ciałami stałymi, a mimo to ich atomy mogą zostać zjonizowane w sposób opisany powyżej. W istocie, kiedy wiązka lasera *Nova* pada na takie folie, zamienia je całkowicie w pary tworzące plazmę, w której, dla przykładu, atomy selenu (o 34 elektronach) pozbawione są 24 zewnętrznych elektronów. Elektrony uwolnione przy pomocy silnej wiązki lasera *Nova* również mają wysokie energie - rzędu 1000 eV (1keV), co odpowiada temperaturze ok. 10 milionów kelwinów. Poruszają się one w plazmie i poprzez zderzenia z jonami wzbudzają jeden z pozostałych 10 elektronów w selenie na odpowiedni poziom energetyczny. Taki schemat wzbudzania, noszący nazwę wzbudzania zderzeniowego, zaproponował ponad dwie dekady temu Raymond C. Elton z Naval Research Laboratory i Michel A. Duguay z AT&T Bell Laboratories.

Bardziej szczegółowo, wewnętrzne elektrony jonów selenu znajdują się w stanie podstawowym, konwencjonalnie oznaczanym przez $1s^2 2s^2 2p^6$, lub skrótowo przez 2p (rys. 3). (Litery s i p odnoszą się do orbitali atomowych, dla których liczba kwantowa orbitalnego momentu pędu wynosi odpowiednio 0 i 1. Liczby poprzedzające je odnoszą się do poziomów energetycznych, opisanych przez główną liczbę kwantową n; górne indeksy opisują liczbę elektronów na poszczególnych poziomach.) Zderzenia z energetycznymi elektronami swobodnymi wzbudzają elektrony 2p w niektórych jonach na poziom energetyczny wyższy o 1.5 keV, oznaczany jako $1s^2 2s^2 2p^5 3p$ (krótko: 3p). W plazmie o średniej energii 1 keV znajduje się wiele elektronów mogących dokonać takiego wzbudzenia.

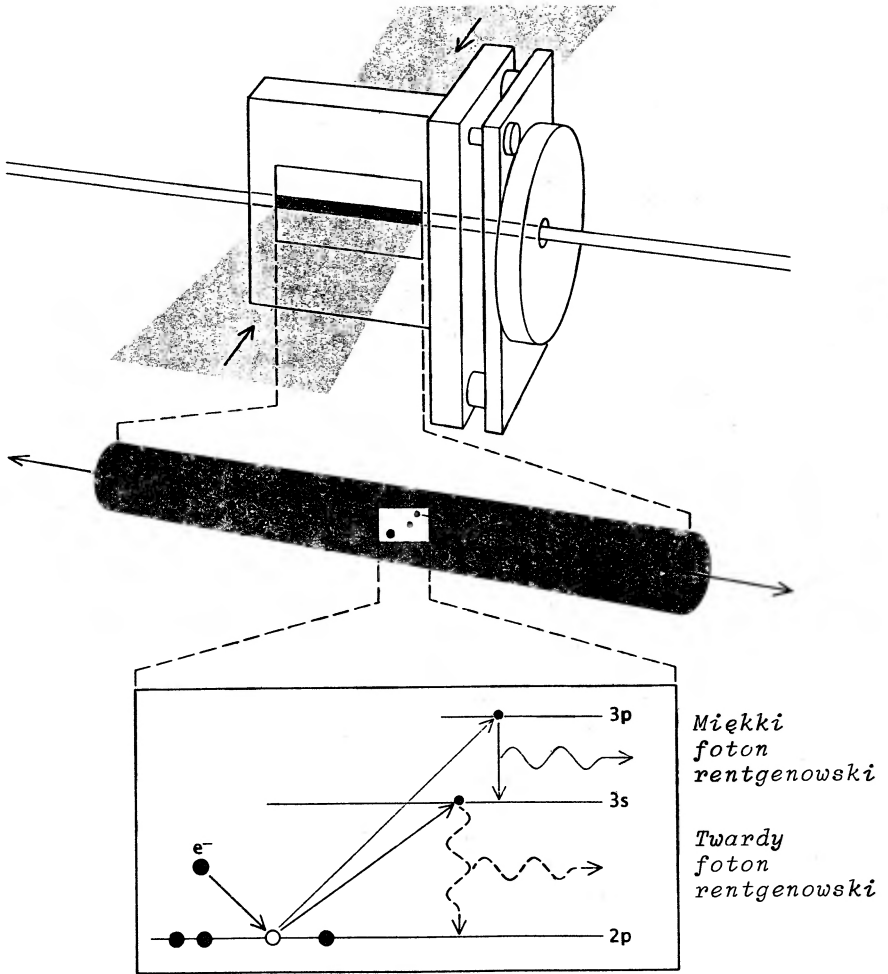
Można by wprawdzie oczekiwać, że poziom 3s powinien zostać zapelniony przed poziomem 3p, gdyż odpowiada on niższej energii. Jednakże elektrony ze stanu 3s bardzo szybko przechodzą do stanu podstawowego 2p. Dla elektronów ze stanu 3p taki proces jest zabroniony z kolei przez mechanikę kwantową, mogą one zatem pozostawać w tym stanie przez długi czas. Zazwyczaj 96 % jonów będzie miało elektrony w stanie 2p, 3 % w stanie 3p i 1 % w stanie 3s. W ten sposób zostaje wytworzona inwersja obsadzeń pomiędzy stanami 3p i 3s. Przejścia pomiędzy tymi stanami są dozwolone, zatem gdy elektrony z poziomu 3p przejdą w końcu spontanicznie do poziomu 3s, zostaną wyemitowane miękkie fotony rentgenowskie o długości fali 20 nm. Te właśnie fotony rozpoczynają akcję laserową, wymuszając emisję takich właśnie fotonów przez podobnie wzbudzone jony.

*

*

*

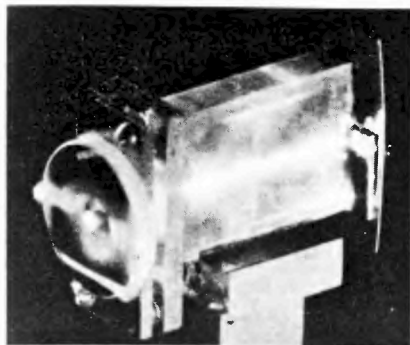
Kiedy fotony o żądanych długościach fal zostaną już wytworzone, należy jeszcze je wzmocnić. Wzmocnienie wiązki w laserze optycznym uzyskuje się w



Rys.3 Impuls optyczny lasera *Nova* rozpoczyna proces rentgenowskiej akcji laserowej. Wiązka lasera *Nova* pada na prostokątną tarczę selenową. Selen przekształca się w parę, tworzącą cylindryczną plazmę, składającą się ze swobodnych elektronów i jonów selenu, od których odszczepiono elektrony. W procesie zwanym wzbudzeniem zderzeniowym, swobodne elektrony zderzają się z jonami selenu, wzbudzając jeden z ciągle jeszcze związanych elektronów ze stanu podstawowego 2p na któryś z stanów o wyższej energii, 3s lub 3p. Elektrony ze stanu 3s szybko rozpadają się do stanu podstawowego, podczas gdy przejście ze stanu 3p do stanu podstawowego jest wzbronione. W rezultacie, liczba jonów z elektronami w stanie 3p przewyższa liczbę jonów z elektronami w stanie 3s; sytuacja znana jako inwersja obsadzeń. Elektrony przechodząc ze stanu 3p do stanu 3s emitują fotony rentgenowskie, wymuszające emisję innych fotonów o takiej samej fazie w innych jonach wzbudzonych do stanu 3p, tworząc w ten sposób wiązkę laserową

trakcie kolejnych odbić fotonów tam i z powrotem pomiędzy dwoma lustrami. Tylko fotony poruszające się wzdłuż osi lasera są odbijane i biorą udział w procesie wzmacniania. Natomiast fotony nie odbijane szybko wypadają z wiązki (fakt ten wyjaśnia również dlaczego wiązka lasera jest tak wąsko skolimowana). Jednakże lustro odbijające niemal w 100 procentach, w zakresie rentgenowskim nie istnieje. Badacze zostali zatem zmuszeni w tym przypadku do wypracowania innych sposobów wzmacniania promieni rentgenowskich.

W LLNL folia selenowa jest w istocie warstwą o grubości ok. 75 nanometrów, szerokości paru milimetrów i kilku centymetrów długości, umieszczoną na podłożu winylowym dla nadania jej sztywności. Specjalne soczewki skupiają wiązkę lasera *Nova* na odcinku niemalże tej samej długości, lecz szerokości 0,1 milimetra. Gdy tak liniowo skupiony impuls świetlny z lasera *Nova* uderza w tarczę selenową, cała warstwa selenowa zostaje nagrzana i eksploduje, tworząc cylindrycznie uformowaną plazmę o średnicy 0,1 milimetra, zaś paręset razy dłuższą. Ten właśnie cylindryczny kształt wyznacza oś wzmacnienia promieniowania rentgenowskiego (rys. 4). Fotony poruszające się w kierunku radialnym wydostają się z plazmy,



Rys.4 W większości prototypowych laserów rentgenowskich nie wykorzystano luster, gdyż lustro mogące odbijać promieniowanie rentgenowskie są osiągalne dopiero od niedawna. (Okrągłe lustro na jednym z końców służy jedynie do justowania.) Cylinder plazmy (jasna linia), utworzony gdy tarcza selenowa eksploduje pod wpływem impulsu lasera *Nova*, jest paręset razy dłuższy niż szerszy. Tylko fotony poruszające się wzdłuż dłuższej osi stają się częścią powstającej wiązki. Selen emituje promieniowanie rentgenowskie o długości fali około 20 nm

podczas gdy fotony poruszające się wzdłuż tej osi wymuszają emisję następnych promieni rentgenowskich. Ponieważ nie ma tu luster, proces wzmacnienia odbywa się w pojedynczym przejściu.

Nawet samo wykazanie, że akcja laserowa w istocie zaistniała w takim urządzeniu, nie jest prostą sprawą i, jak wspomnieliśmy już wyżej, pierwsze udane

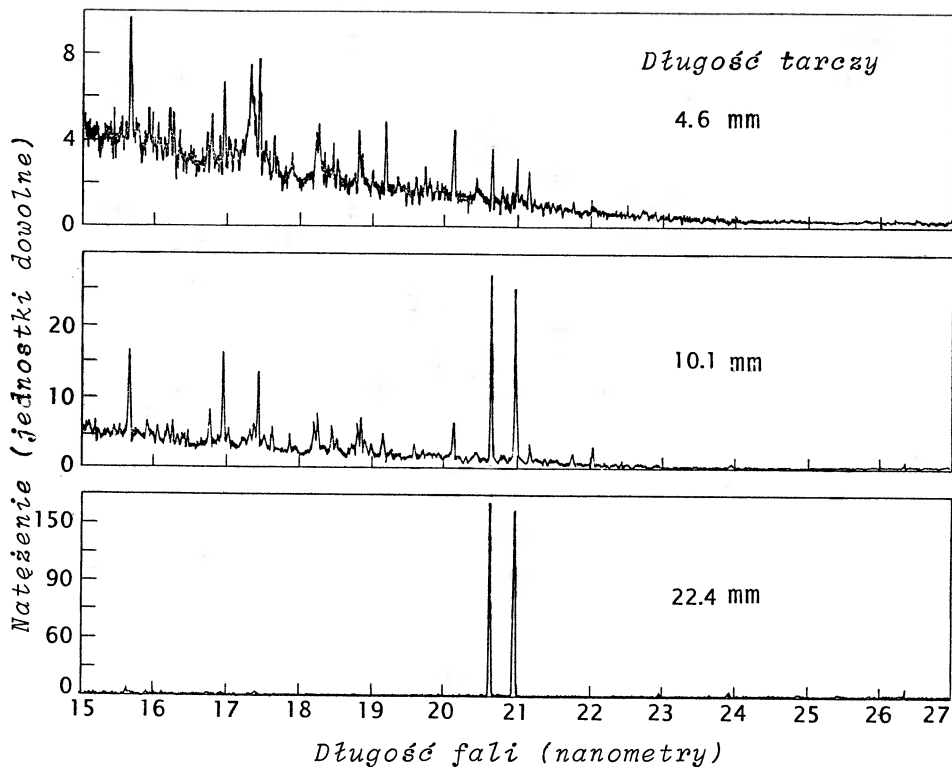
eksperymenty zostały przeprowadzone dopiero w r. 1984 w LLNL. Trzy ważne obserwacje dowiodły, że akcja laserowa naprawdę miała miejsce. Po pierwsze, w wymitowanej wiązce promieniowania rentgenowskiego wykryliśmy pewne linie widmowe, jaśniejsze niż inne linie i oznaczające, że nastąpiły właściwe przejścia atomowe. Po drugie, znaleźliśmy linie, których emisja była znacznie silniejsza w kierunku osi wiązki, niż w pozostałych kierunkach. Po trzecie i najważniejsze, dokonaliśmy pomiaru zależności natężenia promieniowania rentgenowskiego od długości tarczy. Gdyby akcja laserowa rzeczywiście zachodziła, liczba fotonów uczestniczących w lawinie (i w konsekwencji również intensywność wiązki) powinna narastać wykładniczo wraz z długością tarczy. Takie też zachowanie zaobserwowano (rys. 5).

Od czasu tych wstępnych eksperymentów znaleziono już wiele jonów prowadzących do akcji laserowej na długościach fal od 30 nanometrów aż do 10. Natężenie produkowane przez laser selenowy, emitujący 20-nanometrowe promienie rentgenowskie, zwiększa się 100000 razy gdy jego długość zwiększy się z 1 centymetra do 4 centymetrów. Laser taki daje wtedy moc od 5 do 10 megawatów, w impulsie trwającym 0,1 nanosekundy.

Choć moc taka naprawdę robi wrażenie, schemat wzbudzania zderzeniowego użyty w laserze selenowym jest zbyt niewydajny dla generacji jeszcze mniejszych długości fal. Na przykład, dla tarczy ze srebra, którego liczba atomowa wynosi 47 (przeciwstawione 34, charakteryzującym selen), otrzymuje się wiązkę promieni rentgenowskich o długości fali około 10 nanometrów. Żeby wyprodukować 4-nanometrową wiązkę należałoby użyć jeszcze wyższych liczb atomowych lecz obecny schemat wzbudzania wymagałby pompowania optycznego z grubsza 100 razy potężniejszego niż *Nova*, będącego najsilniejszym laserem na świecie.

Konstrukcja tego rodzaju laserów jak opisano powyżej nie byłaby możliwa bez pomocy dwóch zaawansowanych komputerowych programów symulacyjnych: LASNEX-a, napisanego przez Georga B. Zimmermana i współpracowników w LLNL w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych dla potrzeb programu syntezy laserowej oraz XRASER-a, napisanego przez Hagelsteina w tym samym okresie. LASNEX modeluje istotne cechy fizyki lasera pompującego i jego oddziaływania z tarczą foliową. Konstruktor dostarcza jako dane początkowe: kształt, rozmiar i skład proponowanej tarczy, jak również charakterystyki wiązki lasera *Nova*. Program LASNEX wtedy oblicza w jaki sposób tarcza eksploduje i jak gęstość, temperatura i ciśnienie powstałej plazmy będą się zmieniać z czasem.

XRASER przyjmuje te wielkości jako dane początkowe, wraz ze szczegółowymi informacjami dotyczącymi struktury atomowej, i oblicza elektronowe obciążenia różnych poziomów energetycznych plazmy selenowej, szybkości przejść i w końcu uzysk mocy, czyli wzmocnienie, charakteryzujące taki laser rentgenowski. Jeśli tylko dobrać się właściwie własności wiązki i tarczy, XRASER oblicza



Rys.5 Długość tarczy określa wzmocnienie lasera. Liczba fotonów uczestniczących w akcji laserowej rośnie wykładniczo wraz z długością tarczy, podobnie jak wzrasta natężenie wiązki. Zachowanie takie obserwuje się w liniach widmowych tarczy selenowej. Na górnym wykresie linia emisyjna 21 nm ma względne natężenie równe prawie 3 dla tarczy o długości 4,6 milimetra. Na środkowym wykresie, gdzie długość tarczy zwiększono 2,2 razy, intensywność linii wzrosła prawie dziewięć razy. Gdy długość tarczy zostanie jeszcze podwojona, do 22,4 milimetra, jak na dolnym wykresie, linie emisyjne całkowicie dominują widmo

wzmocnienie lasera rosnące wykładniczo z długością tarczy, co znaczy, że zachodzi wymuszona emisja fotonów. Jeśli jednak kiepsko dobierze się te charakterystyki, zaraz będzie to widoczne w wynikach dawanych przez XRASER. Przez ostatnich 10 lat programy te zostały znacznie udoskonalone i rozszerzone dzięki ciągłemu porównywaniu ich przewidywań z wynikami eksperymentów i przez uwzględnienie wniosków wpływających ze wszystkich niepowodzeń. W chwili obecnej zarówno XRASER jak i LASNEX służą, z rosnącą niezawodnością, do projektowania i diagnostyki, zaś ich przewidywania precyzyjnie opisują wiele, choć jednak nie wszystkie, właściwości lasera selenowego.

M. Stephen Maxon, Richard A. London i ich współpracownicy w LLNL zastosowali ostatnio LASNEX i XRASER do zaprojektowania lasera dającego wzmożenie na długości fali 5 nm. Brian McGowan i jego współpracownicy wykazali potem wykonalność takiej konstrukcji. Tarczą była folia iterbowa, mająca odszczepione 42 zewnętrzne elektrony, zaś jeden z pozostałych 28 elektronów wzbudzony ze stanu 3d do stanu 4d. Mechanizmy są analogiczne do wykorzystanych w laserze selenowym, za wyjątkiem tego, że inwersja obsadzeń tworzy się pomiędzy stanami 4d i 4p. (Litera d odnosi się do stanu opisanego przez liczbę kwantową momentu pędu równą 2.) Programy przewidują również prawidłowe wzmożenie dla długości fal sięgających od 4,48 do 4,16 nanometrów dla tarcz tantalowej, tungstenowej i renowej. Niebawem będziemy sprawdzać te przewidywania.

Lasery rentgenowskie opisane powyżej są, jak podkreślaliśmy, urządzeniami jednoprzebiegowymi. Lustra mogące odbijać promienie rentgenowskie umożliwiłyby wzmacnianie wieloprzebiegowe, co znacznie poprawiłoby wydajność lasera. Pierwsze lustra promieni rentgenowskich zostały wynalezione w latach siedemdziesiątych przez Eberharda A. Spillera z Thomas J. Watson Research Center w Yorktown Heights (stan Nowy York), należącego do IBM Corporation; od tej pory zaś technologia dojrzała już do punktu, gdzie mogła zostać pomyślnie sprawdzona w eksperymentach w LLNL, w Uniwersytecie w Princeton i w Uniwersytecie Paryskim.

Lustra promieni rentgenowskich konstruowane obecnie przez Natale M. Ceglie, Troy W. Barbee Jr. i ich współpracowników w LLNL są laminatami: warstwy materiału przezroczystego dla promieni rentgenowskich przeplatają się z warstwami odbijającymi je z najwyższą osiągalną wydajnością - która wynosi około 1,3 % natężenia pola elektrycznego padającej wiązki laserowej. Jeśli warstwy odbijające oddalone są o pół długości fali, wtedy promienie rentgenowskie odbite przez dwie kolejne warstwy mogą konstruktywnie interferować, zwiększając efektywną wydajność odbicia. Taki proces odbicia nazywa się technicznie rozpraszaniem Bragga. Lustra rentgenowskie zbudowane dotychczas miewają nawet paręset warstw, każda grubości około 100 atomów; najlepsza wydajność odbicia

osiągnięta w ten sposób daje 60% intensywności dla długości fali 120 nm, dla lustra składającego się z 30 warstw.

Nawet jednak przy pomocy lusterek trudno jest uzyskać wieloprzebiegowe wzmocnienie. Jeśli lustro będą znajdowały się bliżej niż centymetr od końca tarczy, promieniowanie gwałtownie parującego selenu zniszczy je. Co więcej, plazma rozprzestrzenia się i rozrzedza się w czasie niewiele tylko dłuższym od czasu potrzebnego promieniom rentgenowskim na penetrację całej długości plazmy. W rezultacie, już po bardzo małej liczbie przebiegów plazma rozproszy się i laser przestanie wykazywać dalsze wzmocnienie. Jednakże w eksperymentach przeprowadzonych w LLNL wykazaliśmy, że już dwa przebiegi dają rezultat 30 razy większy niż pojedynczy przebieg, co oznacza, że lustro przetrwało i że zachodzi dwuprzebiegowe wzmocnienie.

W jeszcze bardziej zuchwałym eksperymencie staraliśmy się wypróbować trójprzebiegowe wzmocnienie, wykorzystujące nie tylko lustro rentgenowskie ale również rozdzielacz wiązki rentgenowskiej (lustro półprzepuszczalne). Był on pomyslny, ale podczas trzeciego przebiegu plazma była już tak rozrzedzona, że wzmocnienie znacząco zmalało.

Jednym z możliwych rozwiązań problemu rozpraszania się plazmy jest użycie stałej tarczy, która nie wyparowałaby całkowicie po uderzeniu wiązki pompującej. Zamiast tego, użycie dłuższego impulsu pompującego umożliwiłoby stopniowe parowanie, i uzupełnianie plazmy; taki schemat usunąłby problem rozrzedzania się plazmy. Obecnie go wypróbujemy.

*

*

*

Lasery miękkiego promieniowania rentgenowskiego działające obecnie w LLNL okazały się bardzo obiecujące, mimo, że są one ciągle jeszcze bardzo prymitywne. Kiedy już lasery rentgenowskie staną się niezawodne, wydajne i ekonomiczne, będą miały wiele ważnych zastosowań. Przede wszystkim, ich mała długość fali, spójność, i olbrzymia jasność powinny pozwolić na zbadanie struktur żywych dużo mniejszych niż te, które można obserwować przy pomocy metod optycznych.

W szczególności, przyrządy badawcze służące do uzyskania obrazów dużej rozdzielczości żywych okazów na poziomie sub-chromosomowym do tej pory nie istnieją. Mikroskopia elektronowa np. wymaga zwykle wydzielenia cienkiego wycinka obiektu, odwodnienia go i spreparowania przy pomocy metalicznego utrwalacza, co go oczywiście zabija. Skanningowe mikroskopy tunelowe i skanningowe mikroskopy rentgenowskie z kolei wymagają długich czasów ekspozycji, w czasie

których każdy ruch żywego obiektu rozmazuje obraz.

Lasery miękkiego promieniowania rentgenowskiego dostarczają tu odpowiednie rozwiązania. Krótkość fal promieni rentgenowskich (idealną jest tu długość fali 4,4 nm dającą największy kontrast pomiędzy wodą a strukturą biologiczną) umożliwi odwzorowanie o wysokiej rozdzielczości. Natomiast ich niezwykła jasność i spójność umożliwi zastosowanie bardzo krótkich czasów ekspozycji, umożliwiających uchwycenie nawet obiektu w ruchu. Oczywiście, badany okaz może ulec unicestwieniu wskutek działania wiązki rentgenowskiej, lecz ekspozycja w tym czasie została już zakończona. Z pomocą takiej właśnie techniki badacze powinni być zdolni wytworzyć bardzo precyzyjne hologramy *in vitro* żywych struktur.

Niedawno grupa w LLNL pod kierownictwem Jamesa E. Trebesa użyła lasera selenowego o długości fali 20 nm do stworzenia pierwszego hologramu rentgenowskiego testowych obiektów nieożywionych: włókna węglowego o średnicy 8000 nm i włókna złota o średnicy 10000 nm. Sukces tych doświadczeń jest istotnym pierwszym krokiem w kierunku ukazania obietnic miękkich promieni rentgenowskich w badaniu struktur żywych. Niemniej, konieczny jest jeszcze wielki wysiłek konstrukcyjny do osiągnięcia pełnej spójnej mocy dla najbardziej pożądanej długości fali 4 nm.

Krótkość fali i duża intensywność lasera rentgenowskiego dostarcza również narzędzia do badania plazmy, takiej na przykład jaka powstaje, gdy laser *Nova* przekształca w parę tarczę selenową, a zatem narzędzia mogącego przyczynić się do rozwoju samych laserów rentgenowskich. Dotychczas w próbkowaniu plazmy polegano na laserach optycznych, mogących dostarczać informacje o plazmie, o gęstości co najwyżej 0,001 g/cm³, gdyż wiązka optyczna jest silnie załamywana dla wyższych gęstości. Miękkie promieniowanie rentgenowskie pozwoli badaczom kontrolować gęstości większe o cztery rzędy wielkości w porównaniu z gęstościami dostępnymi obecnie.

Lasery rentgenowskie mogą nie tylko próbować plazmę, ale również ją wytwarzać. Oceniamy, że wiązka rentgenowska padająca na stałą tarczę wytworzy plazmę o gęstości i temperaturze znacznie przewyższającej osiągalne obecnie nawet przy użyciu lasera *Nova*, gdy jego wiązka pada na tarczę selenową. Takie osiągnięcie pozwoliłoby badaczom dowiedzieć się więcej o zachowaniu plazmy w temperaturach i gęstościach przypominających wnętrze Słońca.

Choć od zastosowań takich dzieli nas ciągle jeszcze kilka lat, postęp w dziedzinie laserów rentgenowskich jest olbrzymi. Jeszcze 10 lat temu konstrukcję takiego urządzenia w ogóle uznano by za niemożliwą. Obecnie zaś badania dotarły już do takiego punktu, gdzie impulsowe lasery rentgenowskie działają regularnie, lustra rentgenowskie o wysokiej zdolności odbijającej zostały wyprodukowane i stworzono już pierwsze hologramy rentgenowskie.

Przez ostatnich 10 lat postęp w kierunku osiągnięcia coraz mniejszych długości fal był znaczący i wydaje się, że nie ma żadnych magicznych barier dla długości fal możliwych do uzyskania. W istocie, obecnie wypracowywane są metody mogące doprowadzić do długości fali 2,8 nm i w końcu nawet też do jeszcze mniejszych długości.

*

*

*

Wydawać by się mogło, że ten rodzaj postępu na zawsze pozostanie ukryty w laboratoriach, i że urządzenia wymagające lasera *Nova* o mocy miliona gigawatów jako pompy nigdy nie staną się małe i praktyczne. Choć rzeczywiście zastosowany w LLNL schemat z dużym Z wymaga ogromnej mocy pompującej, prace nad całym szeregiem innych podejść do laserów krótkofalowych zostały już podjęte zarówno w LLNL (pod kierunkiem Davida Edera i Christophera J. Keane'a), jak i w Princeton (Szymon Suckewer i Charles Skinner), w Rutherford Appleton Laboratory w Anglii (Michael Key i Geoff Pert), i w Uniwersytecie Paryskim (Pierre Jaeglé), i w wielu innych laboratoriach państwowych, uniwersytetach, i laboratoriach przemysłowych na całym świecie.

Niektóre z tych nowych podejść, w przeciwieństwie do metody opisanej w tym artykule, nie wymagają atomów o wysokim Z i pomp wielkiej mocy, takich jak *Nova*. Zamiast tego, koncentrują się one na bardziej efektywnych mechanizmach wzbudzania, wymagających mniejszej mocy. W końcu, być może przy użyciu takich nowych metod, uda się zmniejszyć żądania mocy na tyle, że stołowe lasery rentgenowskie staną się rzeczywistością.

Literatura uzupełniająca

D. L. Matthews et al., *Phys. Rev. Lett.* **54**, 110 (1985).

M. D. Rosen et al., *Phys. Rev. Lett.* **54**, 106 (1985).

M. H. Key, *Nature* **316**, No.6026, 314 (1985).

International Colloquium on X-Ray Lasers, red. P. Jaeglé i A. Sureau, (w) *Journal de Physique* **47**, C6 (1986).

The Generation of Coherent VUV and Soft X-Ray Radiation, red. D. L. Matthews i R. R. Freeman, (w) *J. Opt. Soc. Am.* **B4** 530, (1987).

Uzupełnienie¹

Artykuł nasz (tj. powyższy artykuł – Red.) nie daje niestety dostatecznie dogłębnego odniesienia do wielkiej różnorodności prac naszych kolegów. Zarówno szczupłość miejsca, jak i ograniczenia stworzone przez zaadresowanie go do niespecjalistycznego odbiorcy, uczyniły niemożliwym przedyskutowanie wszystkich kierunków badań (włączając w to i wiele aspektów naszej własnej pracy) tak gruntownie, jak na to zasługiwały.

Dla odnotowania faktów powinniśmy wspomnieć, że pierwsze znaczące międzynarodowe wysiłki w kierunku skonstruowania laserów rentgenowskich miały miejsce we Francji (Uniwersytet Paryski i Francuska Komisja Energii Atomowej), w Anglii (Rutherford Appleton Laboratory i Uniwersytet w Hull), w RFN (Instytut Hahna-Meitner w Garching), w Japonii (Uniwersytet w Tokio i Uniwersytet w Osace), w Kanadzie (Państwowa Rada Badań Naukowych w Ottawie), w Związku Radzieckim, Chinach, Izraelu i NRD. W naszym kraju istnieje też wiele ważnych programów badawczych, podobnych do naszego, mianowicie w KMS Fusion Inc. w Ann Arbor (stan Michigan), w Massachusetts Institute of Technology, w Naval Research Laboratory i w Uniwersytecie w Princeton. Nowe, interesujące podejścia, wykorzystujące ultra-krótkie impulsy laserowe (mniej niż 10^{-12} sekundy), i lasery optyczne o skrajnej mocy (ponad terawat), rozwijane są w niektórych wyżej wspomnianych instytutach, jak i w Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley, w Uniwersytecie w Chicago, i w Uniwersytecie Stanforda. Równie warte odnotowania są prace wykorzystujące wielkie pulsujące źródła mocy w Sandia National Laboratories, w Naval Research Laboratory, i w Physics International Company w San Leandro w Kalifornii.

Pierwsze twierdzenia o uzyskaniu laserów rentgenowskich zaczęły pojawiać się w drugiej połowie lat siedemdziesiątych, i we wczesnych latach osiemdziesiątych, wraz z wysiłkami Pierre'a Jaeglé i współpracowników z Uniwersytetu Paryskiego, A. Iliuchina i I. Sobelmana wraz z kolegami z Instytutu Fizycznego P.N. Liebediewa i Geoffa Perta ze współpracownikami z Uniwersytetu w Hull. Nie pozostawiający wątpliwości dowód istotnego wzmocnienia przeprowadzony został później, w Lawrence Livermore National Laboratory (*Phys. Rev. Lett.* **54**, 106 (1985)) i w Princeton (*Phys. Rev. Lett.* **55**, 1753 (1985)). Od tego czasu ujrzało już światło dzienne wiele nowych doniesień, ze wszystkich instytucji wymienionych powyżej.

Znaczące zastosowania lasera rentgenowskiego, inne od wspomnianej w artykule holografii, są obecnie badane w Princeton (mikroskopia rentgenowska komórek *in vitro*) i w LLNL we współpracy z Obertem R. Woodem II i Williamem T.

¹Jest to list D. L. Matthews'a i M. D. Rosena do Redakcji *Scientific American*, jaki ukazał się w zeszycie tego czasopisma z czerwca 1989 (przyp. Red.).

Silfvastem z AT&T Bell Laboratories (laser fotojonizacyjny pompowany skupionym laserem rentgenowskim). Rozwój dwuprzebiegowych wzmacniaczy do lasera rentgenowskiego, z wielowarstwowym lustrem rentgenowskim na jednym końcu, postępuje również w Princeton.

Z pracy wykonanej w naszym własnym laboratorium, artykuł nie wspominał o wczesnych pionierskich wysiłkach George'a F. Chapline Jr., Petera L. Hagelsteina, Thomasa A. Weavera, i Lowella T. Wooda, wszystkich z Lawrence Livermore National Laboratory. W dodatku, nie dyskutował także wagi problemu ugięcia wiązki i roli jaką nasze wzmacniacze z eksplodującą folią odgrywają w usunięciu go, pomimo że wzmacniacz taki umożliwił powstanie większości z dzisiejszych silnych laserów rentgenowskich, gdyż minimalizuje problem kierowania wiązką wewnątrz wzmacniacza. Byliśmy również na tyle niedbali, że nie wspomnieliśmy o nadzwyczajnej pracy nad wytworzeniem tarczy, wykonanej w LLNL w programie laserowym, i w Korporacji LUXEL w Friday Harbor w stanie Washington. KMS Fusion Inc. również dopomogła nam w najistotniejszych eksperymentach, które utorowały drogę dla stworzenia wzmacniaczy rentgenowskich. W końcu, wdzięczność należy się również wielu osobom w LLNL za wyrafinowaną bazę danych atomowych, i wielkie komputerowe programy symulacyjne, dzięki którym mogliśmy dokonywać wszystkich naszych przewidywań.

Pragnęlibyśmy również poprawić kilka błędów, które zakradły się do naszego manuskryptu. Po pierwsze, gdy opisywaliśmy pionierskie lustra Eberharda Spillera z Thomas J. Watson Center koncernu IBM, chodziło nam o lustra wielowarstwowe, nie zaś o optykę odbicia "promienia muskającego", rozwiniętą o wiele wcześniej przez P. Kirkpatricka i Alberta V. Baeza. Po drugie, stworzyliśmy pierwszy hologram *wytworzony przez laser rentgenowski*, a nie zaś pierwszy hologram wytworzony przez promienie rentgenowskie w ogóle.

Tłumaczył

Jan Grochmalicki

Zakład Fizyki Teoretycznej PAN

Warszawa

Bruno Lengeler

*Institut für Festkörperforschung
Forschungsanlage Jülich, RFN*

Absorpcja i odbicie promieni X: Nowe sondy w fizyce ciała stałego¹

X-Ray absorption and reflection: new probes in solid state research

Abstract: X-rays play an important role in the characterization of the mechanical, electric, optical and magnetic properties of solids. With the growing availability of synchrotron radiation, the existing X-ray techniques are improved and new ones are developed. X-ray absorption and reflection spectroscopies fall into this category. Both of these techniques are described in this paper. Their possibilities are illustrated on the examples of high T_c superconductors and layer structures grown for the microelectronic industry.

1. Wstęp

Elektrony relatywistyczne, które pod wpływem pól magnetycznych krążą po orbitach kołowych w pierścieniu akumulacyjnym akceleratora emitują promieniowanie elektromagnetyczne, nazywane promieniowaniem synchrotronowym. Światło to ma niezwykle własności: wysokie natężenie i wysoka luminancję. Jego widmo energetyczne sięga od podczerwieni do wielu dziesiątek keV. Pierścień akumulacyjny jest zatem również źródłem światła. Promieniowanie jest w wysokim stopniu skolimowane w kierunku pionowym i liniowo spolaryzowane w płaszczyźnie pierścienia. Dla porównania: lampa rentgenowska wypromieniowuje w widmie charakterystycznym praktycznie tylko jeden dublet. Promieniowanie emitowane jest w kącie bryłowym 4π i jest nie spolaryzowane. Należy się spodziewać, że

¹Artykuł pt. "Röntgenabsorption und -reflexion: Neue Sonden in der Festkörperforschung", opublikowany w *Physikalische Blätter* 46, No 2, 50 (1990), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy. [Translated with permission, Copyright © Physik-Verlag GmbH 1990] (przyp. Red.).

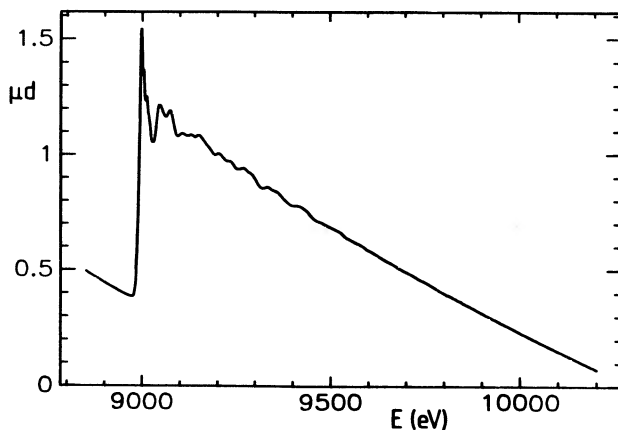
typowe wartości natężenia twardego promieniowania X w zakresie 10 keV, padającego na próbkę, dla takiego pierścienia akumulacyjnego jak DORIS w Laboratorium Promieniowania Synchrotronowego (HASYLAB) w Hamburgu wynoszą $10^9 - 10^{10}$ fotonów na sekundę w pasmie energetycznym o szerokości 1 eV. To natężenie można zwiększyć jeszcze o kilka rzędów wielkości, jeśli promieniowanie pochodzi nie z magnesów odchylających, lecz z wibratorów magnetycznych (ang. wigglers) i undulatorów. Owe niezwykle własności otworzyły promieniowaniu synchrotronowemu szeroki zakres zastosowań w badaniach podstawowych i technice. Rozwinięte zostały nowe metody używające promieniowania elektromagnetycznego, a metody znane zostały udoskonalone. Wymienić tu należy dyfrakcję promieni X , metody absorpcyjne, analizę fluorescencyjną, rentgenowskie fale stojące, topografię rentgenowską, metody fotoemisyjne, litografię rentgenowską oraz nieinwazyjną angiografię naczyń wieńcowych. Artykuły przeglądowe o powstawaniu i własnościach promieniowania synchrotronowego, jak również o najnowszym rozwoju technik rentgenowskich, które wykorzystują to promieniowanie podane są w odnośnikach [1, 2].

W niniejszym artykule chciałbym ograniczyć się do dwóch metod, które zyskały wielkie znaczenie w badaniach materiałowych: absorpcji i odbicia twardego promieni X . Możliwości tych metod, ale także i ich ograniczenia zostaną przedstawione na przykładach z dziedziny nadprzewodników wysokotemperaturowych oraz cienkich warstw i układów warstw, które odgrywają coraz ważniejszą rolę w wielu współczesnych technologiach.

2. Rentgenowska spektroskopia absorpcyjna [1–5]

Podczas przejścia przez materię promieniowanie rentgenowskie ulega osłabieniu. Osłabienie to zależy wykładniczo od grubości d warstwy pochłaniającej oraz od liniowego współczynnika absorpcji $\mu(E)$, który ze swej strony zależy od energii fotonów E . Dla określonych wartości energii, charakterystycznych dla każdego atomu, występują krawędzie absorpcji. Wówczas μ rośnie drastycznie w obrębie niewielkiego przedziału energii. Energia fotonu jest w pobliżu tych krawędzi wystarczająco wysoka, by zjonizować silnie związane elektrony wewnętrzne. Przy krawędziach K jonizacji ulegają elektrony $1s$, a przy krawędziach L_1 , L_2 i L_3 odpowiednio elektrony $2s$, $2p_{1/2}$ i $2p_{3/2}$. Rysunek 1 pokazuje absorpcję μd w pobliżu krawędzi K miedzi w wysokotemperaturowym nadprzewodniku $YBa_2Cu_3O_7$ ($T_c = 92$ K). Godne zauważenia są tu dwa punkty.

Powyżej krawędzi absorpcji przy około 8980 eV występują oscylacje μ , które określane są jako EXAFS. Skrót ten oznacza angielską nazwę *extended X-ray absorption fine structure* (polska nazwa: rozciągnięta subtelna struktura rentgenowskiego widma absorpcyjnego). Z tej struktury subtelnej można wyznaczyć



Rys.1. Absorpcja promieniowania rentgenowskiego μd jako funkcja energii fotonów E w nadprzewodniku wysokotemperaturowym $\text{YBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_7$ ($T_c = 92$ K) z oscylacjami EXAFS powyżej krawędzi K miedzi, leżącej przy 8980 eV (EXAFS: *Extended X-ray Absorption Fine Structure*)

strukturę geometryczną w otoczeniu pochłaniającego atomu. Po drugie, kształt i dokładne położenie krawędzi absorpcji zależy od otoczenia chemicznego atomu absorbenta. W szczególności daje to dla silnie związanych elektronów prosty związek między wartościowością absorbenta i położeniem krawędzi. Przez wartościowość rozumie się tu formalną wartościowość jonów, wynikającą z chemicznego wzoru cząsteczki. Im wyższa jest ta wartościowość, tym wyższa jest energia jonizacji wewnętrznych elektronów. Jest to następstwem przekazu ładunku między badanym atomem a jego sąsiadami. Przekaz ten jest najsilniejszy dla pierwiastków najbardziej ujemnych elektrycznie, fluoru i tlenu. Dlatego chemiczne przesunięcie jest także największe dla ligandów fluorowych i tlenowych. Może ono wynosić do 13 eV. Luka w powłoce $1s$, $2s$, $2p$, ..., wytworzona w procesie absorpcji, może zostać zapełniona przez elektron z wyższej powłoki. Proces ten jest związany z emisją fotonów fluorescencyjnych lub elektronów Augera. Natężenie wyemitowanych fotonów i elektronów wykazuje oscylacje EXAFS, podobne do oscylacji natężenia promieniowania przepuszczonego. Tryb fluorescencyjny spektroskopii EXAFS stosowany jest do badania układów rozcieńczonych (ok. 10 p.p.m. przy 1 % atomowym), podczas gdy tryb transmisyjny nadaje się do układów, w których substancja absorbująca występuje w wysokiej koncentracji (≥ 1 % at.). Tryby: transmisyjny i fluorescencyjny pozwalają na przeprowadzenie pomiarów *in situ*, gdyż dzięki względnie wysokiej zdolności przenikania twardych promieni X próbka może być otoczona gazami i cieczami. Jest to szczególnie interesujące przy

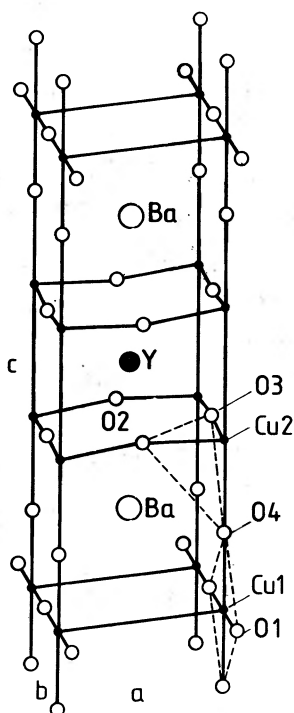
badaniu katalizatorów. Fotoelektrony, które mogą wydostać się z próbki i mają energię między 1 eV a 1 keV pochodzą z bardzo cienkiej warstwy powierzchniowej. Dlatego przy pomiarach wydajności fotoelektronowej spektroskopia EXAFS jest siłą rzeczy metodą powierzchniową (SEXAFS, *Surface EXAFS*). Ten tryb stosowany jest głównie dla lekkich pierwiastków ($Z \leq 10$).

2.1. Spektroskopia EXAFS

Oznaczmy składową oscylacyjną liniowego współczynnika absorpcji przez χ . Fotoelektron, wyemitowany w trakcie procesu absorpcyjnego, rozchodzi się jako fala kulista wokół atomu absorbenta i może zostać rozproszony przez jego sąsiadów. Fala rozchodząca się może przy tym interferować z falą rozproszoną. Jeśli ta interferencja jest konstruktywna, to prawdopodobieństwo znalezienia fotoelektronu na zewnątrz absorbenta jest większe niż w przypadku swobodnego atomu absorbenta bez sąsiadów. W takim przypadku χ ma maksimum. Natomiast jeśli ta interferencja jest destruktywna, to χ ma minimum. Interferencja fali rozchodzącej się i odbitej fali fotoelektronu wytwarza tym samym oscylacje χ w funkcji wektora falowego κ fotoelektronu. Natężenie zmieni się o jeden okres, gdy stosunek podwojonej odległości $2r_j$ (między absorbentem a atomem rozpraszającym) do długości fali $2\pi/\kappa$ fotoelektronu zwiększy się o 1. Okresy oscylacji wyrażone są zatem bezpośrednio przez odległości międzycząsteczkowe, a dla każdej powłoki koordynacyjnej istnieje pewien okres w χ . Amplituda oscylacji jest proporcjonalna do liczby koordynacyjnej odpowiedniej powłoki. Tym samym ze struktury subtelnej μ można wyznaczyć strukturę geometryczną (odległości międzycząsteczkowe i liczby koordynacyjne) w otoczeniu atomu absorbenta. Osiągana dokładność wyznaczania odległości wynosi zazwyczaj 0,01 Å, a dla liczb koordynacyjnych najczęściej ok. 10 %. Absorpcja promieni X stanowi więc lokalną sondę. Jest to jednakże zarazem sonda czuła na konkretne atomy, ponieważ krawędzie absorpcji są charakterystyczne dla każdego pierwiastka. Tak więc za pomocą tej metody można badać ułożenie atomów wokół dowolnego atomu. Jako ilustracja możliwości takiej spektroskopii niech posłuży przykład.

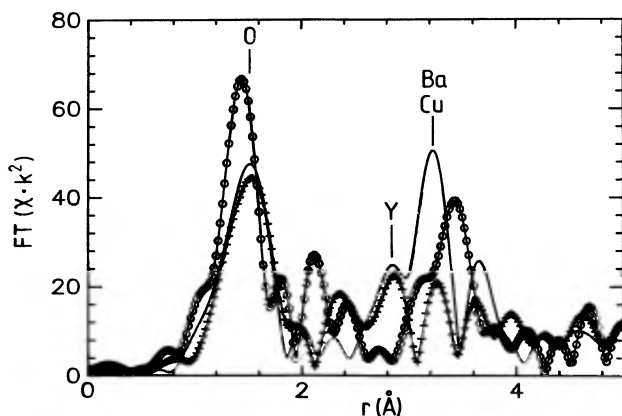
*Przykład: Nadprzewodniki wysokotemperaturowe $YBa_2Cu_{3-x}M_xO_{7+\delta}$ domieszko-
wane Co i Ni*

Rysunek 2 pokazuje komórkę elementarną struktury nadprzewodnika wysokotemperaturowego $YBa_2Cu_2O_7$, określoną za pomocą rozpraszania neutronów [6]. Są tam dwa różne miejsca dla atomów miedzi. Atomy Cu2 otoczone są piramidalnie pięcioma atomami tlenu, Cu1 płasko czterema atomami tlenu. Atomy Cu1-01 tworzą łańcuchy wzdłuż osi b . Drugimi sąsiadami atomu Cu2 są cztery atomy itru w odległości 3,20 Å, znajdujące się w środku czterech sąsiednich komórek elementarnych. Cu1 nie ma bliskiego sąsiada Y, natomiast ma ośmiu sąsiadów



Rys.2. Komórka elementarna rombowego $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, określona za pomocą rozpraszania neutronów [6]

– atomy baru w odległości 3,48 Å. Rysunek 3 pokazuje transformatę Fouriera krzywej EXAFS $\chi \cdot \kappa^2$ z rys. 1 przy krawędzi K Cu. Główne struktury odpowiadają różnym powłokom koordynacyjnym w nadprzewodniku wokół Cu. Duże maksimum dla 1,5 Å pochodzi na przykład od pierwszych sąsiadów tlenowych atomów Cu1 i Cu2. Cztery sąsiedzi Y atomów Cu2 pojawiają się przy 2,9 Å. Duże maksimum dla 3,2 Å pochodzi od ośmiu atomów Ba wokół Cu1 i od sąsiadów Cu atomów Cu1 i Cu2. Przesunięcie położenia maksimum (maksimum Y atomu Cu2 leży przy 2,9 Å, podczas gdy znana odległość międzyatomowa wynosi 3,2 Å) wywołane jest przez rozpraszanie fotoelektronów na powłokach absorbenta i atomów rozpraszających. Związane z tym przesunięcia fazowe zależą od energii i rodzaju atomów. Można je uwzględnić dzięki kalibracji skali odległości w transformatach Fouriera za pomocą znanej substancji wzorcowej. Tak na przykład CuO i Cu_2O mogą służyć jako wzorce do kalibracji odległości pary Cu-O. Zróznicowane otoczenie lokalne obu rodzajów położenia Cu w sieci nadprzewodnika można teraz wykorzystać do określenia położenia w sieci tych obcych atomów, które częściowo zastępują Cu. Nikel i kobalt są takimi atomami domieszkowymi. Co i Ni wpływają silnie na własności nadprzewodzące, ale nie zmieniają w zasadniczy sposób



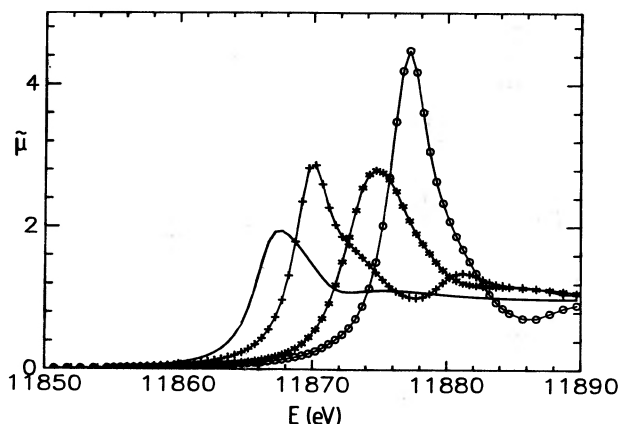
Rys.3. Transformata Fouriera krzywej EXAFS $\chi \cdot \kappa^2$ w pobliżu krawędzi *K* miedzi w $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (-), krawędzi *K* kobaltu w $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{7,4}$ (o) i krawędzi *K* niklu w $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,7}\text{Ni}_{0,3}\text{O}_{7,0}$ (+). Y jest drugim sąsiadem dla Cu2 i dla Ni, ale nie dla Co. Oznacza to, że Co zajmuje miejsca Cu1, a Ni – Cu2

struktury sieci nadprzewodnika.

Z eksperymentalnych badań metodą rozpraszania neutronów wiadomo, że kobalt zajmuje miejsca Cu1, a nikiel Cu2 [6]. Dlatego patrząc od strony Co nie powinniśmy widzieć Y w odległości 2,9 Å, podczas gdy od strony Ni powinien on być widoczny. Rysunek 3 potwierdza te wyobrażenia. Transformata Fouriera krzywej EXAFS przy krawędzi *K* kobaltu w $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{7,4}$ ma znikającą wartość dla 2,9 Å, a przy krawędzi *K* niklu w $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,7}\text{Ni}_{0,3}\text{O}_7$ ma wartość taką samą jak w niedomieszkowanym nadprzewodniku. Ponadto nadprzewodnik domieszkowany Co zawiera więcej tlenu ($\text{O}_{7,4}$), co uwidacznia się jako większa wysokość maksimum dla 1,5 Å. Natomiast nadprzewodnik domieszkowany Ni ma także siedem atomów tlenu w cząsteczce.

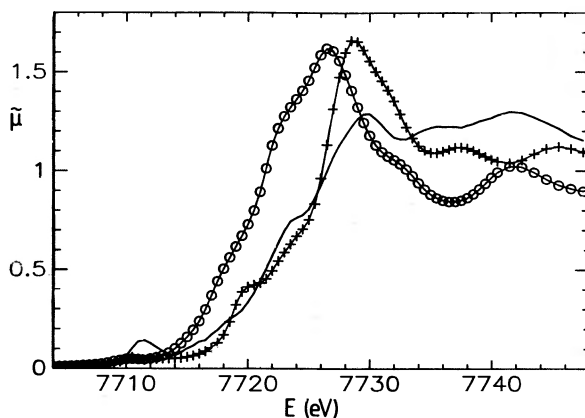
2.2. Położenie i struktura krawędzi

Na rysunku 4 przedstawiona jest krawędź *K* arsenu w pierwiastku As, w As_2O_3 , As_2O_5 i KAsF_6 . Widać wyraźnie różnice w położeniu i kształcie krawędzi. Ze wzrostem wartościowości krawędź przesuwa się w stronę wyższych energii. Krawędź As^{3+} w As_2O_3 leży o 3 eV, a As^{5+} o 7 eV powyżej krawędzi As. To chemiczne przesunięcie jest najbardziej wyraźne dla silnie elektrojennych ligandów. Fluor, który jest jeszcze bardziej elektrojenny niż tlen wytwarza dla As^{5+} w KAsF_6 chemiczne przesunięcie nawet o 10 eV. Ten prosty związek między położeniem krawędzi a wartościowością został potwierdzony doświadczalnie dla wszystkich atomów. Można go stosować jako metodę "daktyloskopijną" do określania war-



Rys.4. Krawędź K arsenu w metalicznym arsenie (-), w As_2O_3 (+), w As_2O_5 (*) i w KAsF_6 (o). Przesunięcie chemiczne krawędzi rośnie z wartościamiowością i jest większe dla ligandów fluoru niż tlenu

tościowości jonów w związku. Jako przykład na rys. 5 pokazano krawędź K Co w domieszkowanym nadprzewodniku $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{7,4}$, w dwuwartościowym CoO oraz w trójwartościowym LiCoO_2 . Kobalt w domieszkowanym nadprzewodniku jest w oczywisty sposób trójwartościowy.



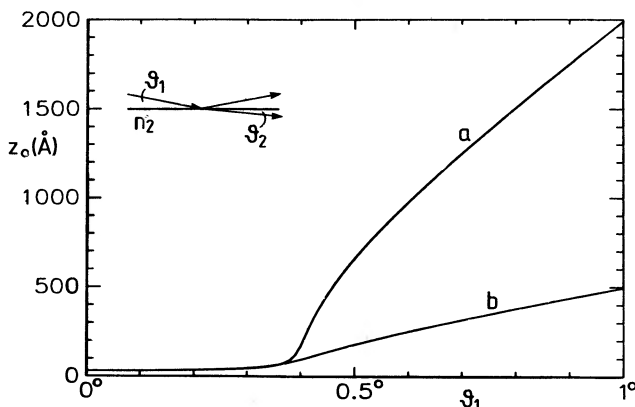
Rys.5. Krawędź K kobaltu w $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{7,4}$ (-), w dwuwartościowym CoO (o) i w trójwartościowym LiCoO_2 (+). Domieszkowany nadprzewodnik zawiera trójwartościowy Co

3. Odbicie promieni X od powierzchni granicznych [2,4]

Wskutek względnie wysokiej zdolności przenikania promieni X przez materię pomiary absorpcji tego promieniowania w układzie transmisyjnym mają charakter objętościowy. W wielu ważnych zastosowaniach takich, jak uszlachetnianie powierzchni materiałów czy w produkcji półprzewodnikowych elementów mikroelektronicznych, potrzebne są rentgenowskie metody czule na powierzchnie graniczne. W dalszym ciągu artykułu pokażemy, że wszystkie metody rentgenowskie są powierzchniowe, jeśli stosuje się je w warunkach całkowitego odbicia.

3.1. Odbicie promieni rentgenowskich na powierzchni granicznej

Prawo Snelliusa załamania światła widzialnego słuszne jest również dla promieni rentgenowskich. Współczynnik załamania światła widzialnego np. w szkle wynosi 1,6, jest więc większy niż 1. Dlatego promień w szkle załamany jest w stronę normalnej do powierzchni. Natomiast dla promieni rentgenowskich współczynnik załamania n jest nieco mniejszy od jedności i można go przedstawić w formie $n = 1 - \delta - i\beta$. Liczby δ i β są dodatnie i mają wartości między 10^{-5} i 10^{-7} . Składowa absorpcyjna β jest proporcjonalna do współczynnika absorpcji μ . Składowa dyspersyjna jest proporcjonalna do kwadratu długości fali λ fotonów, do gęstości elektronowej (a tym samym również do gęstości materiału ρ) oraz do części rzeczywistej atomowego czynnika rozpraszania f_1 materii. Dla energii znacznie powyżej wszystkich krawędzi absorpcji f_1 jest równe liczbie porządkowej Z . Dla promieni rentgenowskich materia jest rzadsza niż próżnia ($n < 1$). Dlatego promienie te załamane są pod większym kątem do normalnej, gdy wnikają w materię (rys.6). W następstwie tego istnieje krytyczny kąt θ_{1c} , dla którego $\theta_2 = 0$, i poniżej niego występuje całkowite odbicie. Jeśli można zaniedbać absorpcję, to $\theta_{1c} = (2\delta)^{1/2}$. Kąt krytyczny jest zatem proporcjonalny do długości fali fotonów oraz do pierwiastka z gęstości i atomowego czynnika rozpraszania f_1 . Dla fotonów 100 keV wartości kąta krytycznego leżą poniżej $0,5^\circ$. Całkowite odbicie występuje zatem tylko wtedy, gdy padająca wiązka muska powierzchnię. Aby pole elektromagnetyczne uległo całkowitemu odbiciu na powierzchni granicznej, musi wniknąć na pewną głębokość do ośrodka. Charakterystyczna głębokość wnikania z_0 dla Ta przedstawiona jest na rys. 6 w funkcji kąta padania θ_1 . Powyżej kąta krytycznego głębokość wnikania określa absorpcja; poniżej θ_{1c} z_0 zależy tylko od gęstości ośrodka i dla wiązki ledwie muskającej powierzchnię ($\theta_1 < 0,5^\circ$) wynosi od 20 do 70 Å. Tym samym w zakresie całkowitego odbicia wszystkie metody rentgenowskie (absorpcja, dyfrakcja, fluorescencja, topografia, ...) są powierzchniowe w tym sensie, że sygnał pochodzi z warstwy o grubości 20 do 70 Å, położonej przy odbijającej powierzchni granicznej. Otwiera to metodom rentgenowskim zupełnie nowe możliwości w dziedzinie nieniszczącej analizy powierzchni granicznych. Współczynnik odbicia dla promieni rentgenowskich określony jest również

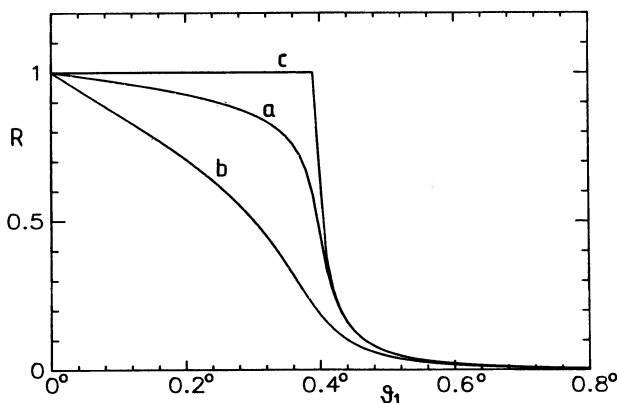


Rys.6. Głębokość wnikania z_0 fotonów o energii 9800 eV (a) i 9882 eV (b) w zwierciadle tantalowym przy ślizgającym kącie padania. W lewym górnym rogu pokazane są definicje kątów θ_1 i θ_2 . Daleko poniżej kąta krytycznego (ok. $0,39^\circ$) głębokość wnikania wynosi tylko 30 Å. Przy bardzo ślizgającym padaniu wiązki wszystkie metody rentgenowskie są powierzchniowe. Poniżej θ_{1c} głębokość wnikania określa absorpcja. Krzywa a dotyczy energii poniżej krawędzi L_3 tantalum. Dla krzywej b absorpcja przy krawędzi jest maksymalna

przez równania Fresnela, tak samo jak w zakresie widzialnym. Rysunek 7 pokazuje zdolność odbijającą zwierciadła tantalowego. Gdyby można było zaniedbać absorpcję, to dzięki całkowitemu odbiciu mielibyśmy idealne zwierciadło. Powyżej θ_{1c} współczynnik odbicia R nie spada gwałtownie do zera, lecz pozostaje pewna wartość szczytkowa, tym większa, im większe jest δ . Poniżej θ_{1c} zdolność odbijająca zmniejszona jest przez absorpcję. Przy silnej absorpcji θ_{1c} przestaje być dobrze określone. Całkowicie odbijające lustro (wygięte), pokryte gładką warstwą ciężkiego pierwiastka (np. Au lub Pt) znalazły duże zastosowanie w optyce rentgenowskiej, gdyż dla promieni X nie ma soczewek. Zastosowanie to stawia duże wymagania obróbce powierzchni odbijających materiałów, ponieważ już nierówności w zakresie 20 Å znacznie zmniejszają zdolność odbijającą.

3.2. Odbicie od warstwy nałożonej na podłoże

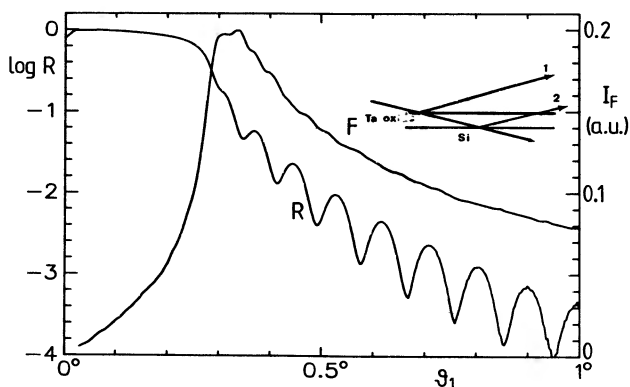
Charakteryzacja cienkich warstw na podłożach (grubość warstwy, jej gęstość, skład, nierówności powierzchni granicznej, rozmycie warstwy wskutek dyfuzji między warstwą a podłożem) ma duże znaczenie techniczne, a można ją przeprowadzić w sposób nieniszczący za pomocą metod rentgenowskich. Zdemonstrujemy to na następującym przykładzie z dziedziny wytwarzania mikroelementów półprzewodnikowych.



Rys.7. Zdolność odbijająca promieni rentgenowskich dla płaskiego zwierciadła tantalowego. Absorpcja zmniejsza zdolność odbijającą w znacznym stopniu poniżej θ_{1c} . Krzywa *a*: $E = 9800$ eV, krzywa *b*: $E = 9882$ eV, krzywa *c*: $E = 9800$ eV i przy założeniu, że współczynnik absorpcji jest równy zeru.

Przykład: Warstwa tlenku tantalum CVD na krzemie

Stała dielektryczna tlenku tantalum jest 5–7 razy większa od stałej SiO_2 . Dlatego w zasadzie jako dielektryk Ta_2O_5 lepiej nadaje się do wytwarzania komórek pamięci. Okazało się jednak, że warstwa tlenku tantalum, nałożona za pomocą zwykłych metod jak np. CVD (*chemical vapor deposition*) ma niewystarczającą odporność na przebicia elektryczne. Przyczynę tego udało się ustalić za pomocą pomiarów absorpcji i odbicia promieni X . Na rysunku 8 pokazano zdolność odbijającą tlenku tantalum, nałożonego na krążek Si w temperaturze 410°C za pomocą CVD. Przy $\theta_1 = 0,3^\circ$ fotony ($10\,000$ eV) wnikają do tlenku i do podłoża Si. Niewielki ułamek fali ulega odbiciu na powierzchniach granicznych powietrze/tlenek i tlenek/krzem, interferuje i wytwarza oscylacje zdolności odbijającej. Różnica dróg optycznych między promieniami 1 i 2 zależy od grubości warstwy. Z okresu oscylacji można obliczyć grubość warstwy (352 ± 3) Å. Dla jeszcze cieńszych warstw wyznaczanie grubości jest również bardzo dokładne i niezależne od stałych optycznych. Z kąta krytycznego całkowitego odbicia od tlenku tantalum wyznacza się gęstość tlenku, jeśli znany jest skład warstwy. Tlenek tantalum nakładany metoda CVD jest amorficzny, dlatego dyfrakcja promieni X nie może być tu stosowana do określania struktury. Informacje te można jednak uzyskać z absorpcji promieni X (EXAFS i struktura krawędzi) na krawędzi L_3 tantalum. Wyniki badań można podsumować w następujący sposób: krawędź L_3 Ta w tlenku CVD jest identyczna z krawędzią krystalicznego c- Ta_2O_5 . Krzywe EXAFS tlenku



Rys.8. Zdolność odbijająca R fotonów o energii 10000 eV od warstwy tlenku tantalumu na podłożu krzemowym. Oscylacje powstają wskutek interferencji fal 1 i 2, odbitych od powierzchni granicznych powietrze-tlenek i tlenek-krzem. Z okresu oscylacji wyznacza się grubość warstwy tlenkowej. Natężenie F promieniowania fluorescencyjnego linii L_{α} tantalumu wykazuje maksimum dla kąta krytycznego

CVD wykazują również tę samą strukturę lokalną, co w $c\text{-Ta-}2\text{O}_5$, a ponadto jego skład jest jednorodny w całej grubości warstwy. Oznacza to, że warstwa tlenku tantalumu, nałożona przez CVD przy 410°C jest źle wykrystalizowanym Ta_2O_5 bez dalekiego uporządkowania. Uwzględniając tę informację można wyznaczyć gęstość warstwy na podstawie kąta krytycznego. Otrzymuje się wartość równą 94 % gęstości krystalicznego Ta_2O_5 . Tlenek tantalumu CVD zawiera także wiele defektów strukturalnych. Są one odpowiedzialne za niską odporność warstwy na przebicia elektryczne.

3.3. Rentgenowska analiza fluorescencyjna

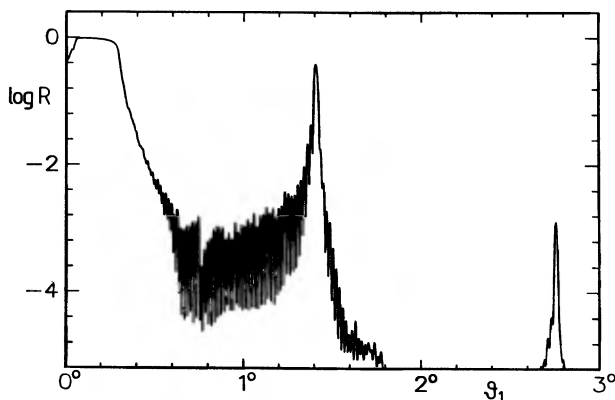
Oprócz zdolności odbijającej na rys. 8 pokazane jest też natężenie fluorescencji linii L_{α} tantalumu, która emitowana jest z warstwy tlenku przy różnych kątach padania. Krawędź L_3 tantalumu leży przy 9877 eV. Energia fotonów wzbudzających wynosiła 10000 eV. Rentgenowska analiza fluorescencyjna jest dobrze znaną metodą określania koncentracji w układach wielopierwiastkowych. Zalety promieniowania synchrotronowego w analizie fluorescencyjnej są oczywiste. Wysokie natężenie umożliwia poprawienie stosunku sygnału do tła, a tym samym polepszenie granicy wykrywalności. Możliwość dostrojenia długości fali pozwala na wybór optymalnej energii wzbudzenia dla każdego pierwiastka. Jednocześnie umożliwia ona rozróżnienie pierwiastków sąsiadujących w układzie okresowym, jeśli wybierzemy energię wzbudzenia pomiędzy ich krawędziami absorpcji. Po-

dobnie w razie potrzeby można dzięki odpowiedniemu wyborowi energii fotonów zredukować szkodliwą fluorescencję w podłożu. Jeśli do wzbudzenia używamy światła spolaryzowanego liniowo (taką polaryzację ma promieniowanie synchrotronowe emitowane w płaszczyźnie pierścienia akumulacyjnego), to można zredukować tło pochodzące od światła rozproszonego sprężystości, jeśli detektor ustawiony jest w kierunku wektora \mathbf{E} fali świetlnej. Wreszcie, dzięki wysokiej kolimacji promieniowania synchrotronowego możliwa jest dalsza redukcja tła, jeśli badaną substancję umieścimy na płaskim podłożu (np. w formie wysuszonego roztworu). Przy całkowitym odbiciu od podłoża wnosi ono tylko niewielki wkład do tła, ponieważ pole elektromagnetyczne wnika tylko na kilkadziesiąt angstromów w głąb podłoża. Przy użyciu pierścienia akumulacyjnego DORIS w Hamburgu uzyskano w analizie wielopierwiastkowej czułość wykrywania rzędu 10^{-14} g [7]. Jeśli połączyć analizę fluorescencyjną z absorpcją promieniowania X , to na podstawie struktury krawędzi można oprócz koncentracji określić także stan chemiczny (wartościowość, typ koordynacyjny).

Na rysunku 8 widać również inne możliwości analizy fluorescencyjnej. Zależność kątowa fluorescencji (na płaskich powierzchniach) odzwierciedla rozkład fluoryzującej substancji w funkcji głębokości. Natężenie fluorescencji cienkich warstw, takich jak pokazano na rys. 8, wykazuje maksimum przy kącie krytycznym. Wywołane jest ono przez rentgenowskie fale stojące, które powstają nad całkowicie odbijającą powierzchnią graniczną wskutek interferencji padającego i odbitego pola falowego, a którego natężenie może być nawet cztery razy większe od natężenia fali padającej. Spadek powyżej θ_{1c} spowodowany jest stałym przekrojem wiązki promieniowania X , jako że przy cienkich warstwach i rosnącym kącie oświetlana jest coraz mniejsza objętość próbki. Dla grubych próbek nie ma tego efektu. Wtedy I_F powyżej kąta krytycznego dąży do wartości nasycenia. Jeśli fluoryzująca warstwa przykryta jest inną warstwą, to fluorescencję obserwujemy dopiero wtedy, gdy przekroczymy kąt całkowitego odbicia dla nałożonej warstwy. Z zależności kątowej fluorescencji przy muskającym kącie padania można zatem w nieniszczący sposób wyznaczyć profil głębokościowy fluoryzującej substancji. W szczególności można również zmierzyć interdyfuzję na powierzchni granicznej. Metoda taka nie ma jednakże zdolności rozdzielczej w płaszczyźnie równoległej do powierzchni próbki.

3.4. Odbicie od warstw wielokrotnych

Jeśli na podłożu naniesiemy nie tylko jedną, lecz wiele periodycznie ułożonych warstw, to w zdolności odbijającej oprócz całkowitego odbicia pojawiają się również refleksy braggowskie od warstwy wielokrotnej. Rysunek 9 pokazuje taki przykład. Metodą napyłania nałożono 80 podwójnych warstw złożonych z 16 \AA Si i 11 \AA Ta na czterocalowa płytkę Si. Poniżej $0,29^\circ$ fotony o energii 9800 eV ulegają



Rys.9. Zdolność odbijająca fotonów o energii 9800 eV od układu 80 podwójnych warstw, składających się z 16 Å Si i 11 Å Ta. Maksima dla 1,40° i 2,76° są refleksami Bragga od warstwy wielokrotnej. Oscylacje widoczne szczególnie dobrze w okolicy 1° powstają wskutek istnienia skończonej liczby warstw w układzie.

całkowitemu odbiciu. Następnie zdolność odbijająca spada o trzy rzędy wielkości, aby przy 1,40 Å znów wzrosnąć do ok. 50 %. Jest to refleks braggowski od 80 podwójnych warstw. Przy uwzględnieniu załamania uzyskuje się z warunku Bragga okres D równy 26,4 Å, porównywalny z grubością 27 Å, wyznaczoną na podstawie parametrów technicznych przy nakładaniu warstw. Przy 2,76° występuje drugi rząd odbicia: wyższe rzędy są niemierzalne. Oscylacje między refleksami są następstwem skończonej liczby warstw. Z ich odległości kątowych otrzymuje się liczbę okresów 79,3, w dobrej zgodności z liczbą 80, podaną przez producenta. Periodyczne warstwy wielokrotne są znakomitymi monochromatorami dla promieni rentgenowskich. Mogą one nawet być stosowane jako zwierciadła dla miękkich promieni X, padających prostopadle. Pomiar zdolności odbijających promieni X jest zatem znakomitą, nieniszczącą metodą sprawdzania jakości warstw wielokrotnych.

Warstwa wielokrotna pokazana na rys. 9 składała się z amorficznych warstw Ta i Si. W optoelektronice wykorzystuje się epitaksjalne warstwy wielokrotne związków III-V, na przykład warstwy GaAs i $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ na podłożu GaAs. Ich charakterystyki pod względem grubości i składu warstw, zniekształceń oraz ostrości powierzchni granicznych udaje się dokonać w nieniszczący sposób za pomocą odbicia (dyfrakcyjnego) promieni rentgenowskich. Ponieważ wymienione własności określają przydatność epitaksjalnych warstw wielokrotnych dla optoelektroniki, dąży się do tego, aby określać owe parametry już podczas wytwarzania warstw, a tym samym optymalizować ich produkcję. Jak dotychczas takie

pomiary na skalę przemysłową są praktycznie niewykonalne z powodu obecnie jeszcze niewystarczającej dostępności promieniowania synchrotronowego. Rozwój niewielkich, zwartych synchrotronów o wymiarach ok. $2 \times 6 \text{ m}^2$ daje podstawy do nadziei, że już w niedalekiej przyszłości będzie możliwe połączenie niezwykłych własności promieniowania synchrotronowego z łatwą dostępnością laboratoryjnych źródeł światła.

Tłumaczył

z języka niemieckiego

Jerzy Gronkowski

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Literatura

- [1] *Handbook on Synchrotron Radiation*, red. E.E. Koch (t. 1 a,b, 1983); G.V.Marr (t.2, 1987); D.E.Moncton, G.S.Brown (t.3, 1989), North Holland.
- [2] *18. Ferienkurs des Instituts für Festkörperforschung der KFA Jülich "Synchrotronstrahlung in der Festkörperforschung"*, wyd. Kernforschungsanlage GmbH, Jülich, RFN (1987). (Por. również artykuł przeglądowy w języku polskim: J. Gronkowski, *Postępy Fizyki* **37**, 513 (1986)).
- [3] P.A. Lee, P.H. Citrin, P.Eisenberger, B.M. Kincaid, *Rev. Mod. Phys.* **53**, 769 (1981).
- [4] B. Lengeler, w: *Festkörperprobleme – Adv.Solid State Physics* **29**, 53 (1989), Vieweg, Braunschweig.
- [5] *Principles, Techniques and Applications of EXAFS, SEXAFS and XANES*, red. D.Koningsberger, R.Prins, Wiley Interscience, New York 1988.
- [6] K. Yvon, M. François, *Z. Phys. B* **76**, 413 (1989).
- [7] W. Petersen, P. Ketelsen, A. Knöchel, R. Rausch, *Nucl. Instr. Meth. A* **246**, 731 (1986).

WSPOMNIENIA–ROCZNICE

Ewa Dębowska, Waclaw Świątkowski

*Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Wrocławski, Wrocław*

Pamięci Profesora Bronisława Rozenfelda

Recollections of Professor Bronisław Rozenfeld (1922–1990)

W dniach 14–18 maja 1990 r. odbyło się w Piechowicach koło Jeleniej Góry XXII Seminarium Anihilacji Pozytonów, które zgromadziło 54 uczestników, w tym 15 spoza Polski. Ponieważ 6 tygodni wcześniej zmarł, organizujący to seminarium, kierownik Zakładu Zastosowań Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego prof. Bronisław Rozenfeld, uczestnicy Seminarium zebrali się wieczorem pierwszego dnia obrad na spotkaniu poświęconym uczczeniu jego pamięci.

Na wstępie spotkania, współautorka niniejszej informacji, dr Ewa Dębowska przedstawiła zebrany rys biograficzny zmarłego. Dla wielu obecnych, będących jego dobrymi znajomymi i przyjaciółmi było to jedynie krótkie przypomnienie znanych im faktów, zaś tym, którzy znali go tylko okazjonalnie bądź nie mieli okazji poznać go osobiście pozwoliło, w połączeniu z wystąpieniami innych uczestników spotkania, wytworzyć sobie obraz naszego szefa.

Fizyka powolnych pozytonów, której głównie poświęcił on swoją działalność naukową, nie jest dziedziną powszechnie znaną fizykom polskim. Uprawiający ją zespół Zakładu Zastosowań Fizyki Jądrowej jest przekonany jednak, że przedstawienie sylwetki uznanego i cenionego współinicjatora tego kierunku badań w Polsce, w formie informacji ze spotkania poświęconego jego pamięci, jest w pełni uzasadnione.

Niżej prezentujemy (w większości w tłumaczeniu z języka angielskiego) teksty wystąpień na spotkaniu.

*

*

*

Bronisław Rozenfeld urodził się 15 grudnia 1922 r. w Kałuszynie, niedaleko Mińska Mazowieckiego. Po ukończeniu w swoim rodzinnym mieście, w 1935 r. szkoły powszechnej przez trzy lata uczęszczał do szkoły zawodowej w Warszawie zdobywając zawód elektrotechnika. W Warszawie rozpoczął również pracę w zdobytym zawodzie. Wkrótce jednak, z wybuchem II Wojny Światowej, rozpoczęła się (typowa dla wielu Polaków) jego wędrówka na wschód – najpierw do Łucka, gdzie pracował jako elektrotechnik w budowanym tam szpitalu. W 1940 r. został wywieziony do rejonu Nowosybirska, gdzie pracował w gospodarstwie rolnym. Lata 1941–46 spędza w Kraju Altajskim. Tam przez dwa lata obsługuje silniki spalinowe, a następnie awansuje na kierownika oddziału mechanicznego w jednostce wojskowej. Nie zaniedbuje kształcenia i uczęszczając równocześnie do szkoły z polskim językiem wykładowym zdobywa w 1945 r. w Altajskim Kraju (w Jegorowce) maturę, a nieco wcześniej (w styczniu 1945 r.) zawiera związek małżeński.



Bronisław Rozenfeld
(1922–1990)

W 1946 r. wraca wraz z żoną do kraju i osiedla się na stałe we Wrocławiu i z tym miastem związane jest jego dalsze życie, a jego działalność zawodowa, o czym będzie mowa dalej, związana jest również z Opolem.

Bezpośrednio po przybyciu do Wrocławia pracuje jako urzędnik, najpierw w Urzędzie Wojewódzkim (1946–47), a następnie w Zarządzie Budownictwa Miejskaniowego (1947–50), z tym że już od 1946 r. studiuje fizykę na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu i Politechniki we Wrocławiu (te dwie placówki stanowiły wtedy jedną uczelnię), figurując pod numerem 37 w spisie studentów tych uczelni. W 1951 r. uzyskuje (już w wydzielonym Uniwersytecie Wrocławskim) dyplom magistra filozofii w zakresie fizyki, za wykonaną pod kierunkiem prof. Jana Wesołowskiego pracę pt. "Drugie maksimum krzywej Rossiego". Od tego czasu datuje się jego zainteresowanie fizyką jądrową i jej zastosowaniami.

Jego działalność naukowa i dydaktyczna rozpoczęła się w 1950 r. kiedy, jeszcze jako student, został zastępcą asystenta w Trzeciej Katedrze Fizyki Uniwersytetu i Politechniki Wrocławskiej, kierowanej przez prof. Jana Wesołowskiego. Następnie, w latach 1951–53 był asystentem a w latach 1953–54 starszym asystentem w Katedrze Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego. W tym czasie obowiązująca liczba godzin zajęć dydaktycznych wynosiła 36 tygodniowo. Mimo to ubiegał się wtedy o dodatkowe zajęcia, co wynikało z potrzeby utrzymania liczącej już troje dzieci rodziny; jak to było dość typowe w owym czasie dla fizyków wrocławskich, były to trzy córki. W latach 1954–68 był adiunktem, najpierw w Katedrze Fizyki Doświadczalnej, a następnie w wydzielonej z niej Katedrze Fizyki Jądrowej, która potem stała się Zakładem Zastosowań Fizyki Jądrowej w utworzonym Instytucie Fizyki Doświadczalnej. Ponadto w 1956 r. Rozenfeld rozpoczął pracę w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Opolu, którą, obok pracy w Uniwersytecie Wrocławskim, kontynuował do końca życia.

Jak już wspomniałam, jego najwcześniejsze zainteresowania dotyczyły głównie zastosowań fizyki jądrowej. Pierwszym problemem badawczym jakim się zajmował była migracja atomów wodoru w metalach. Przy użyciu atomów trytu w charakterze znaczonego atomów wodoru udało się pokazać, że w tantalu wodór może migrować przeciwnie do kierunku zewnętrznego pola elektrycznego, przy czym użyta metoda pozwoliła określić jednocześnie stałe dyfuzji i migracji. Problematyka dotycząca migracji wodoru jest kontynuowana i rozwijana do dziś przez kierowany do niedawna przez niego zespół fizyków w WSP w Opolu.

W 1955 r. Rozenfeld odbył miesięczny staż naukowy w Trzecim Instytucie Fizyki Uniwersytetu Humboldta w Berlinie, a w 1957 r. podobny staż w Uniwersytecie Łomonosowa w Moskwie. Po tym przygotowaniu przystąpił, pod kierunkiem prof. Wesołowskiego, do organizowania pierwszego w Polsce laboratorium fizyki pozytonów, z zamiarem prowadzenia badań struktury elektronowej metali przy wykorzystaniu pomiaru korelacji kierunkowej fotonów anihilacyjnych. W wyniku tych badań, za pracę pt. "Wpływ pola magnetycznego na rozkłady kierunkowe fotonów z dwufotonowej anihilacji w tytanie", Rada Wydziału Matematyki, Fi-

zyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego nadała mu w 1962 r. stopień doktora. Promotorem tej pracy był prof. J. Wesolowski, z którym łączyła Rozenfelda wieloletnia współpraca i przyjaźń.

W 1967 r. Rozenfeld przebywał przez 4 miesiące w Instytucie Fizyki Politechniki Mediolańskiej, zajmując się problematyką fizyki pozytonów. Współpracował tam z prof. Alfredo Dupasquier, z którym od tej pory byli dobrymi kolegami. W tym samym roku, za pracę "Angular Correlation of Annihilation Quanta in the Investigation of the Electronic Structure of the d-Transition Metals" uzyskał stopień doktora habilitowanego. Praca ta jest powszechnie znana badaczom zajmującym się wykorzystaniem anihilacji pozytonów w badaniu struktury elektronowej metali – wielu autorów cytuje ją nawet obecnie.

W 1968 r. został powołany na stanowisko docenta, a w lutym 1977 r. Rada Państwa nadała mu tytuł profesora nadzwyczajnego. Było to święto dla całego naszego zespołu. W 1984 r. Rozenfeld uzyskał tytuł profesora zwyczajnego.

Od r. 1972, tj. od przejścia prof. J. Wesolowskiego na emeryturę, Rozenfeld, wtedy jeszcze docent, kierował naszym zespołem, t.j. Zakładem Zastosowań Fizyki Jądrowej IFD UWr, z tym, że już od 1965 r. sprawował również funkcję Kierownika Zakładu Zastosowań Fizyki Jądrowej w WSP w Opolu.

Wydaje się, że jego osiągnięcia naukowe, związane z pracami obu zespołów, wrocławskiego i opolskiego, są znane uczestnikom tego Seminarium, szczególnie naszym stałym gościom i nie będę ich tu omawiać. Sądzę, że jedno z następnych naszych Seminariów będzie dedykowane jego pamięci i wtedy będzie okazja do ich prezentacji.

Profesor Rozenfeld aktywnie uczestniczył w różnego typu działalności uniwersyteckiej. Cieszył się dużym uznaniem jako bardzo dobry nauczyciel akademicki i doskonały wykładowca. W ciągu swojej długoletniej pracy w Uniwersytecie prowadził wykłady dla studentów i doktorantów z wielu przedmiotów: fizyki ogólnej, elektroniki, fizyki atomowej, fizyki jądrowej (jej różnych działów i zastosowań jak reaktory jądrowe, spektroskopia β i γ , detekcja promieniowania jądrowego), fizyki cząstek elementarnych i wreszcie zastosowania metod jądrowych w badaniach ciała stałego. Warto tu zaznaczyć, że w kierowanym przez niego Zakładzie prace magisterskie ukończyło 350 studentów, oraz że był promotorem 12 doktoratów z fizyki. W kierowanym przez niego Zakładzie dwie osoby uzyskały stopień doktora habilitowanego. Obecnie, po jego śmierci, w Zakładzie pozostał jeden profesor nadzwyczajny i jeden docent.

Większość z Państwa знаła prof. Rozenfelda z naszych tradycyjnych Seminariów Anihilacji Pozytonów, odbywających się głównie tutaj w Piechowicach. Był on od początku jednym z głównych ich organizatorów (w latach 1967–70), a od 1971 ich kierownikiem. W Piechowicach starał się sprawiać wrażenie, że nie on jest głównym motorem imprezy, ale my współorganizatorzy wiedzieliśmy jak

naprawdę troszczył się o prawidłowy jej przebieg i jakim był wnikliwym obserwatorem naszych poczynań. Po zakończeniu seminarium potrafił trafnie ocenić nasze osiągnięcia i potknięcia organizacyjne. Pamiętam, że kilka lat temu dokonał nawet krytycznej oceny programu muzycznego wykonanego w trakcie spotkania towarzyskiego – uznał, że był on za mało taneczny. Pamiętam zaszokowanie kolegów, którzy przygotowali ten program, gdy powiedział, że muzyka ta kojarzyła się z waleniem łopata w metalowy kubel. Na nasze szczęście później nie musiał mówić o takich skojarzeniach.

Ostatni raz prof. Rozenfeld wziął udział w Seminarium rok temu, gdy był rekonwalescentem po ciężkiej operacji. Później wydawał się wracać powoli do zdrowia i nawet przystąpił do swojej normalnej działalności. Niestety, na początku grudnia ubiegłego roku nastąpiło nagle pogorszenie się jego zdrowia i musiał być hospitalizowany. Mimo usilnych starań lekarzy i troskliwej opieki jego stan stopniowo ulegał pogorszeniu i po kolejnej ciężkiej operacji zmarł 28 marca.

Profesor Rozenfeld odszedł od nas, ale my ciągle nie możemy w pełni uświadomić sobie tego faktu i nie chcemy uwierzyć, że już nigdy nie zajrzy do naszego pokoju w Zakładzie by powiedzieć: "Dzień dobry, jak się macie, co nowego?"

Oficjalny jego tytuł, jako naszego przełożonego, brzmiał "Kierownik Zakładu", ale my wszyscy nie mówiliśmy o nim "Profesor" czy "Kierownik" a po prostu "Szef", mając na myśli najlepsze atrybuty tego pojęcia. Był on dla nas kimś przypominającym dobrego, sprawiedliwego ojca, który starannie obserwuje rozwój swych dzieci przekazując im swe doświadczenia, nagradzającego i chwaleącego za dobre uczynki, ale i potrafiącego skarcić, gdy zajdzie potrzeba.

Mieliśmy pod jego kierownictwem praktycznie pełną swobodę w naszej pracy naukowej. Zachęcał nas do tego abyśmy nie byli nazbyt powściągliwi w publikowaniu naszych osiągnięć, do intensywnej działalności, do uczestnictwa w możliwie jak największej liczbie konferencji (i pomagał w realizacji tych zamierzeń) dotyczących naszej tematyki i uczył nas dobrego organizowania różnych form działalności uniwersyteckiej. Był prawdziwym szefem, potrafiącym mieć baczenie na wszystko, przy jednoczesnym umiejętnym rozdzielaniu obowiązków i odpowiedzialności między członków zespołu.

Jak Państwo mogli się zorientować z podanej skrótowo historii jego życia, doświadczył w nim wiele i wynikająca stąd jego wielostronna znajomość losów ludzkich sprawiała, że znajdował najlepsze i najślusniejsze rozwiązania wszelkich problemów, zawsze uwzględniając szacunek dla drugiego człowieka.

Profesor Rozenfeld był ogólnie szanowany w Uniwersytecie i w wielu sprawach stanowił autorytet. Dzięki temu zawsze mieliśmy poczucie bezpieczeństwa, wiedząc że obok nas jest człowiek, ze strony którego na ochronę i pomoc w podejmowaniu trudniejszych decyzji mogliśmy liczyć.

Przy tym dużym autorytecie i szacunku jaki go otaczał, był człowiekiem bez-

pośrednim, otwartym i pogodnym. Lubił opowiadać i słuchać dobrych dowcipów, z przyjemnością (niekiedy ze smutną zadumą) zwykł przytaczać różne ciekawe i pouczające historie ze swego życia, przeplatając je swoimi ulubionymi i celnymi powiedzonkami. Zaobserwowałam nawet, że niektórzy z nas także używają tych powiedzonek, nie zawsze zdając sobie sprawę, że pochodzą one od naszego Szefa.

Po śmierci prof. Rozenfelda otrzymaliśmy wiele telegramów kondolencyjnych, m.in. nadesłali je Stephen Berko z Brandeis University USA, Kunio Fujiwara z Uniwersytetu Tokijskiego, Zsolt Kajcsos z Węgierskiej Akademii Nauk, Peter Mijnarenda z Holenderskiego Centrum Energetyki i Ekhardt Schaefer z Uniwersytetu w Stuttgarcie.

Ewa Dębowska

Uniwersytet Wrocławski

*

*

*

Pierwszy mój kontakt z prof. Rozenfeldem miał miejsce w 1975 r. albo na początku 1976. Wtedy to przybył on z wizytą do naszego Laboratorium Fizyki Pozytonów w Instytucie Metalurgii Fizycznej Czechosłowackiej Akademii Nauk w Brnie. We wrześniu 1976 r. rozpocząłem półroczny staż w grupie profesora H. Stachowiaka w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. Pracowałem nie tylko w tym Instytucie, ale również często odwiedzałem prof. Rozenfelda i jego grupę fizyków-eksperymentatorów w Uniwersytecie Wrocławskim. Profesor Rozenfeld był bardzo dobrym człowiekiem. Rozmawialiśmy nie tylko o fizyce, ale również dyskutowaliśmy na tematy ogólne, tak dotyczące nauki jak i spraw rodzinnych i wiele skorzystałem z tych dyskusji. Po skończeniu mojego stażu w 1977 r., przebywałem we Wrocławiu prawie każdego roku przez kilka tygodni, w ramach współpracy naszego Instytutu z INTiBS PAN tak, że miałem sposobność widywać prof. Rozenfelda regularnie. Spotykałem się z nim nie tylko we Wrocławiu ale również na Piechowickim Seminarium, w którym często uczestniczyłem.

W mojej pamięci prof. Rozenfeld pozostanie jako dobry i mądry człowiek. Czulem, że był mi tak bliski jak starszy kolega. Podobnie jak ja zachwycał się *Przygodami dobrego wojaka Szwejka*, Haśka, i było to jednym z naszych wspólnych zainteresowań. Lubił przysłuchiwać się opowiadaniu dowcipów i od czasu do czasu sam je opowiadał; niektóre z nich mam do dziś w pamięci. Pamiętam również jego opowieści o pobycie w Związku Radzieckim w czasie II Wojny Światowej.

We wrześniu 1989 r. przeprowadziłem z prof. Rozenfeldem i prof. Stacho-

wiakiem wywiad dla krajowej wersji *Czechoslovak Journal of Physics*. Wywiad ten ukazał się w kwietniu 1990 r. (M.Šob, *Cs. Čas. Fyz.* **40**, 181 (1990)), tak że prof. Rozenfeld nie mógł go już niestety zobaczyć. Chciałbym Państwu przytoczyć jedną z jego opinii, wziętą z tego wywiadu. Jak wielu z nas wiadomo, w Polsce jest wiele kobiet zajmujących się nauką; wielu uczonych z zewnątrz może potwierdzić, że jest to dość nietypowe w porównaniu z innymi krajami, za wyjątkiem być może Indii i Francji. Mogliście Państwo zauważyć, że w tym roku wyłącznie studentki, a nie studenci, z Uniwersytetu Wrocławskiego uczestniczą w Seminarium. Z tego powodu jedno z pytań wspomnianego wywiadu brzmiało:

”Jak Pan widzi rolę kobiet w swoim zespole (np. ich wpływ na ogólną atmosferę) i w fizyce w ogóle? Co Pana zdaniem jest przyczyną stosunkowo dużego udziału w Polsce kobiet w działalności naukowej? Jak mógłby Pan objaśnić znacznie mniejszy ich udział w tej działalności w innych krajach?”

Pozwólcie, że zakończę moje wspomnienia o prof. Rozenfeldzie jego odpowiedzią na to pytanie:

”Rzeczywiście udział kobiet w naszych grupach (prof. H.Stachowiaka i mojej) jest wydatny. W niektórych innych ośrodkach polskich jest podobnie. Zanim odpowiem na postawione pytanie chcę podkreślić, że osobiście nie widzę żadnej różnicy w potencjalnych możliwościach naukowych między kobietami a mężczyznami, być może poza jednym wyjątkiem: kobiety trudniej sobie radzą w zagadnieniach natury technicznej. W przypadku jednak, gdy w grupie znajduje się wyspecjalizowany dział naukowo-techniczny i inżynierski te niedostatki nie przeszkadzają w normalnej pracy. Uważam, że obecność kobiet jest bardzo pożyteczna: są na ogół bardzo zdyscyplinowane, łagodzą stosunki i obyczaje panujące wśród współpracowników, wpływają pozytywnie na ogólną dyscyplinę. Mniejszy udział kobiet w nauce za granicą wynika być może z mniejszego udziału kobiet pracujących w niektórych krajach, a w innych z panującej silnej dominacji mężczyzn, przeciwstawiających się faktycznej emancypacji kobiet.”

Mojmir Šob

Czechosłowacka Akademia Nauk
Czechosłowacja

*

*

*

Zetknąłem się z prof. Rozenfeldem po raz pierwszy w Piechowicach w 1979 r. uczestnicząc w XII Polskim Seminarium Anihilacji Pozytonów, ale znałem go znacznie wcześniej z jego publikacji, w szczególności z pracy dotyczącej korelacji

kierunkowej promieniowania anihilacyjnego (ACAR) w metalach przejściowych, która ukazała się w *Acta Physica Polonica* w 1967 r. Było to drugie systematyczne badanie ACAR w metalach, po znanej pracy A.T. Stewarta opublikowanej w *Canadian Journal of Physics* w 1957 r., i najpełniejsze usystematyzowanie ACAR w metalach przejściowych w tym czasie. Gdy próbowałem zestawić zależność charakterystyk anihilacji na rdzeniach od liczby atomowej i nie posiadałem własnych wyników wystarczających dla uzyskania pełnego obrazu, wykorzystałem dane prof. Rozenfelda. Byłem wręcz zaszokowany nadzwyczaj dobrą zbieżnością moich wyników z wziętymi z pracy Rozenfelda. Przekonało mnie to o poprawności moich wyników i zweryfikowało rzetelność wyników Rozenfelda.

Od tego czasu przestudiowałem wiele prac prof. Rozenfelda i jego współpracowników i zdałem sobie sprawę z tego, że w Uniwersytecie Wrocławskim istnieje bardzo biegły zespół anihilacji pozytonów, zajmujący się rozwiązywaniem aktualnych problemów fizyki ciała stałego. Stworzenie i stały rozwój tego zespołu było jedną z trosk prof. Rozenfelda. Jego talent organizatorski i wielki humanitaryzm zapewniły warunki dla twórczej atmosfery w całym zespole i dla naukowego rozwoju każdego z jego członków. Był on zawsze gotów udzielić rady i wsparcia tym, którzy się o to do niego zwrócili. Widzę go, jak dziś, otoczonego swoimi młodszymi kolegami. Zawsze w takiej sytuacji odnosiłem wrażenie, że obserwuję nie szefa i jego podwładnych, nie nauczyciela z uczniami i nawet nie ojca ze swoimi dziećmi, a raczej starszego przyjaciela w otoczeniu młodszych. I to wrażenie pozostanie w mojej pamięci, zapewne podobnie jak i w pamięci jego współpracowników, którzy będą kontynuować jego dzieło.

Wiktor Michalenkow

Ukraińska Akademia Nauk
ZSRR

*

*

*

Moje kontakty z prof. Rozenfeldem datują się od 1976 r. gdy uczestniczyłem w IX Polskim Seminarium Anihilacji Pozytonów w Piechowicach. Od tego czasu, dzięki życzliwym zaproszeniom prof. Rozenfelda, mogłem brać udział w kolejnych Seminariach (z wyjątkiem 1981 r.). Przyjmowałem z ochotą te zaproszenia, gdyż pomagało mi to "przetrwać" jako uczoneму. W NRD moje możliwości podróży były ograniczone, nie zaliczałem się bowiem do osób uprzywilejowanych ani do członków partii, którzy mieli przyzwolenie wyjeżdżać do krajów zachodnich. Profesor Rozenfeld od razu potrafił zrozumieć tę sytuację i był bardzo rad

z faktu, że jego Seminarium miało wkład do inicjacji i podtrzymywania kontaktów naukowych, przenikających ponad sztywnymi i głupimi prawami naszego państwa.

Mogę powiedzieć, że zawsze starałem się przyczynić do powodzenia każdego Seminarium, nie tylko wygłaszając referat czy przedstawiając plakat, lecz także w czasie towarzyskich spotkań uczestników. Pamiętam wiele miłych wieczorów ze śpiewami i tańcami, w szczególności ten kiedy zaprezentowałem starą niemiecką pieśń "Laurentia". Profesor Rozenfeld również upodobał sobie był tę pieśń, mimo że jej wykonanie wymaga przejawienia swojego rodzaju aktywności sportowej.

Chciałbym również przypomnieć Państwu moje wrażenia z XV Seminarium, odbywającego się w 1982 r. w Karpaczu. Był to czas stanu wojennego w Polsce, i tylko mała liczba Polaków – w porównaniu z innymi Seminariami – uczestniczyła w nim. Ja byłem jednym z dwu gości zagranicznych. Atmosfera, związana z niepewnością o przyszłość polskiej nauki i ogólnie o życie tutaj, nie była najlepsza. W dyskusji panelowej zachęcałem obecnych do nie poddawania się, bowiem po złych doświadczeniach i czasach zawsze przychodzą lepsze. Z drugiej strony sugerowałem jako łatwo dostępne osiągnięcie Seminarium wydawanie *Materiałów*, dzięki którym wszystkie wystąpienia byłyby dostępne w całości każdemu z uczestników. Mogę stwierdzić, że te moje przewidywania i sugestie urzeczywistniły się, mianowicie zaistniały lepsze warunki dla polskiej nauki a od XX Seminarium są publikowane *Materiały (Acta Universitatis Wratislaviensis)*.

W poprzednich wystąpieniach zostało już powiedziane, że prof. Rozenfeld pod wieloma względami przypominał mądrego ojca swego zespołu i Seminarium. Sądzę, że nie będzie to wbrew jego duchowi, jeżeli przedstawię tu oficjalnie pewien problem, o którym mówił mi osobiście, a którego nie potrafił rozwiązać za swego życia jako ojciec zespołu. Przez wiele lat był w jakimś sensie unieszczęśliwiony tym, że dwie jego współpracownice, Ewa Dębowska i Maria Dębowska nie są zameżne. Zdawałem sobie sprawę, że myślał o tym bardzo często, ale w końcu zaakceptował obrany przez nie sposób ułożenia sobie życia.

Myślę, że te kilka przykładów uzmysłowilo każdemu, że prof. Rozenfeld był nie tylko znanym i cenionym uczonym, ale także człowiekiem, któremu nie obce były wszelkie przejawy ludzkiego losu. I takim zachowam go w mojej pamięci na zawsze.

Gerhard Brauer

Akademia Nauk NRD
NRD

ROZMOWY

**Na pograniczu fizyki i chemii
- Rozmowa z Józefem Hurwicem**

**At the interface of physics and chemistry
- an interview with Professor Hurwic**

Rozmowę z Józefem Hurwicem, profesorem uprzednio Politechniki Warszawskiej, a później Univesité de Provence w Marsylii, przeprowadzili na prośbę Redakcji *Postępów Fizyki* profesorowie: Zbigniew Ryszard Grabowski (Instytut Chemii Fizycznej PAN w Warszawie), Janina Janikowa (Wydział Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego) i Jerzy Janik (Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie). Rozmowa odbyła się w Warszawie, w dniu 11 listopada 1988 r.

Pragniemy także zwrócić uwagę Czytelników na autoreferat prof. Hurwica: "Z badań w zakresie dielektrochemii ciekłych nieelektrolitów", opublikowany w czasopiśmie *Chemia Stosowana* 27, 13 (1983), gdzie przedstawiony został obszerny przegląd jego badań dielektrochemicznych, oraz na notatkę Czesława Wronkowskiego: "Józef Hurwic (Pół wieku pracy naukowo-badawczej)", która ukazała się w *Wiadomościach Chemicznych*, 38, 137 (1984), a również na szkic autobiograficzny Józefa Hurwica pt. "Życie z Problemami" ogłoszony w tygodniku *Słowo* w czterech kolejnych numerach rocznika 1991: nr 14(16) z 14.4, nr 15(17) z 21.4, nr 16–17(18–19) z 28.4–5.5 i nr 18(20) z 12.5.

Redakcja

Jerzy Janik [JJ] - Panie Profesorze, Pańska działalność na polu nauki, ogólnie pojętym, dotyczyła różnych aspektów, a więc badań naukowych, dydaktyki, popularyzacji, historii nauki, działalności edytorskiej, działalności korporacyjnej (głównie w Polskim Towarzystwie Chemicznym) itp. Chcielibyśmy wiedzieć, który z tych aspektów jest najbliższy pańskiemu sercu.

Józef Hurwic [JH] - Odpowiedź na to pytanie nie jest łatwa z tej prostej przyczyny, że wszystkie te rodzaje mojej działalności ściśle się łączyły. Według mnie, nie można być badaczem z prawdziwego zdarzenia nie będąc jednocześnie nauczycielem i nie mając kontaktu z odbiorcą nauki. Praca dydaktyczna i praca badawcza zazębiały się u mnie. Działalność zaś popularyzatorska jest właściwie jedną z form pracy dydaktycznej. Jeśli chodzi o historię nauki, to nie zajmuję się

historią nauki w ogóle, a jedynie historią mojej własnej dyscypliny i w szczególności tych zagadnień, w których staram się coś własnego dołożyć. Wszystko to jest u mnie wzajemnie połączone i dlatego cały ten zespół, zdawałoby się różnorodnych aspektów działalności, tworzy jednak pewną całość.

Zbigniew Grabowski [ZG] - Zdawało mi się, obserwując przez wiele lat Pańską działalność, że cokolwiek Pan robił, to robił Pan to bardzo żarliwie, nie robił Pan nic "aby zbyć", i dlatego trudno tu Panu jeden aspekt wyróżnić. Zwykle w pewne sprawy wkładamy serce, w inne nie, a u Pana tego podziału nie było.

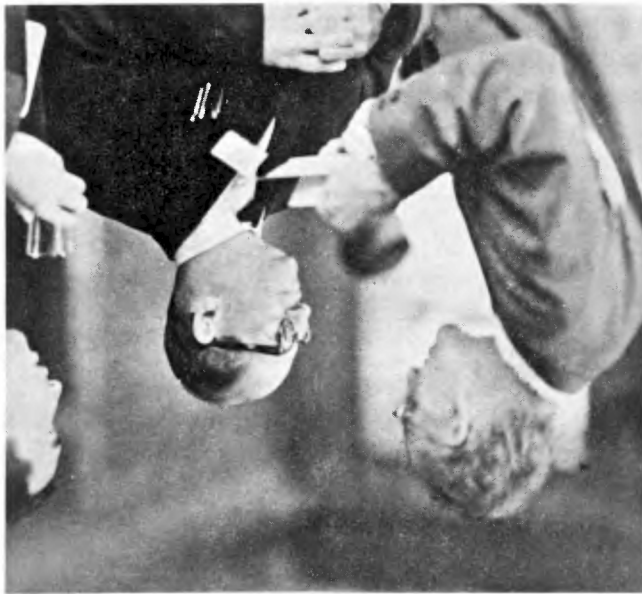
Janina Janikowa [JaJ] - Czy mógłby Pan opowiedzieć nam o wczesnopo wojennej działalności Polskiego Towarzystwa Chemicznego, w której Pan *pars magna fuit*? Pytam o to ze względu na moje powiązanie z PTCh, a w szczególności z domem PTCh na Freta, gdzie chemicy czują się naprawdę u siebie.



Józef Hurwic w swojej pracowni

JH - Zaczę od odpowiedzi na drugą część pytania, a mianowicie dotyczącą budynku, który udało mi się zdobyć dla PTCh i utworzyć tam Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie. Polska jest takim dziwnym krajem, że w normalnych warunkach trudno jest coś załatwić, natomiast udaje się to przy pewnych szczególnych okazjach, zwłaszcza jubileuszach. Otóż w 1967r. przypadało stulecie urodzin Marii Curie. Postarałem się skorzystać z tego jubileuszu, by zdobyć to, czego w

innych warunkach nie można by było dostać. Mając wtedy poparcie ówczesnego ministra szkolnictwa wyższego Henryka Jabłońskiego uzyskałem zgodę premiera Cyrankiewicza na przekazanie Towarzystwu Chemicznemu budynku, w którym przyszła na świat Maria Skłodowska, i na utworzenie w nim muzeum. Potrzebne oczywiście były pieniądze na urządzenie wnętrza, wyposażenie. Gdybym wtedy zażądał małej sumy, to pewnie bym nie dostał. Zażądałem więc względnie dużych sum, co było znacznie łatwiej uzyskać.



W rozmowie z Kazimierzem Fajanssem (1967 r.)

Jeśli chodzi o wcześniejszy okres powojenny, to w różnych sytuacjach okazałem się przydatny Towarzystwu, m.in. w 1949 r. w związku z pewnymi nekrologami, które ukazały się w *Rocznikach Chemii*. O ile sobie przypominam, jednym był nekrolog pióra Edmunda Trepiki poświęcony pamięci Feliksa Wiślickiego.

ZG - Również nekrolog Ignacego Mościckiego.

JH - Nekrologi te zostały uznane przez ówczesne władze za antypaństwowe i wobec tego postanowiono zlikwidować *Roczniki Chemii*. Wtedy, znając moją działalność jako redaktora miesięcznika *Problemy*, zarząd PTCh zaproponował mi objęcie redakcji *Roczników Chemii* i podjęcie próby uratowania pisma. Zwróciłem się do Henryka Jabłońskiego, który był wówczas wiceministrem Oświaty; temu ministerstwu podlegało wtedy PTCh. Nie trudno było przekonać Jabłońskiego,

innych warunkach nie można by było dostać. Mając wtedy poparcie ówczesnego ministra szkolnictwa wyższego Henryka Jabłońskiego uzyskałem zgodę premiera Cyrankiewicza na przekazanie Towarzystwu Chemicznemu budynku, w którym przysła na świat Maria Skłodowska, i na utworzenie w nim muzeum. Potrzebne oczywiście były pieniądze na urządzenie wnętrza, wyposażenie. Gdybym wtedy zażądał mniej sumy, to pewnie bym nie dostał. Zażądałem więc względnie dużych sum, co było znacznie łatwiej uzyskać.



W rozmowie z Kazimierzem Fajansem (1967 r.)

Jeśli chodzi o wczesny okres powojenny, to w różnych sytuacjach okazałem się przydatny Towarzystwu, m.in. w 1949 r. w związku z pewnymi nekrologami, które ukazały się w *Rocznikach Chemii*. O ile sobie przypominam, jednym był nekrolog pióra Edmunda Trepki poświęcony pamięci Feliksa Wiślickiego.

ZG - Również nekrolog Ignacego Mościckiego.

JH - Nekrologi te zostały uznane przez ówczesne władze za antypaństwowe i wobec tego postanowiono zlikwidować *Roczniki Chemii*. Wtedy, znając moją działalność jako redaktora miesięcznika *Problemy*, zarząd PTCh zaproponował mi objęcie redakcji *Roczników Chemii* i podjęcie próby uratowania pisma. Zwróciłem się do Henryka Jabłońskiego, który był wówczas wiceministrem Oświaty; temu ministerstwu podlegało wtedy PTCh. Nie trudno było przekonać Jabłońskiego,

który był jednocześnie czynnym pracownikiem nauki, o nonsensowności likwidacji pisma publikującego dorobek badawczy polskiej chemii, ale wyjście z sytuacji nie było łatwe. W końcu, w imieniu redakcji *Roczników* i zarządu PTCh, zgodziłem się na rzecz nonsensowną, ale konieczną, mianowicie, że na początku każdego numeru zamieścimy jakieś motto treści ideologiczno-politycznej. W pierwszym dozwolonym numerze daliśmy motto z pewnego przemówienia Stalina. Treść tego motto była taka, że nikt przeciwko niemu by nie protestował, natomiast jego autor budził wątpliwości, no a poza tym sama idea motto w czasopiśmie naukowym! W dalszych numerach dawaliśmy inne motto, a to z wypowiedzi Bieruta, a to z jakichś uchwał o treści związanej z chemią, z nauką w ogóle, z przemysłem chemicznym. Po pewnym czasie wraz z prof. Wiktoorem Kemulą, który został redaktorem naczelnym pisma, postanowiliśmy udać, żeśmy zapomnieli w jednym numerze dać motto. Rzecz przeszła niezauważona i od tego czasu to śmieszne motto już nas więcej nie kompromitowało. Były to sytuacje, o których już się nie pamięta, albo o których nic się nie wie. Jestem chyba jedynym żyjącym, który te wydarzenia zna.

ZG - Chciałem się tu wtrącić, w związku z tym dlaczego *Roczniki Chemii* zostały wtedy zawieszane. Antypaństwowość nekrologu Wiślickiego polegała na tym, że został on przedstawiony jako właściciel fabryki w Tomaszowie, jako przykład postępowego, liberalnego kapitalisty, który starał się stworzyć dla robotników właściwe warunki życia itp. Tylko kilka zdań było na ten temat i to już wystarczyło, aby czasopismo zawiesić.

JaJ - To bardzo ważna uwaga, bo to charakteryzuje czasy.

JH - Jeśli chodzi o codzienną działalność PTCh - byłem przez wiele kadencji wiceprezesem, zanim zostałem prezesem. Prezesami bywali dawniej starszankowie (takimi wówczas mi się wydawali) lub osoby zamiejscowe, ja więc byłem wtedy wiceprezesem urzędującym. Całe kierowanie Towarzystwem już wtedy spadało na mnie. Żadnego biura nie było, jedna tylko sekretarka, ale wszystko funkcjonowało nie najgorzej.

JJ - Chciałbym zapytać, czy czuje się Pan bardziej chemikiem czy fizykiem. W jakim środowisku jest Pan bardziej u siebie i jakie są tu Pańskie odczucia, porównując pod tym względem Polskę z Francją?

JH - Pytanie proste, ale odpowiedź dość trudna. Studiowałem chemię na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej, ale pracę dyplomową zrobiłem z fizyki, jeszcze przed wojną, pod kierunkiem prof. Stanisława Kalinowskiego. Na moim dyplomie chemika jest napisane, że wykonałem pracę dyplomową z fizyki!



Józef Hurwic (drugi od lewej) i Włodzimierz Zonn (trzeci od lewej) odbierają nagrody Towarzystwa Wiedzy Powszechnej

Dwoistość tu się zaczyna. Po wojnie pracowałem w Katedrze Chemii Fizycznej, czyli zajmowałem się chemią, nie myśląc, że kiedyś do fizyki wrócę. Potem, po przejściu prof. Józefa Rolińskiego na emeryturę, przeniesiono mnie, na jego wniosek zresztą, do Katedry Fizyki, w której przed laty stawiałem pierwsze kroki naukowe, powierzając mi kierownictwo Katedry i już do końca pobytu w Polsce znajdowałem się na tym stanowisku. Tytuł naukowy nadany mi przez Radę Państwa jest: profesor zwyczajny nauk fizycznych. Dodam, że przez wiele lat byłem członkiem Komitetu Fizyki PAN, zresztą również Komitetu Chemii. Po przyjeździe do Francji stałem się z powrotem fizyko-chemikiem, zatajając to, że miałem coś wspólnego z fizyką, bo, wobec tamtejszej separacji tych dwóch dziedzin od siebie, byłbym źle widziany.



Podczas wizyty Ewy Curie w Polsce

Czym więc jestem? Klasyczne podziały na, powiedzmy, chemię nieorganiczną, chemię analityczną, chemię fizyczną, fizykę itd. są dość sztuczne. Moja działalność badawcza sytuuje się dokładnie na pograniczu fizyki i chemii. Tematyka moich badań obejmuje to, co nazwałem dielektrochemią - jest to neologizm przeze mnie stworzony. Część swoich prac publikowałem w czasopiśmie chemicznych, a część w fizycznych. Nawiasem mówiąc, termin dielektrochemia wprowadziłem na podobieństwo takich, jak termochemia, fotochemia, magnetochemia. Z tego, co powiedziałem, wynika, iż można mnie uważać, jak kto woli, za chemika lub za fizyka.

Padło pytanie, czy czuję się lepiej wśród chemików czy wśród fizyków. Otóż czuję się bardzo dobrze w towarzystwie sympatycznych, inteligentnych chemików i równie dobrze w towarzystwie sympatycznych, inteligentnych fizyków. We Francji z racji tego, że byłem profesorem chemii fizycznej, obracałem się w środowisku chemicznym, ale miałem też dużo przyjaciół wśród fizyków.

ZG - Powiedział Pan, że nie zajmował się Pan historią chemii w ogóle, a tylko tej dziedziny chemii, z którą jest Pan związany swoją pracą naukową. Pana działalność naukowa związana jest właśnie z dielektrochemią, natomiast zajmuje

się Pan głównie historią badań promieniotwórczości, która nie jest właściwie dziedziną Pańskiej pracy badawczej.



Z Glennem Seaborgiem w Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie (1967 r.)

JH - Odpowiedź na to pytanie jest również niełatwa. Moje badania dielektrochemiczne sprowadzają się do badania budowy cząsteczek i oddziaływań międzycząsteczkowych metodami dielektrycznymi. Ogólnie mówiąc, są to badania budowy materii. Jeśli chodzi o promieniotwórczość, to miałem z tą dziedziną mniej do czynienia, zajmowałem się jednak własnościami pewnych związków, które stanowią przedmiot zainteresowań radiochemii - są to związki uranylu. I tu występuje pewna łączność prac badawczych z pracami historycznymi. Powiedzenie, że zajmuję się historią dziedziny, w której działałem, trzeba jednak trochę rozszerzyć. Pisałem dość dużo artykułów o budowie cząsteczek, ale to poszło dalej, czy ra-

czej głębiej: atomy, jądra, cząstki elementarne. Wchodziłem w skład Państwowej Rady ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej, brałem udział w trzech pierwszych konferencjach międzynarodowych na ten temat w Genewie. Miałem więc z tematyką jądrową dość ścisły związek, choć nie była to dziedzina moich badań.

JaJ - Wiem, że wojnę spędził Pan w Związku Radzieckim. Czy mógłby Pan nam coś o tym opowiedzieć? Myślę, że ten pobyt uratował Panu życie, ale z drugiej strony były to lata stalinizmu, czyli wielkiego skrępowania wyrażania myśli.



Z Georgiem Florowem przed budynkiem Muzeum Skłodowskiej-Curie

JH - Krótko streszczę moje dzieje w okresie wojny. Pod koniec 1939 r. doszedłem wraz z moją rodziną do wniosku, że pod okupacją niemiecką, a ściślej mówiąc hitlerowską, czeka nas tylko śmierć. Wobec tego, podobnie jak pewna liczba innych osób, przedostałem się na teren, który znajdował się wówczas pod władzą radziecką, szukając tam ratunku. Znalazłem się we Lwowie, który był mi bliski z bardzo wielu względów. Pracowałem tam w wydawnictwie, gdzie zajmowałem się redagowaniem podręczników matematyki, fizyki i chemii dla szkół z

polskim językiem wykładowym. Działalność ta mi odpowiadała, przy czym nacistki tzw. ideologiczne były w tej dziedzinie raczej skromne; osobiście ich zbyt nie odczułem. Była to moja pierwsza styczność z działalnością wydawniczą. Miałem również zamiar wrócić do działalności naukowej i nawiązałem kontakt z prof. Tadeuszem Malarskim, który zaproponował mi asystenturę na Politechnice Lwowskiej. Miałem to stanowisko objąć w roku akademickim 1941/42. Tego roku akademickiego już nie było. Wobec tego moje zamiary kontynuowania pracy badawczej we Lwowie upadły. Zbliżali się Niemcy, więc oczywiście musiałem uciekać dalej na wschód. Ewakuowałem się do Kijowa. Zgłosiłem się jako ochotnik do wojska radzieckiego, żeby walczyć z Niemcami. Nie chciano mnie przyjąć. W końcu jednak znalazłem się w pewnym batalionie sformowanym przez jakiegoś "komandira" (dowódcę), który miał nas doprowadzić do pewnej jednostki wojskowej. Kilka miesięcy tułaliśmy się w ciężkich warunkach po Ukrainie, zanim dotarliśmy do owej jednostki. Skierowano nas do obrony Dniepru. Czy umiemy strzelać, nikt nas się nie pytał. Niemcy zbliżyli się do drugiego brzegu Dniepru. Skromny zapas nabojów szybko wystrzelaliśmy. Niemcy mieli nabojów pod dostatkiem i wystrzelali nasz batalion. Z batalionu, który liczył ok. 1000 osób, zostało 8 - jestem jedną z nich. Wkrótce wycofano nas z frontu i połączono ze szczątkami innych tego rodzaju batalionów. Zdemobilizowano nas jako tzw. *zapadników*, tj. ludzi z zachodu, a więc nie godnych zaufania. Utworzono z nas "stroitielnyj batalion" (batalion budowlany, batalion pracy). Przemaszzerowaliśmy, w straszliwych warunkach, nad Wołgę. Budowano tam zbiorniki na ropę naftową, w zimnie, w mokości; brnęło się po kolana w błocie. Wreszcie jakiś inżynier zrobił ze mnie ziemlemiera, czyli mierniczego - geodetę. Ręce przymarzały do teodolitu podczas pomiarów. Pracowaliśmy tam razem z więźniami kryminalnymi. Potem przeniesiono nas na Ural. Wydawało mi się, że tam już będzie nasz koniec. Temperatura dochodziła do -40° C. Tymczasem tam odetchnąłem. Gdy dowiedziano się, że mam wyższe wykształcenie techniczne, mianowano mnie inżynierem; pracowałem w wielkich zakładach przemysłowych. Byłem piątym kołem u wozu, ale miałem warunki stosunkowo korzystne. Przydała mi się pewna znajomość maszynoznawstwa chemicznego, które traktowałem w czasie studiów raczej lekceważąco. Po pewnym czasie, gdy utworzono Związek Patriotów Polskich w ZSRR, mianowano mnie przewodniczącym oddziału w Swierdłowsku. Nie miałem żadnych ambicji politycznych, więc starałem się szybko z tego wycofać. Placówka Polskiej Agencji Prasowej w Moskwie,

wyciągnęła mnie tam do pracy redakcyjnej.



Gustav Hertz w redakcji *Problemów* (1966 r.)

Chciałbym tu dodać, że w Swierdłowsku nawiązałem pewne bardzo interesujące kontakty. Uniwersytet Moskiewski był ewakuowany do Swierdłowska i tam poznałem i bardzo się zaprzyjaźniłem z Iwanienką, twórcą (równoległe z Heisenbergiem, lecz niezależnie od niego) nukleonowego modelu jądra. Poznałem też kilku innych wybitnych uczonych. W Moskwie prowadziłem głównie działalność redakcyjną.

Mój pobyt w Związku Radzieckim pozwolił mi się uratować, bo pod okupacją niemiecką nie przetrwałbym. Miałem przeżycia bardzo ciężkie, ale miałem też, uwzględniając, że była to wojna, okresy względnie dobrej egzystencji. Nie byłem zmuszony przy tym do składania jakichś specjalnych deklaracji.

JJ - A jak lata stalinowskie w Polsce, lata panowania "jedynie słusznej doktryny", utrudniały Pańską działalność? Mam tu głównie na myśli Pańską działalność jako redaktora *Problemów*. Jak np. postępował Pan, gdy wywierano nacisk, by *Problemy* uprawiały propagandę lysenkizmu albo potępiały teorię rezonansu chemicznego?

JH - Postaram się zwięźle scharakteryzować działalność redakcji *Problemów*.

ZG - Ja bym dodał jeszcze jedno pytanie: jak *Problemy* powstały?

JH - Historia *Problemów* jest następująca. Powstały z inicjatywy Jerzego Borejszy, który w swoim czasie kierował działalnością oświatowo-kulturalną w Polsce. Człowiek ten, o niesłychanym rozmachu, był założycielem i prezesem "Czytelnika", który zajmował się wtedy wydawaniem książek i prasy, ich kolportażem, księgarstwem, różnymi klubami itp. Otóż z inicjatywy Borejszy powstały w roku 1945 *Problemy*; ich redaktorem został Tadeusz Unkiewicz, były, przedwojenny sekretarz redakcji *Wiedzy i Życia*, człowiek o lekkim piórze, mający wyjątkowo wysokie kwalifikacje do prowadzenia *Problemów*. Nie był wprawdzie pracownikiem nauki, lecz doświadczonym dziennikarzem obdarzonym bogatą wyobraźnią. Miał jednak nieszczęście żyć w czasach polowania na czarownicę. Wystarczyło, że chodził do kawiarni Marca na placu Trzech Krzyży trzymając *Life* pod pachą, że odwiedzał bibliotekę ambasady amerykańskiej, by zaczęto go traktować jako wroga ludu czy nawet agenta obcego wywiadu (był zdaje się w AK w czasie okupacji) i chciano się go pozbyć. Różne szykany, których był obiektem, wpędziły go w bardzo ciężką chorobę serca, a w każdym razie przyczyniły się do pogorszenia jego zdrowia. Doszedł do stanu graniczącego z manią prześladowczą.

Gdy wróciłem ze Związku Radzieckiego do Polski, Borejsza, który znał mnie ze Lwowa (współpracowaliśmy tam w wydawnictwie, o którym mówiłem), proponował mi stanowisko zastępcy redaktora naczelnego *Problemów*, aby pomóc Unkiewiczowi. Nie wiedziałem o tym, że intencją Borejszy było, abym ja Unkiewicza zastąpił. Nigdy bym się na to nie zgodził. Przed objęciem proponowanego mi stanowiska porozumiałem się z Unkiewiczem, który entuzjastycznie się zgodził na współpracę ze mną. Uważałem, że mogę zrobić coś pożytecznego bez szkody dla kogokolwiek. Mój udział w działalności redakcji coraz bardziej się powiększał ze względu na wycofywanie się Unkiewicza z pracy wobec jego złego stanu zdrowia. Kilkakrotnie kierownictwo Instytutu Prasy "Czytelnik", a potem RSW Prasa (bo czasopismo przeszło później do tej instytucji), komunikowało mi o zamiarze pozbycia się Unkiewicza. Kategoriecznie sprzeciwiałem się temu i oświadczałem, że jeżeli Unkiewicz będzie usunięty, to ja się podam do dymisji. Nie wymagało to z mojej strony wielkiego bohaterstwa, bo byłem jednocześnie profesorem Politechniki i usunięcie mnie z *Problemów* nie byłoby przekreśleniem mojej działalności naukowej, na której mi bardziej zależało. Kierownictwo RSW Prasa widocznie dość mnie ceniło, skoro udało mi się skutecznie utrzymać swą nieustępliwość do czasu, kiedy prezesem RSW Prasa został dawny PPS-owiec Mieczysław Zawadka, historyk z wykształcenia, człowiek bardzo przyzwoity. Po mojej rozmowie z nim wszelkie szykany w stosunku do Unkiewicza ustały. Po pewnym czasie zaprosiłem Zawadkę do udziału w Komitecie redakcyjnym *Problemów*. W 1959 r. Unkiewicz zmarł.

Kilka słów o tzw. stopce. Najpierw byłem tam podpisany jako zastępca redaktora, a Unkiewicz jako redaktor naczelny. Potem, na życzenie Unkiewicza

podpisywaliśmy się jako "redaktorzy" w porządku alfabetycznym. Dopiero po śmierci Unkiewicza zgodziłem się figurować jako redaktor naczelny, będąc nim *de facto* prawie od początku.

Przechodzę do sprawy nacisku politycznego. Nigdy nie należałem do partii. Byłem chyba jednym z dwóch bezpartyjnych naczelników redaktorów czasopism o wielkim nakładzie; drugim był Marian Eile w *Przekroju* (pomijam pisma katolickie). Miałem jednak ułatwiony dostęp do aparatu władzy, gdyż byli tam ludzie, których znałem osobiście. Znaczną część stanowili moi koledzy ze studiów, z mojego wydziału albo z innych. Drugi krąg znajomości w aparacie władzy lub blisko władzy — to byli znajomi z okresu lwowskiego. Z niektórymi z nich, jak np. z ministrem Stanisławem Skrzyszewskim, współpracowałem we Lwowie. Dzięki tym stosunkom zachowywałem się dość niezależnie, ale nie tylko z tego powodu. Muszę tu powiedzieć, że w Polsce wiele osób przejawiało nadgorliwość, idąc dalej niż tego od nich wymagano — tak się ubezpieczali. Redakcje pism otrzymywały różne instrukcje z Komitetu Centralnego PZPR; odbywały się tam tzw. odprawy redaktorów itp. Ja wprawdzie otrzymywałem zaproszenia na takie narady, ale uważałem, że jako bezpartyjny nie muszę w nich uczestniczyć i jakoś mi to uchodziło. Pogodzono się z tym, że jestem na "wariackich papierach", że mnie wolno więcej niż komu innemu, a to m.in. dlatego, że robiłem to, co uważałem za właściwe, nie zwracając się do nikogo o zgodę. Nie jest bowiem prawdą, że wszystkich zmuszano do robienia tego, co robili. Nie znaczy to jednak, że nie wywierano na mnie pewnych nacisków. Musiałem składać pewną daninę. Wyrażała się ona m.in. w tym, że z okazji pewnych dat, np. rocznicy "wielkiej socjalistycznej rewolucji październikowej", trzeba było zamieszczać jakiś okolicznościowy artykuł. Wystarczyło jednak dać cokolwiek na temat Związku Radzieckiego. A przecież o Związku Radzieckim można pisać rozsądne rzeczy. Pisało się więc o budownictwie hydroenergetycznym itp. Czasem i inne artykuły drukowano pod naciskiem. Za cenę tych to ustępstw *Problemy* mogły sobie na dużo pozwolić; mógł się nawet ukazać artykuł o Łysence jako o szarlatananie na katedrze uniwersyteckiej.

Chciałbym tu dorzucić kilka charakterystycznych informacji. *Problemy* któregoś dnia zostały włączone do Towarzystwa Wiedzy Powszechnej, powołanego uchwałą Sejmu. Ustalono, że TWP ma do swojej dyspozycji trzy czasopisma: *Wiedza i Życie*, *Problemy* i *Horyzonty Techniki*. Nikt nam tego nie zakomunikował. Z gazety dowiedziałem się, że zostaliśmy "organem" TWP. Rzecz się sprowadziła do tego, że do komitetu redakcyjnego delegowano jednego z wiceprezesów Towarzystwa. Zaczęły się dość przykre naciski z tej strony, przeciw którym z trudem się broniliśmy. Wtedy dość perfidnie zgodziłem się wejść do zarządu TWP i zostałem delegowany do ... *Problemów*. Dalej już wszystko toczyło się bez przeszkód. Naciski więc, oczywiście, były, ale słabsze niż gdzie indziej i wydaje mi się, że dość zręcznie lawirowałem, żeby je neutralizować. Piorunochronem było dwóch partyj-

nych członków komitetu redakcyjnego: prezes RSW Prasa Mieczysław Zawadka i Mieczysław Szleyen, pułkownik, chemik z wykształcenia, ideolog marksizmu, a przy tym człowiek gołębiego serca. Ci dwaj ludzie w okresie najtrudniejszym ratowali nas. Profesor Grabowski znał Zawadkę i wie, jak łatwo mi było uzyskać jego zgodę na to, co chciałem. Ze Szleyenem było to samo. Stanowili oni dla władz gwarancję praworządności czasopisma.

JaJ - Czy mógłby Pan opowiedzieć nam o Pańskiej drodze do emigracji, drodze którą zmuszony Pan był pójść w r. 1968?

JH - Droga ta nie była łatwa. Zacznę od tego, że w osławionym roku 1968, gdy wybuchł tzw. marzec, byłem dziekanem Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej.



Włodzimierz Żuk i Józef Hurwic

ZG - Może tu dodam, że był Pan bardzo popularny na Politechnice, że miał Pan wysoką lokatę u studentów jako najlepszy wykładowca.

JH - Sytuacja moja była niezmiernie trudna i rozmaici ludzie "życzliwi" radzili mi zrzec się dziekanstwa. Ja z ochotą pozbyłbym się tego stanowiska, ale moja dymisja oznaczałaby przyznanie się do jakichś niepełnionych grzechów.

Wobec tego uważałem, że jakkolwiek jest mi bardzo ciężko, ale zrezygnować nie mogę. Pozostałem do lipca 1968 na stanowisku dziekana, a nawet powierzono mi dość delikatną funkcję rekrutacji na wyższe studia, przy istniejącym wtedy systemie punktowym, na rok akademicki 1968/69. Ponieważ cierpiałem w owym czasie na kamicę nerkową, wyjechałem w lipcu na kilka tygodni do sanatorium w Szczawnie. Gdy w drugiej połowie sierpnia wróciłem, wręczono mi w rektoracie pismo ministra szkolnictwa wyższego, którego nb. znałem osobiście jeszcze z czasów studenckich, a wtedy nieomal co drugi dzień widywaliśmy się bądź rozmawialiśmy przez telefon. W tym przypadku minister nie uważał za właściwe, by do mnie zadzwonić i choć powiedzieć "musiałem tak napisać", lecz po prostu przysłał to pismo. Było ono treści następującej: "Ob. prof. zwyczajny dr Józef Hurwic - Na podstawie Ustawy ... art. ... odwołuję ob. profesora ze stanowiska dziekana Wydziału Chemicznego z chwilą doręczenia niniejszego pisma." Na dokumencie zanotowałem tę chwilę: godz. 12 min. 13. W swojej naiwności przyjąłem to z pewną ulgą, bo przecież marzyłem, by przestać być dziekanem nie podając się do dymisji. Pomyślałem sobie też, że będę miał więcej czasu na pracę badawczą i dydaktyczną. Poszedłem jeszcze do Dziekanatu, po raz ostatni w charakterze dziekana. Wziąłem 12 blankietów z nagłówkiem "Dziekan Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej" i do kolegów-diekanów pozostałych wydziałów Politechniki napisałem: "Uprzejmie komunikuję, że w dniu dzisiejszym o godz. 12 min. 13 zostałem odwołany ze stanowiska dziekana". Muszę dodać, że zainteresowałem się punktem ustawy, na podstawie którego usunięto mnie. Głosił on, że w uzasadnionych przypadkach minister ma prawo usunąć dziekana. Był to widocznie uzasadniony przypadek. Jeszcze *à propos* mojego pisma do dziekanów - jeden z nich odczytał je na swojej radzie wydziału, za co potem miał duże przykrości. W dniach 18-21 września odbyła się w pewnej miejscowości pod Warszawą konferencja dydaktyczno-wychowawcza Politechniki Warszawskiej. Brał też w niej udział Instytut Badań Pedagogicznych, organizacja partyjna Politechniki itp. Na konferencji odczytano m. in. wyniki anonimowej ankiety przeprowadzonej wśród studentów, z której wynikało, że ja i jeszcze jeden profesor jesteśmy dwoma najlepszymi wykładowcami na naszym wydziale. Nie przeszkodziło to temu, że dwa dni później zostałem wezwany do Departamentu Studiów Technicznych Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego. Przyjęli mnie tam ówczesny dyrektor departamentu (nieżyjący już dziś) i naczelnik wydziału personalnego. Dyrektor, który zresztą zwracał się do mnie zawsze z niesłychaną rewerencją, powiedział: "Panie Profesorze, mam Panu zakomunikować rzecz przykrą. Mam mianowicie obowiązek zaproponować Panu zrzeczenie się stanowiska profesora". Różnych rzeczy oczekiwałem, ale nie czegoś takiego. Działalność na uczelni rozpocząłem w sanacyjnej Polsce, by w ludowej Polsce przejść drogę od starszego asystenta do profesora zwyczajnego i dziekana wydziału, wszystko na wniosek środowiska naukowego.

Nieco ochłonawszy, zapytałem, czy są wobec mnie jakieś zarzuty. Usłyszałem: "Nie, zarzutów nie ma, jest natomiast żądanie organizacji partyjnej". Odpowiedziałem: "Wobec tego nie zrzeknę się". Na to usłyszałem: "Pocóż ma się Pan narażać na dodatkowe przykrości. Pan nie będzie uczyć polskiej młodzieży". Powiedziałem, że gotów jestem ponieść te przykrości. Wtedy dyrektor oświadczył, że może mi zaproponować co innego, co "może będzie brzmiało dla Pana strawniej, ale uprzedzam, że właściwie to jest to samo, mianowicie złożenie prośby o przeniesienie na bezterminowy urlop". Poprosiłem o parę dni do namysłu. W domu poradziłem się rodziny, przyjaciół, m.in. prof. Kemuli, z którym byłem bardzo serdecznie zaprzyjaźniony. Opinia była jednomyślna — jesteś bezsilny, nie ma co bić głową o mur. W ustalonym terminie poszedłem do dyrektora i powiedziałem, że zgadzam się. Polecił mi napisać podanie i podyktował: "Do ministra Szkolnictwa Wyższego drogą służbową przez Departament (a nie Politechnikę!) Proszę o przeniesienie mnie na bezterminowy urlop z dniem 1 października 1968 r." Spytałem, jakie mam podać uzasadnienie; odpowiedział, że nie potrzeba uzasadniać. Z datą tego samego dnia otrzymałem pismo ministra treści następującej: "Przychyłam się do prośby Obywatela Profesora i przenoszę go na bezterminowy urlop". W kilka dni później dowiedziałem się, że był to urlop nie tylko bezterminowy ale i bezpłatny. Służącej, która przepracuje kilka miesięcy, przysługuje dwutygodniowe wymówienie, profesor zwyczajny po wielu latach pracy, nie miał ani dnia wymówienia! Natomiast w *Problemach*, gdzie mnie kilka miesięcy później zwolniono z pracy, dostałem 7-miesięczne wymówienie. Potem posypały się listy zbliżonej treści odwołujące mnie z różnych funkcji. Między innymi prowadziłem wykłady w tzw. Politechnice Telewizyjnej, — otrzymuję więc pismo: "Telewizja z dniem tym i tym rozwiązuje umowę"; jakąś pogadankę radiową, już nagraną na taśmę, anulowano itp. Do tego doszły przykrości, jakich doznał w szkole mój mały syn. Był obiektem prowokacji. Aby uderzyć w ojca, nie cofnięto się przed zaatakowaniem 11-letniego dziecka! Wszystko to razem doprowadziło mnie do wniosku, że nie mam tu co robić. Pozostała jedyna legalna możliwość: wyemigrować do Izraela. Do Izraela nie pojechałem, nie dlatego, że byłem jego wrogiem, wręcz przeciwnie, ale nic mnie specjalnie z tym krajem nie łączyło. Pojechałem do Francji na zaproszenie rządu francuskiego. Otrzymałem zaproszenie do osiedlenia się we Francji podpisane przez ówczesnego ministra spraw zagranicznych Michela Debré. Jak się dużo później dowiedziałem, inicjatorem tego zaproszenia był Alfred Kastler, którego poznałem u Rubinowiczów. To byłaby w zwięzłym skrócie moja droga na emigrację.

JJ - Mówił Pan już nieco o swojej działalności naukowej. Czy mógłby Pan jednak coś więcej na ten temat powiedzieć? Chodzi mi o ocenę — co zdaniem Pana udało się Panu stworzyć, czy jakąś szkołę naukową w Polsce, a może później we Francji?

JH - Nie ja jestem, oczywiście, powołany do oceny moich skromnych osiągnięć, ale mogę je krótko zreferować. Tematykę, której się poświęciłem, podsunął mi mój przedwojenny nauczyciel prof. Stanisław Kalinowski; miał on znakomitą intuicję badawczą. Sam tymi zagadnieniami w ogóle się nie zajmował. Pracował w dziedzinie magnetyzmu ziemskiego. Nie tylko podał mi temat, ale stworzył mi znakomite warunki materialne i techniczne do pracy, z olbrzymim samodzielnym pokojem, z możliwościami budowania aparatury.

ZG - To były lata bezpośrednio przed wojną?

JH - Pracowałem w Zakładzie II Fizyki Politechniki Warszawskiej od 1933 r. do września 1939 r. Kalinowski poza tym, że podsunął mi interesujący temat, że od czasu do czasu interesował się tym co osiągnąłem, pozostawił mnie samemu sobie i mogę powiedzieć, że właściwie jestem samoukiem w dziedzinie, której się poświęciłem, bo nikt moją pracą nie kierował. Czasami, gdy miałem jakąś trudność, Kalinowski niewyczerpany w pomysłach, dawał jakąś radę. Nie powiedziałem jednak jeszcze, czym się zajmowałem. Tematem mojej pierwszej pracy badawczej, której część zaliczyłem potem jako pracę dyplomową, było badanie dyspersji fal Hertza w zakresie metrowym (od 80 do 120 cm). Wytwarzałem niegasnące fale elektromagnetyczne systemem Barkhausena i Kurza. Mierzyłem długość tych fal w powietrzu i w trzech badanych ośrodkach: woda i dwa alkohole — metanol i etanol. Zastosowana przeze mnie metoda Drudego z użyciem drutów Lechera i zwierającego mostka dawała niezmiernie przejrzyste wyniki. Część drutów biegła w powietrzu, część zaś przechodziła przez rynienkę wypełnioną badaną cieczą. Przez przesuwanie mostka wytwarzałem fale stojące i zwyczajnie, precyzyjną linijką, mierzyłem ich długość. Mając długość fali w powietrzu, którą można przyjąć za równą w przybliżeniu długości fali w próżni, i zmierzwszy długość fali w danym ośrodku, otrzymywałem współczynnik załamania w zależności od długości fali. Wyniki były dość interesujące i pod koniec sierpnia 1939 r. z pomocą Kalinowskiego (jego udział w redagowaniu był bardzo duży) została napisana praca po francusku i albo została wysłana, albo miała być wysłana do *Journal de Physique* w Paryżu. Do redakcji nigdy jednak nie dotarła, bo właśnie wybuchła wojna.

W pracowni Kalinowskiego mój kolega ze szkoły średniej - Michał Szwarz, obecnie chemik amerykański o sławie światowej, robił pracę dyplomową na temat elektrolitycznego utlenienia cukrów, a więc pracę typowo chemiczną. W Zakładzie Kalinowskiego zaprzyjaźniłem się z Adolfem Blicherem, który był jedynym tam doktorantem. Badał wpływ mocnych elektrolitów na stałą dielektryczną wody. Jednym z recenzentów jego pracy doktorskiej był Janusz Groszkowski, który wydał o niej bardzo entuzjastyczną opinię. Blicher był absolwentem dwóch uczelni francuskich: Uniwersytetu w Tuluzie i paryskiej Ecole Supérieure d'Electricité. W czasie wojny znalazł się w Związku Radzieckim. Po wojnie repatriował się do

kraju i został pierwszym powojennym dyrektorem technicznym Polskiego Radia. Potem wyjechał do Ameryki, żeby zakupić radiostację dla Wrocławia. Zakupił ją i przysłał, ale sam już nie wrócił do Polski. Jest on twórcą pierwszego tranzystora dostosowanego do układów w komputerach. Jest też autorem kilku cenionych monografii w dziedzinie półprzewodników. Z nim i ze Szwarcem znajduję się w stałym kontakcie. Byliśmy we trójkę jedynymi, którzy w Zakładzie Fizyki, poza Kalinowskim, prowadzili prace badawcze. Asystenci Kalinowskiego zajmowali się właściwie tylko dydaktyką, chociaż wszyscy mieli świetne warunki do pracy badawczej.

Może tu jeszcze wstawka do mojej historii wojennej. Gdy pracowałem na Uralu, pod koniec awansowałem do stanowiska naczelnika wydziału technicznego eksploatacji lasów i wtedy założyłem sobie małe laboratorium, gdzie m. in. otrzymałem ze smoły drzewnej namiastkę oleju samochodowego i namiastkę paliwa. Ponad 200 samochodów ciężarowych na Uralu korzystało w czasie wojny z tych produktów. Wyniki moich prac w tej dziedzinie opublikowałem w 1948 r. w *Przemyśle Chemicznym*.

Po wojnie wróciłem do badań, które później nazwałem dielektrochemicznymi. Pracowałem początkowo w Głównym Instytucie Chemii Przemysłowej, a następnie na Politechnice Warszawskiej. Badałem ciekłe układy nieelektrolitów, stosując zupełnie inną niż przed wojną technikę (metoda rezonansowa z generatorem RLC). Ustaliłem rozmaite zależności, np. między stałą dielektryczną fazy ciekłej a prężnością pary nad nią. Staralem się z tych wyników wyciągnąć wnioski dotyczące budowy cząsteczek bądź oddziaływań międzycząsteczkowych. Jedną z mierzonych wielkości był elektryczny moment dipolowy cząsteczki, a do jego wyznaczenia potrzebny był precyzyjny pomiar stałej dielektrycznej bardzo rozcieńczonych roztworów badanych substancji polarnych w rozpuszczalnikach niepolarnych, jak benzen czy tetrachlorek węgla. Tu natrafiłem na duży kłopot. Stała dielektryczna używanych rozpuszczalników i rozcieńczonych roztworów badanych substancji w tych rozpuszczalnikach wynosi między 2 i 3, a stała dielektryczna wody jest, jak wiadomo, ok. 80. Niewielkie ślady wody, które mogły dostać się do tych substancji, całkowicie fałszowały pomiar, i to w sposób zupełnie przypadkowy. Konieczne więc było bardzo staranne odwadnianie używanych cieczy i niezmiernie kłopotliwa ochrona układu badawczego przed dostępem wilgoci, co z kolei pociągało pewne komplikacje aparaturowe. Wtedy wpadłem na dość przekorny pomysł, żeby wprowadzić do rozpuszczalników właśnie ową niepożądaną wodę, ale aż do stanu nasycenia. Roztwór nasycony wody, powiedzmy w benzenie, w określonej temperaturze zawiera pewną, niewielką ilość wody, ale dokładnie określoną. Roztwór jest więc ściśle odtwarzalny i wobec tego nie ma potrzeby chronić go przed wilgocią. Na ten pomysł skierowała mnie metoda pomiarów porównawczych Świętosławskiego, którą stosował on w mikrokalorymetrii

i w ebuliometrii. Tu może drobna dygresja. Normalnie uważa się, że pracowitość jest czynnikiem postępu w nauce, a ja bym powiedział, że czasami odwrotnie, lenistwo jest tym czynnikiem. W moim przypadku była to chęć "wymigania się" od uciążliwych, kłopotliwych operacji; to ona podsunęła mi pomysł, który pozwolił na uproszczenie aparatury i techniki pomiarowej. Poza badaniami konkretnych układów zajmowałem się też udoskonaleniem metodyki doświadczalnej; opracowaliśmy np. metodę wyznaczania stałej dielektrycznej nie na podstawie pojemności, lecz na podstawie częstości. Badania dielektrochemiczne kontynuowałem we Francji m.in. do ustalenia konformacji cząsteczek i, mimo że jestem już na emeryturze, nadal je prowadzę.

Zapytał mnie prof. Janik, czy stworzyłem szkołę. Szkoła jest wielkim słowem, często nadużywanym. Nie odważyłbym się zastosować go do swoich osiągnięć. Natomiast mogę stwierdzić, że ok. 1967 r. udało mi się stworzyć w Warszawie ośrodek, w którym, gdyby dane mi było dłużej pracować, moglibyśmy, górnolotnie mówiąc, rozwinąć skrzydła. Zdołałem wieloletnim wysiłkiem uzyskać odpowiedni lokal, co nie było łatwe. Dzięki dobrze funkcjonującemu gospodarstwu pomocniczemu udało mi się dość dobrze zaopatrzyć pracownię w aparaturę. Udało mi się wyszkolić dość liczny zespół, i to bardzo wszechstronny, bo byli tam fizyko-chemicy, chemicy organicy, fizycy z wykształceniem uniwersyteckim, elektronicy, jeden inżynier mechanik, a nawet dwóch matematyków (jeden z nich jest teraz znanym profesorem matematyki na Politechnice — Maciej Mączyński). W 1967 r. i na początku 1968 ogłosiliśmy dość dużo prac i zapowiadało się, że uda się coś interesującego zrobić. I w tym właśnie momencie usunięto mnie z Politechniki, a Katedrę wkrótce po prostu zlikwidowano. Mimo to niektórzy moi wychowankowie kontynuowali badania dielektrochemiczne, że wymienię Witolda Waclawka, obecnie profesora i prorektora Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Opolu.

We Francji od razu po przyjeździe dostałem fundusze na założenie zakładu, który nazwałem początkowo Zakładem Chemii Dielektryków, a potem zmieniłem nazwę na Zakład Dielektrochemii. Miałem tam kilku asystentów i kilku doktorantów. Jeden z moich dawnych uczniów marsyjskich, prof. Jacques Barbe kieruje teraz na Wydziale Farmaceutycznym w Marsylii pracownią, w której dalej prowadzi badania zapoczątkowane pod moim kierunkiem. Kilku innych wychowanków, którzy też są już profesorami, we Francji bądź poza Francją, interesuje się zbliżoną tematyką. Trudno to nazwać szkołą, ale sądzę, że przyczyniłem się nieco do rozpowszechnienia pewnych metod i pewne skromne wyniki uzyskałem.

JaJ - Przy okazji chciałam zapytać, jakby Pan porównał te dwa środowiska: ludzi nauki w Polsce i we Francji? Miał Pan tu i tam doświadczenie.

JH - Ludzie są wszędzie do siebie podobni. We Francji mają jednak łatwiejsze życie, nie muszą na każdym kroku walczyć z przeszkodami nikomu niepotrzebnymi. Nie znaczą to jednak, że pracują tam bez oporów. Tam biurokracja też

istnieje.

JaJ - Ale gdy jest im łatwo, czy mają entuzjazm do pracy?

JH - Bywa różnie. Dużą przeszkodą w pracy naukowej jest rozpolitykowanie francuskiego środowiska uniwersyteckiego. Walka polityczna często przesłania cele naukowe. Na przykład uniwersytet w Marsylii (którego niektóre wydziały znajdują się w pobliskim Aix-en-Provence) podzielił się na trzy uniwersytety według ... politycznych przekonań pracowników.



Rysunek Eryka Lipińskiego

ZG - Chciałbym tu wrócić do teorii rezonansu, o której wspomniał prof. Janik. Tak jak mówiłem, na ogół to co Pan robił, robił Pan z żarliwością, pełnym sercem i dlatego chciałbym zapytać, jak to było z pańskim (opublikowanym) referatem o teorii rezonansu, w Bierutowicach w 1952 r. Przedstawia Pan tam krytykę, którą wygłaszano w Rosji i mówi Pan np. "Mimo, że widziałem już wtedy pewne niekonsekwencje teorii rezonansu, bezkrytycznie poszedłem za au-

torytetami zagranicznymi. W teorii rezonansu dopatrywałem się nawet elementów dialektycznych. Błądność tej teorii zrozumiałem dopiero po szczegółowym przeanalizowaniu publikacji krytycznych. . . . Materialistyczny pogląd na świat chroni badaczy przed schodzeniem na manowce, np. na pozycje, na których znajduje się teoria rezonansu, pozwala odróżnić koncepcje prawdziwe od fałszywych". Czy tę krytykę robił Pan wówczas rzeczywiście ze szczerego serca, czy też był Pan do tego w jakiś sposób zmuszony? Jakie były okoliczności? Czy Pana proszono o to, czy też robił Pan to z własnej inicjatywy?

JH - Prowadzono w tym czasie w Związku Radzieckim niesłychanie ostrą nagonkę polityczno-ideologiczną przeciwko teorii rezonansu, którą określano jako burżuazyjną, wsteczną, antypartyjną. Cała ta wrzawa propagandowa bardzo mnie raziła. Niemniej, jeśli chodzi o merytoryczną stronę, uznawałem słuszność pewnych zarzutów.

Odpowiedź na pańskie pytanie, czy referat wygłosiłem z własnej inicjatywy, brzmi: nie. Zaproponowano mi to, ale ja z przyjemnością propozycję przyjąłem.

Teoria, a ściślej mówiąc, metoda rezonansu jest jedną z wielu przybliżonych metod kwantowo-mechanicznych opisu skomplikowanej cząsteczki, zazwyczaj organicznej. Jeżeli jej budowa nie daje się przedstawić klasycznym wzorem chemicznym, można ją potraktować jako pośrednią między fikcyjnymi strukturami granicznymi, które dają się przyporządkować poszczególnym funkcjom występującym w metodzie rezonansu.

To, co mi się nie podoba, to interpretacja, według której struktura rzeczywista jest wynikiem fizycznego oddziaływania (rezonansu) owych struktur granicznych, prowadzącego do obniżenia energii. Energia potencjalna odpowiadająca strukturze rzeczywistej jest, oczywiście, niższa niż struktur granicznych i dlatego ta właśnie struktura istnieje, ale nie jest to wynikiem jakiegoś oddziaływania. Rezonans nie jest tu zjawiskiem fizycznym, lecz pewną metodą matematyczną, często przy tym niezbyt dogodną. To właśnie wyraziłem w swoim referacie bierutowickim, nie kwalifikując metody rezonansu jako "reakcyjnej" czy "antypartyjnej". Żargon polityczno-ideologiczny był mi zawsze obcy. Dziś pewne sformułowania bym jeszcze bardziej złągodził.

ZG - Pytałem ze względu na to co działo się w Związku Radzieckim. Na przykład Terenin, który był przewodniczącym komisji Akademii Nauk potępiającej teorię rezonansu w mechanice kwantowej, był steroryzowany: grożono jego życiu. Inni, jak Syrkin, nigdy się nie przyznali do popełnienia błędu. Ta dyskusja nie przekonała chyba nikogo z polskich fizyków.

JH - O ile sobie przypominam, profesorowie Jerzy Suszko, Szczepan Szczeniowski i Kazimierz Gumiński zajęli w Bierutowicach stanowisko zbliżone do mojego. Dodam, że wielu fizyko-chemików, jak np. Kazimierz Fajans, krytykowało metodę rezonansu za jej skomplikowany charakter, bez żadnego przy tym związku

z jakąś ideologią.

JJ - Słyszałem kilka Pańskich wykładów na tematy z historii nauki. Zawsze uderzała mnie doskonała znajomość szerokiego tła historycznego. Czy historia w ogóle jest jakąś Pana pasją?

JH - Raczej nie. Jeśli jednak czymś się interesuję, zaznajamiam się z tym możliwie wszechstronnie. Jeżeli zatem zajmuję się jakimś tematem z dziejów nauki, to z konieczności pragnę poznać epokę, środowisko, ludzi. Nie mam jednak wykształcenia historycznego ani jakiejś specjalnej pasji do historii jako takiej.

JaJ - Zauważyłam, że ma Pan fenomenalną pamięć. Na odczytach "rzuca" Pan nazwiskami, datami, nie zaglądając do żadnej karteczki.

JH - Przede wszystkim, nigdy nie podejmuję się wygłaszania wykładu na temat, którego nie opanowałem należycie. Nie mam więc potrzeby korzystania z notatek. Moje wykłady i odczyty, w Polsce, we Francji czy gdzie indziej, zawsze są improwizowane. Czasem tylko posługuję się karteczką z zanotowanymi danymi liczbowymi lub jakimś skomplikowanym wzorem.

ZG - Emigracja była wielkim ciosem dla Pana, bo zniszczyła cały dorobek naukowy, jaki Pan tu miał, ale nie tylko to. Był Pan człowiekiem bardzo głęboko wrośniętym w polską kulturę i niezwykle wiele znaczącym dla tej kultury jako inspirator wielu interesujących, ważnych rzeczy, które się tutaj działy. Po przymusowym wyjeździe do Francji miał Pan sytuację bardzo trudną. Pomimo tego pozostał Pan niejako ambasadorem polskiej kultury we Francji. Pisał Pan dalej i o Marii Skłodowskiej-Curie, i o Kazimierzu Fajansie i pozostawał Pan w ścisłym kontakcie ze wszystkim, co się dzieje w kraju; obserwował to Pan bardzo uważnie. Jeszcze krótko przed wyjazdem był Pan prezesem PTCh. Związki z tym Towarzystwem zachował Pan bardzo ściśle. Nasze środowisko naukowe zachowało bardzo żywą pamięć o Panu. Czy ze strony oficjalnej, ze strony tych środowisk, które zmusiły Pana do wyjazdu, była jakaś próba przeproszenia?

JH - Rektor Politechniki Warszawskiej, prof. Władysław Findeisen zaprosił mnie na uczelnię wyrażając żal z powodu przykrości, jakie mnie spotkały. Był to jedyny tego rodzaju krok ze strony władz. (Dopiero później — dodaję to przy autoryzacji tekstu w czerwcu 1990 r. — otrzymałem od obecnego rektora Politechniki Warszawskiej - prof. Marka Romana pismo z dnia 7 lutego 1990 r. wyrażające w imieniu senatu uczelni "głębokie ubolewanie z powodu poniesionych krzywd" i zapraszające mnie do powrotu do Politechniki. Z dołączonego do listu wyciągu z protokołu posiedzenia senatu z dnia 8 listopada 1989 r. wynika, że na wniosek wiceministra edukacji narodowej - dra Tadeusza Diema senat jednomyślnie podjął odpowiednią uchwałę.) Pozostaję natomiast w bliskich, często serdecznych stosunkach z polskim środowiskiem naukowym, z chemikami, fizykami, nawet z humanistami.

ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH

Henryk Szydłowski, Roman Smuszkiewicz

Instytut Fizyki

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Poznań

Skomputeryzowane stanowisko do pomiaru przewodnictwa cieplnego dla Pracowni Fizycznej I

**On line measurement of the thermal conductivity coefficient
in the physics laboratory for students**

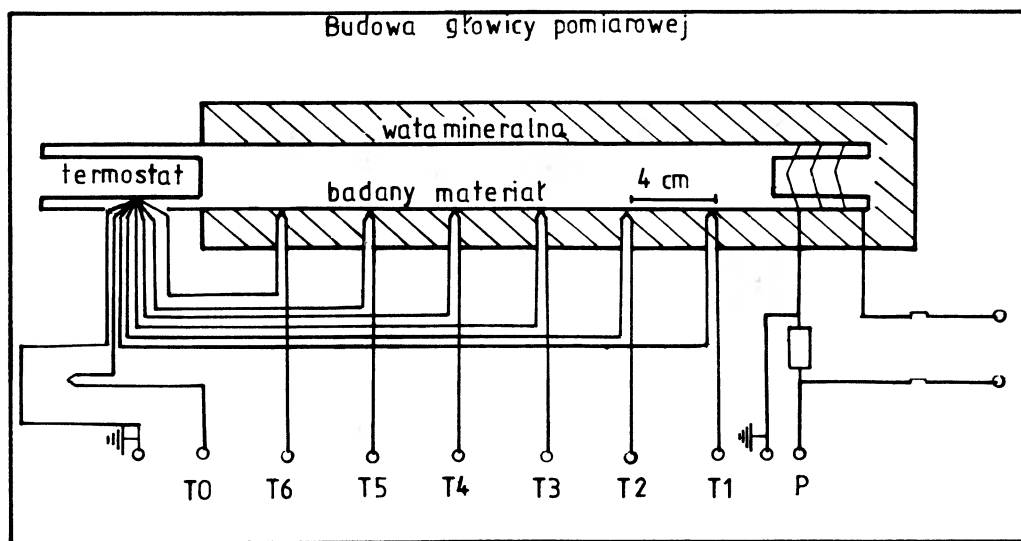
Abstract: A special "on-line" apparatus designed for thermal conductivity measurements in the students' physics laboratory has been constructed. The description of the device, based on an Amstrad computer with special interface, is given. Some results are presented.

1. Wprowadzenie

W celu zapoznania studentów z zastosowaniem komputera do automatyzacji pomiarów fizycznych [1], podjęto budowę skomputeryzowanego (on-line) stanowiska do pomiaru przewodnictwa cieplnego. Wybrano ten właśnie temat, ponieważ doświadczenie w wersji nieskomputeryzowanej nie zawierało wielu elementów kształcących sprawności eksperymentalne. Stosowane są bowiem proste połączenia elektryczne, które powtarzają się w innych doświadczeniach. Trzeba ponadto długo czekać na osiągnięcie stanu ustalonego, a w dodatku trudno ocenić, czy został on już osiągnięty czy nie. Ujemną stroną był również absolutny brak możliwości modyfikacji doświadczenia. Komputeryzacja stanowiska daje możliwość zapoznania się z zastosowaniem komputera do automatyzacji badań, usuwa wyszczególnione wady stanowiska "klasycznego" i znacznie wzbogaca możliwości pomiarowe.

2. Zasada pomiaru

Dobór metody wyznaczania współczynnika przewodnictwa cieplnego zależy od własności przewodzących badanego materiału. Inne metody stosuje się dla metali, a inne dla materiałów izolacyjnych. Skomputeryzowane stanowisko skonstruowano w ten sposób, by możliwe było wykonanie pomiarów dla wszystkich typów materiałów. W tym celu zaprojektowano trzy głowice pomiarowe: inną dla metali, inną dla materiałów słabo przewodzących ciepło i wreszcie inną dla materiałów sypkich. Działanie aparatury omówimy na przykładzie głowicy przeznaczonej do badania metalu.



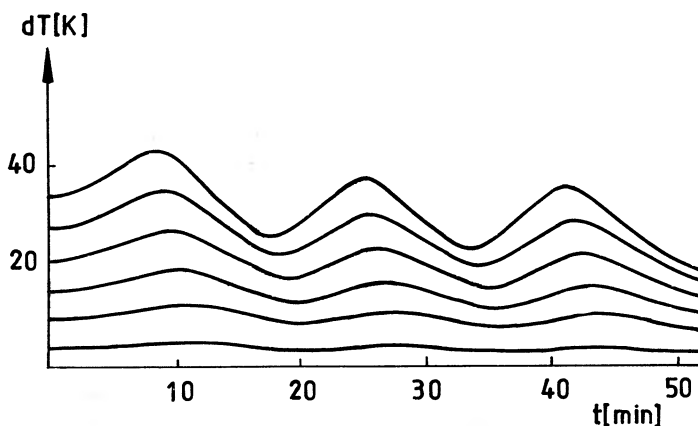
Rys.1. Budowa głowicy do pomiaru współczynnika przewodnictwa cieplnego metalu

Próbką jest pręt metalowy (rys. 1). W jednym z końców pręta umieszczony jest grzejnik, a drugi koniec jest utrzymywany w stałej temperaturze za pomocą ultratermostatu. Wzdłuż pręta, w równych odstępach rozmieszczono termopary. Ścianki boczne pręta i grzejnik są dobrze izolowane cieplnie. Sygnały mocy z grzejnika oraz z termopar są przekazywane do układu komputerowego. Głowica daje możliwość wyznaczania współczynnika przewodnictwa cieplnego dwiema różnymi metodami: z gradientu temperatury wzdłuż pręta, który ustala się po osiągnięciu stabilnego przepływu ciepła [2] lub metodą Angströma polegającą na badaniu fal temperaturowych rozchodzących się w pręcie przy impulsowym grzaniu jego końca [3].

W metodzie opartej na gradiencie temperatury współczynnik przewodnictwa cieplnego oblicza się z wzoru [3]

$$UI = \lambda \frac{T_1 - T_n}{h_n} \frac{\pi}{4} d^2, \quad (1)$$

w którym UI oznacza moc grzejnika, T_1 – temperaturę wskazywaną przez termopogniwo najbliższe grzejnika, T_n – temperaturę wskazywaną przez n -te termopogniwo, h_n – odległość dzielącą te dwa termopogniwa, d – średnicę pręta.



Rys.2. Przebieg czasowy temperatury w metodzie fal temperaturowych Angströma (wydruk wyników z komputera)

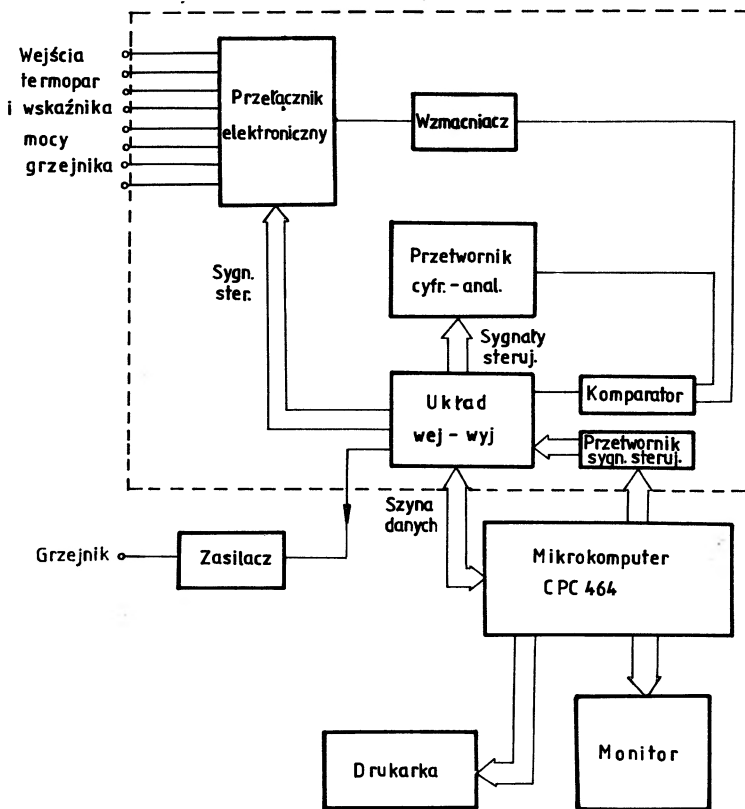
W metodzie Angströma w jednym z końców pręta należy wzbudzić sinusoidalną falę temperaturową. W praktyce wzbudza się raczej falę prostokątną: na przemian włącza i wyłącza się grzejnik na czas $T/2$. Wtedy w przecie uzyskuje się falę w przybliżeniu sinusoidalną (rys. 2); przy czym w stosunku do termopary leżącej najbliżej grzejnika, fala rejestrowana przez kolejne termopary opóźnia się w fazie o df . Różnica faz df zależy od wzajemnej odległości Δl termopar rejestrujących falę. Z odległością maleje również amplituda fali temperaturowej od wartości A_1 do wartości A_2 . Współczynnik przewodnictwa cieplnego wyraża się wzorem:

$$\lambda = \frac{(\Delta l)^2 c \rho}{df T \ln(A_1/A_2)}, \quad (2)$$

w którym c oznacza ciepło właściwe materiału, a ρ jego gęstość.

3. Układ doświadczalny

Układ składa się z: głowic pomiarowych, komputera "Schneider", zasilaczy, przetwornika analogowo-cyfrowego i ultratermostatu. Schemat układu pokazano na rys. 3.



Rys.3. Schemat blokowy wielokanałowego rejestratora temperatury

Zasilacz służy zarówno do zasilania grzejnika jak i przetwornika.

Przeznaczenie większości elementów jest oczywiste, a wyjaśnienia wymaga działanie przetwornika.

Przetwornik składa się z przełącznika elektronicznego, komparatora i układu wzmacniacza sygnału mierzonego. W zastosowanym układzie do przetwarzania sygnałów analogowych (napięcia z termopary na sygnały cyfrowe) wykorzystano przetwornik cyfrowo-analogowy wraz z komputerem i tzw. układem wejście-wyjście. Sygnały analogowe z termopar oraz sygnał odpowiadający mocy grzejnika podawane są na przełącznik elektroniczny. Przełącznik sterowany jest z komputera za pośrednictwem układu wejście-wyjście w taki sposób, że na wejście przetwornika podawany jest zawsze tylko jeden z tych sygnałów.

Pomiar przebiega w następujący sposób: sygnał wejściowy po wzmacnieniu podawany jest na jedno z wejść komparatora. Na drugie wejście podawany jest sygnał z przetwornika cyfrowo-analogowego również sterowanego z komputera

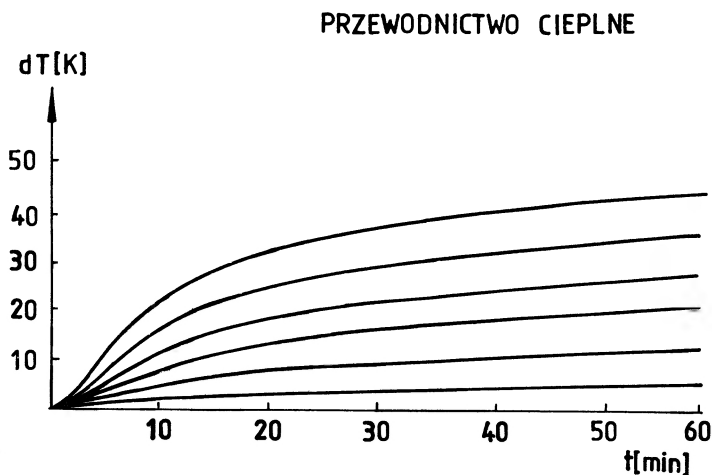
za pośrednictwem układu wejście-wyjście. Sygnał ten przyjmuje kolejno wartości $1/2, 1/4, \dots, 1/128, 1/256$ wartości maksymalnej. Wyniki kolejnych porównań z napięciem mierzonym pozwalają ustalić kolejno 8 bitów. Po zakończeniu pomiaru następuje wpisanie wyniku do pamięci komputera i naniesienie go na ekran.

W doświadczeniu można stosować kilka programów komputerowych w zależności od typu stosowanej głowicy i metody pomiarowej. Na całość każdego z programów składają się: opis układu doświadczalnego "info", program pomiarów i opracowanie danych. Ten ostatni zawiera podprogramy sterowania pracą komputera i zbierania danych, ich przedstawienia graficznego na ekranie oraz obliczania i wyświetlenia wyników obliczeń. Wszystkie wyniki pośrednie i wynik końcowych obliczeń łącznie z wykresami można wydrukować.

4. Pomiar przewodnictwa metali

a) Metoda stanu ustalonego

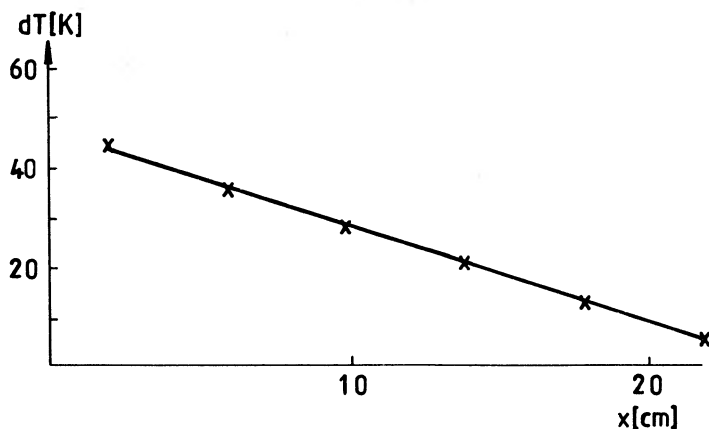
W tym przypadku na grzejnik głowicy pomiarowej podaje się napięcie odpowiadające określonej stałej wartości mocy (np. 60 W). Moc tę nastawia się ręcznie pokrętką zasilacza, a jej wartość jest wyświetlana na ekranie monitora. Również wartości temperatur mierzonych za pomocą poszczególnych termopar są wyświetlane na ekranie. Ponadto na monitorze jest wykresowany przebieg zależności wskazań temperatury od czasu $T(t)$ dla 6-ciu termopar (por. rys. 4).



Rys.4. Zależność temperatury od czasu w pomiarze przewodnictwa metalu (wydruk komputerowy)

Poza tym program pozwala na wyświetlenie zależności temperatury od odległości na przecie, czyli rozkładu temperatur w przecie $T(d)$ (rys. 5).

PRZEWODNICTWO CIEPLNE



Rys.5. Rozkład temperatury w przecie. Wydruk komputerowy wyników uzyskanych po osiągnięciu stanu ustalonego

Przy wykonywaniu pomiarów trzeba czekać do chwili ustalenia rozkładu temperatur (na ogół ponad 1 godz.). Najłatwiej stan ustalony rozkładu temperatur można obserwować na wykresie $T(t)$ (rys. 3). Osoba wykonująca doświadczenie decyduje o zakończeniu pomiaru. Po przekazaniu tej informacji może odczytać dane oraz przejść do obliczania wyników końcowych. Same obliczenia wyniku i niepewności pomiarowej wykonuje komputer i wyświetla wynik końcowy. b) Me-

toda fali temperaturowej

Grzałka głowicy jest w tym przypadku włączana i wyłączana w równych odstępach czasu. Przełączenie można wykonywać ręcznie lub robi to automatycznie program komputerowy. Na ekranie wyświetlane są wyniki pomiarów i wyświetlana jest zależność temperatury od czasu (rys. 4), dla 6 termopar. Pomiary można zakończyć po uzyskaniu kilku wyraźnych, ustabilizowanych (o ustalonej wartości amplitudy) przebiegów sinusoidalnych. Do wyznaczenia stałej przewodności cieplnej potrzebna jest znajomość czasów wystąpienia maksimów i minimów sinusoid, Casy te wyznacza się korzystając z wykresu. W tym celu program wprowadza dodatkową linię pionową na ekranie, którą można przesuwac w lewo i w prawo przy pomocy klawiatury komputera. Po odpowiednim ustawieniu tej linii następuje wpisanie do pamięci komputera czasu odpowiadajacemu jej położeniu (por. rys. 2). Po wprowadzeniu danych dla kilku sinusoid komputer dokonuje przeliczeń i podaje wyniki końcowe, w tym uśrednioną wartość współczynnika przewodności ciepła. Zarówno wykresy jak i wyniki końcowe można wydrukować za pomocą drukarki przyłączonej do komputera.



Rys.6. Fotografia skomputeryzowanego stanowiska z głowicą do pomiaru przewodnictwa cieplnego metalu

Stanowisko zbudowane zostało w ramach problemu CPBR 12.1, cel nr. 53, koordynowanego przez Zakład Aparatury Naukowej i Dydaktycznej Politechniki Wrocławskiej.

Serdecznie dziękujemy pozostałym wykonawcom za harmonijną współpracę przy budowie aparatury: Jerzemu Janickiemu, Stefanii Pachockiej, Pawłowi Hopelowi oraz Jackowi Gapińskiemu.

Literatura

- [1] H. Szydłowski, *Postępy Fizyki* 41, 379 (1990).
- [2] H. Szydłowski, *Pracownia Fizyczna*, PWN, Warszawa 1989.
- [3] F. Kaczmarek (red), *Pracownia fizyczna II*, PWN, Warszawa-Poznań 1976.



Rys.6. Fotografia skomputeryzowanego stanowiska z głowicą do pomiaru przewodnictwa cieplnego metalu

Stanowisko zbudowane zostało w ramach problemu CPBR 12.1, cel nr. 53, koordynowanego przez Zakład Aparatury Naukowej i Dydaktycznej Politechniki Wrocławskiej.

Serdecznie dziękujemy pozostałym wykonawcom za harmonijną współpracę przy budowie aparatury: Jerzemu Janickiemu, Stefani Pachockiej, Pawłowi Hopelowi oraz Jackowi Gapińskiemu.

Literatura

- [1] H. Szydłowski, *Postępy Fizyki* 41, 379 (1990).
- [2] H. Szydłowski, *Pracownia Fizyczna*, PWN, Warszawa 1989.
- [3] F. Kaczmarek (red), *Pracownia fizyczna II*, PWN, Warszawa-Poznań 1976.

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Symposium w Helsinkach na temat oceny nauczania fizyki

W dniach od 25 do 29 czerwca 1990 odbyło się w Helsinkach międzynarodowe sympozjum na temat oceny nauczania fizyki, zorganizowane przez Wydział Fizyki Wysokich Energii Uniwersytetu Helsińskiego. Uniwersytet Helsiński świętuje swoje 350-ciolecie i wszystkie ważne dziedziny uprawiane w Helsinkach akcentują swoją działalność. Konferencja ta zapewne miała też przypomnieć, iż pierwsza skandynawska katedra nauczania i dydaktyki została właśnie ustanowiona (w 1852 r.) w Helsinkach, pierwotnie na wydziale teologii a następnie (w r. 1859) przeniesiona na wydział filozoficzny.

Głównymi organizatorami konferencji byli dr Heimo Saariko z Zakładu Fizyki Wysokich Energii oraz dr Veijo Meisalo z Wydziału Kształcenia Nauczycieli. Sympozjum zgromadziło ok. 80 uczestników, w tym prawie połowa była z zagranicy. Polskę reprezentowała autorka niniejszego sprawozdania. Stany Zjednoczone wystawiły "doborową ekipę". Najważniejszą osobistością Sympozjum był nestor amerykańskich dydaktyków fizyki prof. B. Arons. Z Uniwersytetu w Maryland przybyli prof. John Layman oraz znany relatywista prof. Charles Misner. Ze Związku Radzieckiego przyjechało kilka osób, z tym, iż Estonia, dość licznie reprezentowana, występowała osobno. Mimo zapowiedzi, nie było uczestników z NRD. Z krajów "naszego obozu" były ponadto 2 osoby z Czechosłowacji. Konferencja była droga – wpisowe 350 marek fińskich (ok. 80 \$), hotele oferowane przez organizatorów po 350 FIM za noc; fakt ten z pewnością ograniczył liczbę uczestników, nie tylko ze wschodu. Niewielka liczba uczestników pozwoliła uniknąć sesji równoległych oraz dała możliwość nawiązania kontaktów pomiędzy wszystkimi uczestnikami. Zapewniono dostateczną ilość czasu na dyskusję.

Treść części zgłaszanych referatów była rzeczywiście zgodna z tytułem Sympozjum. Dr Haussler z IPN (Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften) w Kilonii referował wyniki długoletnich badań na temat oceny jakości nauczania fizyki poprzez długoterminowe efekty. W referacie autor ograniczył się do tematu "energia i jej źródła". Wyniki badań statystycznych potwierdziły raczej powszechne opinie.

Profesor C. Leubner z Uniwersytetu w Innsbrucku zrelacjonował stały system oceniania kadry nauczycielskiej Wydziału Fizyki tego Uniwersytetu. Okazuje się, iż w Innsbrucku wystąpił podobny problem co w Krakowie. Początkowo oceny wystawiane przez studentów wykładowcom były wywieszane do publicznej wiadomości, teraz jednak służą jedynie do poufnych informacji (w Krakowie ponownie są wywieszane globalne rezultaty). Krytykowany nie zgadza się z krytyką. W czasie dyskusji po referacie uzgodniono, iż być może najzdrowszy jest amerykański system oceniania profesorów, z jego wpływem na gaźę.

Profesor Vlachy z Pragi zreferował metody socjometryczne badania rozwoju nauki. Niestety wykład nie był zilustrowany najświeższymi danymi np. z fizyki wysokotemperaturowych nadprzewodników.

Parę referatów poświęcono kształceniu studentów nie-fizyków. Prof. Loide z Politechniki w Tallinie referował nieobce nam problemy ograniczania ilości czasu przeznaczonego na fizykę na rzecz zwiększania przedmiotów technicznych. Obecni skrytykowali tę tendencję. Silnym argumentem w tej dyskusji był głos przedstawiciela znanej firmy telekomunikacyjnej NOKIA (uczestnikom udostępniono zwiedzanie zakładów tej firmy). Otóż stwierdził on, iż firma pragnie otrzymywać inżynierów z gruntownym wykształceniem w dziedzinach podstawowych, takich jak fizyka i matematyka. Natomiast nowości techniczne inżynierowie studiują już samodzielnie w trakcie pracy w firmie.

Problemy kształcenia przyszłych lekarzy i dentystów przedstawili znani w Polsce z Sympozjum w Sobieszewie prof. Holmeberg z Helsinek i dr Helena Borrman ze Szwecji. Dr Borrman przedstawiła parę naprawdę ładnych przykładów ze współczesnej radiologii, które mogą już być pokazywane początkującym studentom. Prof. Fursei (ZSRR) omówił ogólną sytuację w nauczaniu fizyki w Związku Radzieckim. Prof. Layman z Maryland skomentował, iż w ZSRR mają te same problemy co oni w USA, to jest niedostatek wykształconych nauczycieli. Na tle mizernego ogólnego poziomu nauczania fizyki jaśniejsza szkoła w Moskwie dla uzdolnionych uczniów. Jest ona zorganizowana bardzo podobnie do naszych klas uniwersyteckich w Krakowie. Uczniowie moskiewskiej szkoły mają również organizowane szkoły letnie, a następna planowana jest jako wspólna z amerykańskimi uczniami. Amerykanie zademonstrowali idealne zastosowanie komputerów na lekcjach fizyki (referat prof. Laymana). Najlepsi specjaliści w Maryland opracowują cały program nauczania fizyki w szkołach z wykorzystaniem komputerów (M.U.P.P.E.T). Relatywista Misner demonstrował użycie systemu Spreadsheet (używanego przez księgowych, bardzo łatwego w obsłudze) w fizyce szkolnej. [Materiały można otrzymać (podręcznik i softw re, po 30 \$) pisząc do : Edward F. Redish, M.U.P.P.E.T. Dept. of Physics and Astronomy, College Park, MD 20742-4111, USA].

Amerykanie stwierdzili, iż rynek amerykański zalany jest programami dydaktycznymi bardzo złej jakości. Potrzebny jest lepszy system recenzowania i promocji. Podobały się dydaktyczne programy zademonstrowane przez Rosjan (prof. S. Kozel). Mnie osobiście podobały się dydaktyczne programy dla uczniów szkół średnich czy nawet podstawowych przedstawione przez Poula Thomsena z Danii. Były one bardzo starannie opatrzone instrukcjami i komentarzami, niesłychanie łatwe do używania, nawet przez słabych uczniów.

Poul V. Thomsen z Aarhus i A. Virovere z Estonii mówili o tendencjach wprowadzania do nauczania fizyki elementów humanistycznych. Dyskutowano na temat proporcji pomiędzy czystą fizyką a elementami humanistycznymi i technicznymi. Ładny przykład z wprowadzania fizyki poprzez technikę przedstawił dr Hans Dreyer z ETH w Zurychu (samochód słoneczny).

Problematykę trudności w rozumieniu fizyki i ich zmniejszania w procesie nauczania przedstawiały referaty profesora Aronsa z Maryland (zadać uczniom właściwe pytanie we właściwym czasie), prof. Sequeiry z Portugalii (prekonceptcje) i autorki sprawozdania (uczniowskie rozwiązania zadań – wskazówka do wyszukiwania trudności w rozumieniu fizyki).

Bardzo ciekawy i futurystyczny był wykład dra Auvinena z Helsinek i dra Smitha z

Wisconsin o nauczaniu poprzez satelitę: klasa z uczniami odległymi od siebie i nauczyciela o setki kilometrów, kontaktująca się poprzez komputer.

Organizatorzy umożliwili uczestnikom zwiedzenie muzeum nauki i techniki HEUREKA, którego dyrektorem jest były fizyk wysokich energii dr H. Miettinen, ponadto zwiedziliśmy fabrykę NOKIA.

Wydaje się, iż Finowie bardzo dużo uwagi i nakładów przykładają do kształcenia, w tym również w dziedzinie fizyki. Praktycznie 100% nauczycieli fizyki posiada wyższe wykształcenie. Kształcenie inżynierów jest również na bardzo wysokim poziomie. W sumie można stwierdzić, iż konferencja była ciekawa, zaproszono interesujących ludzi. Być może po raz pierwszy mieli okazję dyskutować i wymieniać informacje dydaktycy radzieccy i amerykańscy. Obie "drużyny" zachowały się nieco (i były traktowane przez innych) jak przedstawiciele dwóch supermocarstw. Uważam, iż wielkość konferencji była optymalna. Organizacja była bardzo dobra.

Zofia Gotlib-Meyer

Instytut Fizyki im. Mariana
Smoluchowskiego UJ
Kraków

RECENZJE

R.S. Ingarden, A. Jamiólkowski, R. Mrugała: *Fizyka statystyczna i termodynamika*, PWN, Warszawa 1990, s. 236, wyd. I. nakład 1.800 egz.

Na świecie, a zwłaszcza w Polsce, istnieje potrzeba dobrych podręczników, wprowadzających (na poziomie zwykłych wykładów kursowych) w zagadnienia fizyki materii skondensowanej, lub przynajmniej w znacznie węższą problematykę fizyki statystycznej. Sądzę, że podręcznik taki powinien stanowić wprowadzenie w tematykę układów makroskopowych. Powinien więc podać przykłady takich układów, określić, jakie ich własności się mierzy, wreszcie powinien przedstawić, i w jaki sposób i w jakim zakresie termodynamika oraz teoria zespołów statystycznych Gibbsa pozwalają układy wielociałowe opisywać. Program minimum powinien zawierać też informacje o właściwościach statystycznych układów fermionów i bozonów oraz o gazach klasycznych. Podręcznik powinien również omawiać najprostsze problemy magnetyzmu, nadciekłości i teorii kinetycznej. Dobrze jest przedstawić problemy interpretacji teorii statystycznej, takie jak zagadnienia ergodyczne. Idealnie by było, gdyby podręcznik przedstawiał także problemy będące przedmiotem najnowszych badań fizyków, np. nadprzewodnictwo, procesy wzrostu, symulacje układów wielociałowych, czy przykłady mikroskopowych modeli przejść fazowych.

Podręcznik *Fizyka statystyczna i termodynamika* R.S. Ingardena, A. Jamiólkowskiego i R. Mrugały w moim przekonaniu nie realizuje nawet programu minimum i dlatego nie mogę go polecić do zaznajomienia się z tytułowym przedmiotem. Jak wykażę poniżej książka ta stanowi raczej uzupełnienie do podręczników z analizy matematycznej.

Omawiany podręcznik składa się z czterech części. Każda z nich napisana jest przez jednego autora. Część pierwsza nosi tytuł "Układy termodynamiczne" i dowiadujemy się w niej, że w mechanice klasycznej stan układu opisywany jest przez pewien element wiązki stycznej do przestrzeni konfiguracyjnej a w mechanice kwantowej przez "elementy przestrzeni Hilberta" (którą się precyzyjnie definiuje). Czytamy o twierdzeniu Liouville'a i o zupełnym układzie obserwabli. Następuje solidny rozdział o σ -algebrach zbiorów borelowskich, mierze prawdopodobieństwa i sympleksach. Po zapoznaniu się z pojęciem entropii informacyjnej czytamy o klasycznych i kwantowych półgrupach dynamicznych, czyli o matematycznej strukturze abstrakcyjnych równań kinetycznych. W tym momencie podaje się matematyczną definicję makrostanu a potem "rozkładu reprezentatywnego", czyli zespołu statystycznego.

Jak *Deus ex machina* pojawia się wzór na rozkład kanoniczny. Twierdzi się, że rozkład ten opisuje układy znajdujące się w kontakcie cieplnym z termostatem. Jak jednak student ma się o tym przekonać, jest dla mnie zagadką. Twierdzi się, że "po krótkich obliczeniach" można uzyskać wzór na sumę statystyczną gazu doskonałego z czynnikiem

NI, choć o paradoksie Gibbsa i konieczności wprowadzenia tego czynnika pisze się dopiero cztery strony dalej. O gazie nic ciekawego się nie mówi. Pojawia się pierwsza zasada termodynamiki i wielki rozkład kanoniczny. O statystykach kwantowych wzmiankuje się tylko w dwóch zdaniach.

Ostatni paragraf pierwszej części jest o modelu Isinga. Pojawia się tu jedyny przykład obliczania sumy statystycznej (dzięki uprzejmości prof. Kossakowskiego, jak wynika z przedmowy) – dla jednowymiarowego modelu Isinga. Podaje się wzór na podatność magnetyczną i na funkcję "korelacyjną", ale mało z tych wzorów wynika. W książce ogólnie brakuje tego, co nazywa się dyskusją fizyczną. W tym podręczniku Autorów interesuje, czy istnieje ścisła pod względem matematycznym definicja czegoś, czy nie, oraz czy coś da, czy też nie da się rozwiązać. Jeśli się jednak da, to nie widać, jaki był cel owego rozwiązywania. Na przykład nie wiadomo, jaki jest cel podania wyników rozwiązań dla dwuwymiarowego modelu Isinga.

Druga część książki poświęcona jest termodynamice fenomenologicznej. Wykład na kilku stronach kondensuje podręcznik z termodynamiki Callena. Postulat drugi termodynamiki mówi o maksimum entropii ale w tekście nie nawiązuje się w tym momencie do dopiero co wprowadzonego pojęcia entropii informacyjnej. Dowiedziałem się, że postulaty Callena nie są logicznie zamknięte. Trzeba dodać postulat piąty: w quasi-statycznych procesach adiabatycznych entropia jest stała.

Po 8 stronach termodynamiki otrzymujemy 13 stron matematyki. Czytamy o polach tensorowych, formach różniczkowych, układach Pfaffa, przestrzeniach kontaktowych i przestrzeniach k-dżetów. Dopiero w tej części pojawia się przykład za przykładem. Dla czego takich przykładów brakuje w nielicznie podanych zagadnieniach fizycznych? W każdym razie po takim przygotowaniu jest czas na rozdział o geometrii różniczkowej w termodynamice (22 strony).

Rozdział o termodynamice przejść fazowych jest dosyć standardowy: klasyfikacja Ehrenfesta, współczesna klasyfikacja, równanie van der Waalsa, "indeksy" krytyczne i związki między wykładnikami krytycznymi. Do wyników dotyczących modelu Isinga, przedstawionych w pierwszej części książki nawiązuje się głównie w tabeli. Po przedstawieniu nierówności Rushbrooke'a czytamy, że "dla wszystkich modeli teoretycznych nierówności te [...] przekształcają się w równości". Skąd student ma wiedzieć, o jakie modele chodzi?

Część drugą wieńczy rozdział o termodynamice procesów nieodwracalnych. Rozdział ten zaczyna się, typowo dla tego podręcznika nie od doświadczeń, czy opisu sytuacji fizycznych, a od postulatu natury raczej matematycznej (w tym przypadku o równowadze lokalnej). Podane są związki Onsagera i ich uogólnienia na obszar termodynamiki nieliniowej (co się rzadziej znajduje w podręcznikach). Wszystko to jednak jest nadmiernie abstrakcyjne.

Część trzecia nosi tytuł "Nieodwracalność" i jest napisana przez prof. Ingardena. Autor pisze: "Aby dowody były matematycznie dostatecznie pełne i proste, podstawową teorię przedstawimy na modelu dyskretnym i skończonym" – chodzi o model Isinga z dowolną wartością spinu. Następnie stawia "zagadnienie centralne": "Czy jest możliwe uzasadnić fizycznie zasadę maksimum entropii [...] za pomocą uogólnionej zasady dynamicznej, tzn. za pomocą półgrupy dynamicznej?" Chodzi tutaj o równania kinetyczne, stanowiące abstrakcyjne uogólnienie równań hierarchii BBGKY. Dowodzi się twierdzenie, że dla "półgrup typu Boltzmanna" entropia informacyjna nie maleje w czasie. Dopiero

w tym momencie następuje omówienie (dwustronicowe) gazów rzeczywistych i wyprowadzone jest, z ogólnych zasad, zwykle równanie Boltzmann'a (nagle zapominamy o spinach Isinga) i podaje się twierdzenie H. Następuje rozdział uogólniający definicje informacji na zbiory pierścieni Boole'a. Nie zostałem przekonany, że takie uogólnienie jest do czegoś przydatne, a tym bardziej dlaczego student ma się o tym uczyć.

Ostatni rozdział w części trzeciej nosi tytuł: "Chaos i dyssypacja w układach deterministycznych" [słowo dyssypacja powinno być chyba pisane przez jedno s - tak jak dysydent, dysocjacja, itd.]. Zawartość tego rozdziału jest niezgodna z tytułem. Czytamy tam o układach całkowalnych i niecałkowalnych, o entropii Kolmogorowa-Sinaia (skądinąd dobry paragraf), (niejasnej) stabilności strukturalnej, o wiązках włóknistych w układach otwartych, symetriach dynamicznych (po co podawane są definicje operatorów sprzężenia ładunkowego, czy uporządkowania normalnego Wick'a skoro nigdzie w tej książce nie znajduje to zastosowania?), i wreszcie o związku zasady nieoznaczoności z nieodwracalnością. Związku tego nie zrozumiałem. Widzę tylko, że pojawia się pojęcie entropii dla funkcji falowej i cytuje się pewną nierówność.

Ostatnia część nosi tytuł: "Fluktuacje i samoorganizacja". Część ta rozpoczyna się od omówienia procesów stochastycznych. O ruchach Browna pisze się krótko. Ciekawe jest, że ruchy Browna pierwszy miał opisać polski fizyk Bodaszewski - w 1881 r. - szkoda, że nie ma odnośnika do tego opisu. Szkoda też, że nie widać związku twierdzeń o procesach stochastycznych z uprzednio omawianymi równaniami kinetycznymi. W rozdziale o "kinetyce i hierarchii czasów" czytamy - z przyczyn, których nie potrafię rozgryźć - o metodzie Leibniza, o polskich logikach Tarskim i Łosiu, o filtrach Frecheta, o "powolno-szybkich polach wektorowych" itd. Podanych jest wreszcie kilka przykładów reakcji chemicznych. Następują najlepsze, w moim przekonaniu, rozdziały o modelu van der Pola samoorganizacji i o modelu bicia serca, ale dlaczego to akurat te zagadnienia pozostawiono do omówienia w podręczniku fizyki statystycznej? Ostatni, półstronicowy, paragraf książki nosi tytuł: "Temperatury uogólnione a przejścia fazowe". Zaczyna się on od zdania: "Układ cząsteczek nieoddziałujących traktowany statystycznie, czyli gaz doskonały, ma w granicy termodynamicznej rozkład normalny, czyli opisany jest jedną temperaturą". Podobne są zdania następne. W końcu trzeba coś zostawić dla "przyszłości i być może przyszłych pokoleń" (są to ostatnie słowa z tej książki).

Pomijając niezwykle specyficzny dobór zagadnień, podręcznik jest nieprzemysłany pod względem dydaktycznym. Brak przykładów, suchość wykładu i niestrawność abstrakcyjnych wzorów skłania do zapytania dlaczego Autorzy zdecydowali się opublikować dzieło tak niedopieczone i do kogo je naprawdę adresowali? Z pewnością nie do studentów, choć taki adresat jest deklarowany we wstępie. Raczej do swych kolegów o zainteresowaniach matematycznych, ale po co wtedy dopisywać szyld o fizyce statystycznej? Matematyka jest piękną nauką, ale fizyka matematyką nie jest. Fizyka jest nauką o funkcjonowaniu realnego świata a nie o własnościach wiązek stycznych (być może pojęcia te znajdują zastosowania w materii skondensowanej, ale autorzy mnie o tym nie przekonali). Omawiany podręcznik deklaruje konieczność precyzji w teoriach fizycznych, ale stosuje się do tej zasady, tylko w partiach matematycznych. Nie w wyjaśnianiu sytuacji fizycznych. Ucieczka od realności świata fizycznego, ucieczka od jakiegokolwiek praktyczności, jest chorobą wielu teoretyków.

Po przeczytaniu tej książki nie rodzi się rozjaśniający obraz, czy idea, czym są układy wielociałowe, jakie mają właściwości, i jak należy układy takie opisywać. Odno-

śniki literaturowe są bardzo niestaranne i nie wiem według jakiego klucza następował ich wybór. Nie chodzi wyłącznie o odnośniki opublikowane w Polsce, gdyż są też dziwnie wybrane odnośniki do prac zagranicznych. Piszę się też tu o pracach, do których nie ma odnośnika. Jest za to około 60 notek o obywatelstwie różnych naukowców (w tym 27 fizyków), np. ” Sophus Lie (1842-1899) — matematyk norweski.” Zadania dla studentów są nieciekawe.

Twierdzą, że napisanie polskiego podręcznika z fizyki statystycznej nadal pozostaje zadaniem do wykonania. Oby stało się to za sprawą tych, którzy zajmują się fizyką.

Marek Cieplak

Instytut Fizyki PAN

Odpowiedź na recenzję książki *Fizyka statystyczna i termodynamika*

Recenzja napisana jest w nieco ironicznym stylu, jakby Recenzent traktował autorów trochę z góry. Nie chcemy jednak zakładać, że nastąpiło to świadomie i postaramy się wyjaśnić, że w rzeczy samej zaszło wiele nieporozumień, od bardzo poważnych do zupełnie drobnych. Nieporozumienia te wyniknęły najprawdopodobniej ze zbytniego pośpiechu w jakim książka była czytana i recenzowana. Mimo dokładnej analizy nie znaleźliśmy w recenzji prawie żadnego konkretnego zarzutu, natomiast dużo pomyłek w odczytaniu. Ogólnie negatywne wnioski Recenzenta, a także nieświadomy kierunek pomyłek i przeoczeń, wynikają z zasadniczo odmiennej niż nasza perspektywy. Każdy mieć może oczywiście własną optykę, ale przyjęcie właśnie takiej w stosunku do naszej książki uważamy za centralne nieporozumienie. Nie było bowiem naszym celem napisanie książki, której życzyłyby sobie Recenzent.

Recenzent uważa, że nasza książka powinna być wprowadzeniem "w zagadnienia fizyki materii skondensowanej, lub przynajmniej w znacznie węższą problematykę fizyki statystycznej". Pragniemy przypomnieć, że na III roku fizyki uniwersyteckiej w semestrze 5-tym przewidziane są w programie 3 godz. tygodniowo wykładu "Wstęp do fizyki fazy skondensowanej", a w semestrze 6. 4 godz. tygodniowo wykładu "Fizyka statystyczna". A więc są to dwa różne wykłady. Nawiasem mówiąc nie można powiedzieć, że fizyka statystyczna jest częścią fizyki fazy skondensowanej, gdyż jest dokładnie na odwrót. Fizyka statystyczna obejmuje również, i przede wszystkim, fazy nieskondensowane jak gazy, pary, plazmę, koloidy itd. Z drugiej strony te zagadnienia, które Recenzent pragnąłby wtłoczyć do fizyki statystycznej, jak "najprostsze problemy magnetyzmu, nadciekłość i nadprzewodnictwo", są najczęściej traktowane tylko w zerze absolutnym temperatury i entropii (jako stany czyste). Nawet w tym zakresie teorii wymagane są metody kwantowej teorii pola, których znajomości nie chcieliśmy w naszej książce zakładać. Wykraczają one poza zakres wykładów kursowych na tym poziomie, są dopiero omawiane skrótowo w dwugodzinnym wykładzie w 9. semestrze na V roku (i to tylko dla teoretyków), kiedy brak już czasu na teorię nadprzewodnictwa i nadciekłości. (Można o tym mówić ewentualnie na wykładzie specjalistycznym lub monograficznym, ale to już zależy od wyboru wykładowcy). W przyszłości planujemy napisać być może jeszcze specjalny tom poświęcony tym matematycznie bardzo trudnym zagadnieniom (kwantowa teoria pola i zjawiska krytyczne) jako tom dodatkowy i specjalnie dla teoretyków. Nawet napisaliśmy o tym pierwotnie w przedmowie do obecnej książki, ale skreśliliśmy to w korekcie, bo uznaliśmy to za przedwcześnie. Jest tylko powiedziane o "zasadniczym cyklu naszego kursu fizyki teoretycznej", a więc jeszcze nie pełnym. Natomiast nic nie pozostaje na przeszkodzie omawiać te zagadnienia na poziomie doświadczalnym i to chyba właśnie przewiduje program mówiąc o fizyce fazy skondensowanej.

Naszym celem był podręcznik termodynamiki statystycznej i fenomenologicznej w ramach fizyki teoretycznej, wspólny dla teoretyków i doświadczalników. Jest to czwarty i ostatni tom wspomnianego cyklu obejmującego całość fizyki teoretycznej na tym poziomie (pozostałe tomy to *Mechanika klasyczna*, *Mechanika kwantowa* i *Elektrodynamika*

klasyczna). Recenzent o tym cyklu i całości naszej koncepcji w ogóle nie wspomniał (choć jest o tym mowa w przedmowie naszej książki). Chyba było to konieczne, gdyż wyjaśniliby wszystkie nieporozumienia za jednym zamachem. Napisaliśmy bowiem w przedmowie, że "głównym celem naszego kursu jest próba wprowadzenia tzw. zaawansowanych metod matematycznych do podstawowego nauczania na uniwersytetach. Chodzi o asymilację nowoczesnych pojęć matematycznych i algorytmów rachunkowych, a nie o technikę dowodzenia rozumianą jako sztuka sama dla siebie." To ostatnie znaczy, że nie chodzi nam o samą matematykę, lecz wyłącznie o jej zastosowania. Historia nauki pokazuje, że to co się naprzód uważa za zaawansowane, staje się później elementarne czyli trywialne (od "trivium" = średniowieczna szkoła elementarna). Chcieliśmy więc wziąć udział w tym procesie, wyłącznie w interesie i z punktu widzenia fizyka, nie jesteśmy bowiem matematykami. A więc nasze książki nie są bynajmniej "uzupełnieniem do podręczników analizy matematycznej". Takie uzupełnienie napisaliśmy osobno, wspólnie z matematykiem, prof. L. Górniewiczem (L. Górniewicz, R.S. Ingarden, *Analiza matematyczna dla fizyków*, PWN, Warszawa, t.1, 1981, t.2, 1985, przygotowana do wydania jest także tychże autorów: *Algebra z geometrią dla fizyków*). Twierdzimy zdecydowanie, że matematyka nasza jest łatwa, szczególnie jeśli korzysta się systematycznie z naszych książek, specjalnie z mechaniki klasycznej i elektrodynamiki, te same bowiem metody często powtarzają się (choć za każdym razem wytłumaczone są niezależnie). W recenzji zaszło więc znowu bardzo poważne nieporozumienie, równie podstawowe i równie przykre jak poprzednie.

Przechodząc do szczegółów zauważmy, że np. geometria nie jest w naszej książce sama dla siebie, lecz ma wyjaśniać strukturę termodynamiki. Formy różniczkowe, układy Pfaffa, wiązka styczna, przestrzenie kontaktowe, przestrzenie dżetów itd. występują w termodynamice niezależnie od tego, czy się o tym pisze w sposób jawny czy nie. Lepiej jest jednak nazwać wszystko po imieniu i wykorzystać matematykę, której się uczyło niezależnie. Chyba dobrze, że student wie, że formy różniczkowe są tensorami o szczególnych własnościach (antysymetria) i z tego względu można na nich wykonywać szczególnego rodzaju operacje. Recenzent nie zwrócił uwagi na znaczenie i zastosowania wprowadzonej matematyki w termodynamice. Na przykład nie zwrócił uwagi na grupę transformacji w termodynamice i umiejscowienie w niej transformacji Legendre'a oraz jej związek z rozmaitościami Legendre'a. Wszystkie te sprawy mają poważne znaczenie fizyczne (analogicznie jak np. transformacje Lorentza w elektrodynamice czy teorii względności) i chyba obowiązkiem Recenzenta jest zwrócenie uwagi na te nowe i istotne elementy w recenzowanej książce. (Ale jak się zdaje wszystko co nowe razi Recenzenta i chciałby abyśmy pisali tak jak we wszystkich innych podręcznikach, tylko wtedy po co?). Recenzent zauważył wprawdzie, że np. piszemy o indeksach krytycznych, ale nie zauważył, że dzieje się to po raz pierwszy w podręcznikach dostępnych w języku polskim. Pomijamy tu właśnie bardzo trudną stronę matematyczną związaną z teorią renormalizacji, natomiast dyskutujemy stronę fizyczną z fenomenologicznego punktu widzenia. Tu właśnie wspominamy o nierówności Rushbrooke'a, która, jak piszemy, "dla modeli teoretycznych przekształca się w równość". Recenzent zauważa: "Skąd student ma wiedzieć o jakie modele chodzi?". Odpowiedź: Modele te są wymienione w Tabeli II.5 na str. 128, czyli dwie strony wcześniej. Podobna sytuacja jest z postulatami termodynamiki fenomenologicznej. Recenzent: "Dowiedziałem się, że postulaty Callena nie są logicznie zamknięte" i że "trzeba dodać postulat piąty", który Recenzent cytuje, ale nie podaje, że chodzi o znany postulat Guggenheima, jak wyraźnie jest powiedziane na str. 73. Natomiast Recenzent

dziwi się też, że nie ma przy tych postulatach nawiązania "do dopiero co wprowadzonego pojęcia entropii informacyjnej". Otóż nawiązanie takie jest na str. 71 (bezpośrednio po Postulacie II) do naszego § 5. Widac więc, że nieporozumienia czy niezrozumienia wyniknęły po prostu z nieuważnego przeczytania.

Największe nieporozumienie tego typu jest związane z zarzutem, że u nas "jak *Deus ex machina* pojawia się wzór na rozkład kanoniczny". Przepraszamy, ale wydaje się nam, że jest to sprawa horrendalna (przez dwa r)! Cała nasza książka została napisana właśnie po to, aby rozkład kanoniczny, w większości podręczników przyjmowany bez żadnego czy prawie żadnego uzasadnienia, a więc jak *Deus ex machina*, właśnie wyprowadzić z metod teorii informacji, z uogólnionej zasady maksimum informacji Jaynesa. Już we Wstępie, na str. 14, piszemy: "w naszej książce cały wykład pragniemy oprzeć przede wszystkim na teorii informacji. Uważamy, że metoda ta ma nie tylko najgłębsze z dotychczas znanych uzasadnienie teoretyczne, matematyczne, ale także jest najbardziej fizyczna." Wyprowadzenie to podane jest w § 5.2, wzór (5.13), i zaraz po tym podane są różne proste przykłady. W szczególności suma stanów Z dla gazu idealnego występuje we wzorze (5.29), a dla wielkiego rozkładu kanonicznego w (5.54), czego Recenzent nie zauważa pisząc, że jedynym przykładem obliczenia Z jest dwuwymiarowy model Isinga. Niezauważenie uzasadnienia rozkładu kanonicznego jest tym dziwniejsze, że we Wstępie podajemy też alternatywne uzasadnienie, z praw wielkich liczb rachunku prawdopodobieństwa (twierdzenie Lindeberga-Fellera, str. 14). Jedynym wyjaśnieniem jest nieuważne przeczytanie Wstępu, a w § 5 zasugerowanie się nową dla Recenzenta nazwą "rozkład reprezentatywny", która nie wiadomo dlaczego Go szokuje. Trochę w stylu: "rozumiem tylko to, co już znam". Na szczęście studenci, którzy termodynamiki jeszcze nie znają, mogą przypuszczalnie zrozumieć i zauważyć dużo łatwiej to, co jest faktycznie napisane. Dlatego też nie możemy zaakceptować kategoriycznych twierdzeń Recenzenta, że książka nasza dla studentów się nie nadaje. Według naszych doświadczeń tak nie jest, choć nie twierdzimy, że książka nasza jest idealna pod względem dydaktycznym i każdym innym. Będziemy się starać ją ulepszać, dodać nieco więcej przykładów i zadań, rozszerzyć dyskusję fizyczną (pod tym względem zgadzamy się z Recenzentem), a także umieścić więcej wyjaśnień w miejscach, które mogą prowadzić do nieporozumień. Pod tym ostatnim względem Recenzent zrobił dla nas dobrą przysługę i dziękujemy Mu za to.

Możemy też częściowo zgodzić się z Recenzentem co do wyboru materiału. Sprawa jest najbardziej delikatna, a nawet dramatyczna, w podręczniku (nie monografii, gdzie po pierwsze jest więcej miejsca do dyspozycji, a po drugie chodzi przeważnie tylko o materiał najnowszy, gdzie autor ma więcej swobody wyboru). W tym przypadku staraliśmy się przeprowadzić konsekwentnie zasadę, że należy przedstawić przede wszystkim specyficznym statystyczne i termodynamiczne pojęcia i twierdzenia, ograniczyć zaś do minimum materiał typu dynamicznego, klasyczny lub kwantowy. W większości istniejących podręczników jest przeważnie na odwrót: uwypukla się wszystko co wiąże się z materiałem dynamicznym (nie statystycznym), pisze się raczej mechanikę statystyczną niż termodynamikę statystyczną. Z tego względu sprawa nieodwracalności, wzrostu entropii, entropii w ogóle, temperatury, wypada niezmiernie mętnie i zagadkowo. W naszym przypadku zrobiliśmy świadomie na odwrót: wysunęliśmy na pierwszy plan nie energię lecz entropię, temperaturę, a nie objętość itp. To tłumaczy dlaczego tak obszernie przedstawiliśmy pojęcie informacji pokazując dokładnie jego genezę i związek z prawdopodobieństwem. Logarytmiczny wzór Boltzmanna na entropię jest udowodniony

z prostych założeń, a nie przyjęty jako definicja. Stało się tak po raz pierwszy w podręczniku, i sądzimy, że ma to duże zalety dydaktyczne i naukowe. Czy to ma znaczenie fizyczne? Oczywiście! Nasze założenia dotyczące informacji jako funkcji na podalgebrach pewnej algebry Boole'a pozwalają na odwrócenie wzoru Boltzmann'a (próbował już to Smoluchowski): przedstawienie prawdopodobieństwa jako funkcji entropii. Teoria informacji jest podstawą teorii pomiaru, klasycznego czy kwantowego, nie może być więc ignorowana przez fizyków, jak często bywało dotychczas. Niestety Recenzent tego raczej (lub zupełnie) nie rozumie. Ale nic dziwnego: nasz podręcznik jest chyba pionierski pod każdym względem i niemal na każdej stronie. Jako pierwsza próba (choć wcześniej, w 1979, był wydany skrypt termodynamiki statystycznej w Toruniu i wiele preprintów z wykładów R.S. Ingardena i A. Kossakowskiego) z pewnością nie jest pozbawiony błędów i wad. Przyznajemy to, i w drugim wydaniu (jeśli do niego dojdzie) postaramy się niektóre przynajmniej niedociągnięcia usunąć. Nie można jednak poza drzewami nie widzieć lasu. Poza tym, jak napisaliśmy w przedmowie, termodynamika jest najtrudniejszym działem fizyki, i najmniej lubianym, jako najmniej ścisła i najbardziej zagadkowa. Staraliśmy się ją trochę uściślić, ale jak się okazało właśnie to wywołało największy sprzeciw Recenzenta, bo Matematyka nie jest Jego oblubienicą. Szkoda.

R.S. Ingarden

A. Jamiołkowski

R. Mrugała

Instytut Fizyki UMK

Toruń

K R O N I K A

PTF

Oddział Częstochowski PTF

Dnia 22 stycznia 1991 odbyło się Walne Zebranie Oddziału, na którym omówiono działalność ustępującego Zarządu oraz wybrano Zarząd na nową kadencję.

W okresie sprawozdawczym odbyło się 10 posiedzeń naukowych. Referaty wygłaszali członkowie Oddziału i zaproszeni goście, m. in. doc. M. Sawicki przedstawił referat "Wiara i nauka w procesie nauczania fizyki", a prof. J. Świątek - "Elektronika molekularna - nadzieje i obawy". We wrześniu 1989 odbyła się w Kokotku k. Lublińca krajowa konferencja "Kryształ molekularne '89", której głównym organizatorem był prof. J. Świątek z WSP w Częstochowie.

W ramach działalności popularnonaukowej prowadzono zajęcia dla młodzieży szkół średnich województwa częstochowskiego. W okresie sprawozdawczym odbyły się 23 takie spotkania, na których wygłaszano odczyty popularnonaukowe, przeprowadzano doświadczenia fizyczne oraz rozwiązywano zadania z fizyki.

Kontynuowano także organizację Olimpiad Fizycznych I i II stopnia dla uczniów szkół średnich woj. częstochowskiego, kieleckiego i opolskiego.

Prowadzono szeroką współpracę ze środowiskiem nauczycieli fizyki szkół podstawowych i średnich. Tematyka seminariów dla nauczycieli woj. częstochowskiego została ustalona na podstawie bezpośrednich rozmów z nauczycielami.

Członkowie Oddziału Częstochowskiego objęli bezpośrednią opieką młodzież Katolickiego Liceum Ogólnokształcącego w

Częstochowie. Udostępnione zostały laboratoria placówek uczelnianych, zajęcia z fizyki prowadzone są przez pracowników naukowych Politechniki Częstochowskiej i WSP w Częstochowie.

Wybrano nowy Zarząd Oddziału w składzie: przewodniczący - Włodzimierz Zapart, z-ca przewodniczącego - Zdzisław Stępień, sekretarz - Wanda Klepacz, skarbnik - Jerzy J. Wysłocki, członkowie - Bogdan Całusiński, Marian Głowacki, Bolesław Wysłocki. Korespondentem Oddziału został Jerzy J. Wysłocki.

Jerzy J. Wysłocki

Polska członkiem CERN-u

W końcu ub.r. Europejska Organizacja Badań Jądrowych (CERN) postanowiła przyjąć Rzeczpospolitą Polską do grona szych państw członkowskich. Stanowiło to odpowiedź na wystąpienie w tej sprawie w imieniu Rządu R.P. ministra spraw zagranicznych prof. Krzysztofa Skubiszewskiego z dn. 25 lipca 1990 r. Decyzja Rady CERN-u, składającej się z przedstawicieli czternastu państw członkowskich, zapadła jednogłośnie, co było warunkiem jej ważności. Delegacja polska zaproszona następnie na posiedzenie Rady została powitana niezwykle serdecznie. W swoich wystąpieniach członkowie Rady podkreślali długotrwałe związki polskiego środowiska fizyków z CERN-em. Z uznaniem wypowiedzieli się o poziomie fizyki wysokich energii w Polsce. Wyrażali też przekonanie, że przyjęcie Polski do CERN-u jest istotnym elementem tworzenia nowych więzi międzynarodowych we współczesnej Europie.

CERN jest pierwszą międzynarodową organizacją zachodnioeuropejską, do której Polska wchodzi jako pełnoprawny członek. Wyprzedza ona pod tym względem pozostałe kraje Europy środkowowschodniej.

Związki polskich fizyków z CERN-em rozpoczęły się ok. 1960 r. kiedy to z inicjatywy profesorów Mariana Danysza z Warszawy i Mariana Mięśowicza z Krakowa młodzi polscy fizycy zaczęli być przyjmowani na staże naukowe w tym ośrodku. Było to wkrótce po uruchomieniu w CERN-ie synchrotronu protonowego, największego wówczas akceleratora cząstek w świecie. Rozpoczęła się współpraca polskich ośrodków fizyki z Krakowa i Warszawy z CERN-em. Jej przedmiotem było badanie zarejestrowanych w komorze pęcherzykowej zderzeń cząstek przy wysokich energiach. W fizyce wysokich energii dominowało wówczas zainteresowanie zderzeniami, w których liczba powstających nowych cząstek była niewielka. Polscy fizycy skoncentrowali się jednak na badaniu procesów z dużą liczbą produkowanych cząstek zajmując w tej dziedzinie uznaną pozycję w świecie. Problematyka ta okazała się wkrótce bardzo istotna dla zrozumienia mechanizmów powstawania nowych cząstek.

Poza analizą materiałów z komór pęcherzykowych, prowadzoną w Krakowie i Warszawie, polscy fizycy podejmowali w CERN-ie badania wykorzystujące inne techniki eksperymentalne. Przykładem tego może być poszukiwanie stanów wzbudzonych hiperjąderek powstających w oddziaływaniach wiązki mezonów K^- z jądrami wybranych izotopów. Inicjatywa przeprowadzenia takiego doświadczenia jak i znaczna część aparatury dla jego realizacji powstały w Warszawie.

Innym przykładem wykorzystywania nowoczesnej techniki eksperymentalnej były badania powstawania w zderzeniach o wysokich energiach cząstek obdarzonych "po-

wabem". Eksperyment ten został przeprowadzony przez zespół międzynarodowy przy znacznym udziale fizyków krakowskich, którzy dostarczyli dla jego realizacji opracowaną i zbudowaną w Krakowie nowoczesną aparaturę rejestrującą powstające cząstki.

Wymienione przykłady nie wyczerpują całości badań prowadzonych w minionym trzydziestoleciu przez polskie zespoły w CERN-ie. Obejmowały one między innymi pomiary funkcji struktury nukleonów za pomocą wysokoenergetycznych neutrin i mionów, badania zderzeń protonów prowadzących do powstania cząstek o dużych pędach poprzecznych, analizę zderzeń wysokoenergetycznych jąder atomowych z jądrami tarczy oraz badanie własności krótkożyjących jąder. Polscy fizycy teoretycy utrzymywali intensywne kontakty z oddziałem fizyki teoretycznej CERN-u.

Współpraca z polskimi ośrodkami fizyki wysokich energii została wysoko oceniona przez CERN już we wczesnych latach sześćdziesiątych. Dyrektor CERN-u, prof. V. Weisskopf wystąpił z inicjatywą ściślejszego związania Polski z tą organizacją. W wyniku tego od 1963 r. Polska jako jedyny kraj z ówczesnego bloku państw socjalistycznych uzyskała status członka obserwatora CERN-u. Na ściślejsze związki z tym międzynarodowym ośrodkiem naukowym nie pozwoliła wtedy międzynarodowa sytuacja polityczna. Uniemożliwiła ona wówczas także przystąpienie Finlandii do CERN-u. Dopiero ostatnio, wyprzedzając o pół roku Polskę, uzyskała ona członkostwo tej organizacji.

Informacja o przystąpieniu Polski do CERN-u budzi czasami obawy czy kraj nasz na to stać w obecnej trudnej sytuacji ekonomicznej. Uwzględniając tą sytuację ustalono, że przez pierwsze cztery i pół roku wkład Polski do CERN-u będzie stosunkowo niewielki i będzie wynosił niewiele ponad siedem miliardów zło-

tych rocznie. Przewiduje się, że jeżeli kondycja ekonomiczna naszego kraju ulegnie poprawie to od 1996 r. może nastąpić stopniowy wzrost wysokości składki tak by w r. 2000 osiągnęła wielkość wynikającą z aktualnego dochodu narodowego Polski. Rada CERN-u w przypadku Polski postanowiła odstąpić od zasady, że nowoprzyjęty kraj wnosi wkład finansowy tytułem rekompensaty za korzystanie z już nagromadzonego majątku CERN-u, którego staje się współwłaścicielem.

Swoją olbrzymią autorytet w światowej nauce CERN zawdzięcza dokonaniom w poznawaniu najbardziej podstawowych praw przyrody. Badania naukowe prowadzone w tym ośrodku, mimo że mają bardzo znaczny, pośredni wpływ na powstawanie nowych rozwiązań technicznych, nie stawiają sobie za cel osiągnięcie utylitarnych. Wyniki prowadzonych tam prac są ogólnie dostępne i stanowią wkład do światowej wiedzy o najmniejszych a więc i najbardziej podstawowych składnikach materii. Wielkie znaczenie dla rozszerzenia tej wiedzy miało odkrycie bozonu Z^0 odpowiedzialnego za występowanie między cząstkami sił zwanych "słabymi". Odkrycie to można porównać do odkrycia fal radiowych przez H.R. Hertza w 1886 r., który pokazał, że pole elektromagnetyczne może "oderwać się" od swego źródła i podróżować w przestrzeni. Podobnie fizycy w CERN-ie wykazali, że kwant sił słabych może pojawić się jako niezależna, podróżująca w przestrzeni cząstka. Nazwano ją bozonem pośredniczącym słabych oddziaływań i oznaczono symbolem Z^0 . W r. 1984 nagroda Nobla z dziedziny fizyki została przyznana dwóm pracownikom CERN-u, Carlo Rubbi i Simonowi van der Meer za decydujący wkład w odkrycie Z^0 .

Dla zbadania własności bozonu Z^0 , a także w celu poszukiwania innych przewidywanych przez teorie ziaren materii, zbudowany został w CERN-ie naj-

wiekszy w świecie akcelerator elektronów i ich antycząstek (pozytonów) nazwany "LEP" (Large Electron-Positron collider). Od przeszło roku fizycy z różnych krajów, w tym polscy z Instytutu Problemów Jądrowych w Świerku, Uniwersytetu Warszawskiego, Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, prowadzą prace przy tym akceleratorze.

Znaczenie CERN-u w kształtowaniu współpracy międzynarodowej jest równie ważne jak jego osiągnięcia naukowe. Powstanie tej placówki w 1953 r. miało na celu m.in. rozwinięcie współpracy pomiędzy naukowcami z różnych, często niedawno jeszcze sobie wrogich, krajów. Podjęcie wspólnego, niezwykle trudnego i ambitnego programu naukowego przyczyniło się do intelektualnego zjednoczenia Europy Zachodniej. W okresie zimnej wojny CERN wykazywał niezwykłą otwartość i był gotów prowadzić współpracę z naukowcami niezależnie od kraju ich zamieszkania. Współpraca z polskimi fizykami była tego dobitnym przykładem. Rola CERN-u w nawiązywaniu kontaktów ponad podziałami politycznymi zjednała mu powszechne uznanie i szacunek. Wyrazem tego były odwiedziny wielu wybitnych osobistości. Poza głowami państw i szefami rządów gościli tam ludzie o wybitnym autorytecie moralnym, tacy jak Dalaj Lama, Andrej Sacharow i Jan Paweł II. Obecnie, gdy tworzy się nowy europejski ład, CERN jako pierwsza zachodnioeuropejska międzynarodowa organizacja wykazał wolę aktywnego udziału w procesie jednoczenia naszego kontynentu.

Ryszard Sosnowski

Co nowego w EPS?

Od czasu ukazania się ostatnich informacji o EPS (Kronika, zeszyt 1-2/1990) zaszło ważne wydarzenie w życiu Europejskiego Towarzystwa Fizycznego: Ósma Konferencja Generalna, EPS-8.

Konferencja oraz towarzyszące jej zebranie ogólne członków EPS, a ponadto robocze posiedzenie Zarządu Głównego i Rady EPS odbyły się w Amsterdamie w dniach 4-7 września 1990.

Konferencje generalne EPS mają tradycyjne już hasło tytułowe "Kierunki rozwoju fizyki" ("Trends in Physics"). Gospodarzem ostatniej było Holenderskie Towarzystwo Fizyczne, współpracujące z miejscowym komitetem organizacyjnym, kierowanym przez prof. A.M. Hoogenbooma. Przygotowania do konferencji trwały blisko dwa lata, obejmując w szczególności liczne dyskusje międzynarodowego komitetu programowego. Zadbano o zgodny z charakterem konferencji EPS, bardzo wielostronny program - od filozofii nauki po najnowsze osiągnięcia techniczne; program obejmował praktycznie wszystkie dziedziny fizyki i jej pogranicza z innymi dyscyplinami. Przed prelegentami, zwłaszcza tymi, którym powierzono referaty plenarne, stało zadanie przedstawienia podjętych tematów w taki sposób, aby słuchacze pracujący w różnych, niekiedy bardzo odległych dziedzinach fizyki, mogli z korzyścią i zainteresowaniem słuchać każdego z referatów, nie popadając w kompleks własnej ignorancji w przedstawianej dziedzinie. Ogromna większość mówców wywiązała się z tego zadania znakomicie.

Ze względu na charakter i tytuł tej notatki nie omawiam tu poszczególnych referatów, zainteresowanych Czytelników odsyłając do październikowego numeru *Europhysics News* (21, No 9 (1990)), prawie w całości poświęconego spotkaniu w Amsterdamie.

Wśród ponad tysiąca uczestników konferencji było kilku szczególnie wyróżnionych wiekiem i rolą w fizyce. H.B.G. Casimir (trzeci Prezes w historii EPS) wygłosił krótkie przemówienie podczas uroczystego otwarcia konferencji. Zawierało ono znamienne zdanie, że w "dziedzinie fizyki właściwie nigdy nie było zimnej wojny". Uczestnikiem, którego nazwisko znają wszyscy bez wyjątku fizycy, był Hans Bethe. Obaj seniorzy mogą imponować młodszym kolegom dobrą formą, żywością intelektualną i szerokim spojrzeniem na fizykę jako całość.

Nie zabrakło wśród uczestników najświeższych noblistów - obecni byli K.A. Müller (Nobel 1987) i N.F. Ramsey (Nobel 1989).

Poza sesjami plenarnymi odbyło się 13 równoległych sympozjów, pokrywających ogromny zakres współczesnych badań, oraz sesja plakatowa, na której młodzi fizycy przedstawiali swoje prace. Specjalnie powołane jury oceniało prace plakatowe. Szczególnie chętnie wspominam o tym, ponieważ zdobywcą I nagrody był Piotr Figurny (praca z dziedziny optyki kwantowej) z Politechniki Warszawskiej.

Drugim "polskim akcentem" - zupełnie innej rangi i rodzaju - był wykład Janusza Zakrzewskiego z cyklu tzw. "C. Powell Memorial Lectures" na temat nośników oddziaływań. Zakrzewski, który przed wielu laty miał okazję pracować w Bristolu w zespole kierowanym przez Powella, wygłosił znakomity referat, bardzo dobrze przyjęty przez słuchaczy.

Nicią przewodnią konferencji w jej warstwie pozanaukowej było poczucie zbliżania się do jedności europejskiej, wyzwolone zmianami w krajach Europy środkowowschodniej oraz w ZSRR. Wyrażało się to m. in. niezwykłą liczbą obecnych fizyków z tej części Europy (300 osób!), w tym wielu studentów, których koszty pobytu w Amsterdamie pokryli organizatorzy, oraz swobodą i szczerością wypowiedzi fizyków zajmujących wysokie stanowiska w hierarchii

naukowo-administracyjnej.

Na zakończenie wrażeń z konferencji należy dodać, że była ona bardzo dobrze zorganizowana, czemu sprzyjało wykorzystanie specjalnego "Centrum Konferencyjnego" w Amsterdamie. "Centrum" dysponuje nie tylko funkcjonalnymi pomieszczeniami i salami, ale i profesjonalną obsługą konferencji o dużym doświadczeniu i odpowiednich środkach.

Część uczestników była zaproszona do udziału w specjalnym spotkaniu z Dyrektorem Generalnym Polityki Naukowej w holenderskim Ministerstwie Nauki i Edukacji. Szczególne zainteresowanie i pozytywną ocenę zyskała tam wypowiedź A.F. Andrejewa, członka Akademii Nauk ZSRR, na temat organizacji nauki w ZSRR i niezbędnych w niej zmian. Miejsce tego spotkania, po którym odbyło się oficjalne przyjęcie - Rijksmuseum - dało uczestnikom nie tylko możliwość rozmowy z wieloma interesującymi fizykami, ale i podziwiania płócien Rembrandta.

Inne imprezy to zwiedzanie instytutów i laboratoriów oraz zupełnie nieformalne rozrywkowe spotkania.

Miłym gestem organizatorów było zaoferowanie uczestnikom konferencji w bilety umożliwiające korzystanie ze wszystkich środków transportu na terenie Amsterdamu. Takie bilety oraz świetnie działająca komunikacja miejska zachęcały do wielokrotnych powrotów do najciekawszych i najładniejszych dzielnic miasta, nawet w krótkich przerwach, bez rezygnowania z udziału w posiedzeniach i referatach.

Dla Zarządu Głównego (Executive Committee - EC) EPS spotkanie na konferencji było okazją do kolejnego roboczego posiedzenia. Następne odbyło się w 3 miesiące później, w połowie grudnia 1990. Stały problem, nieobcy wielu znanym nam Towarzystwom i instytucjom, problem finansów i budżetu jest już tradycyjnym przedmiotem dyskusji na posiedzeniach EC. Sytuacja fi-

nansowa EPS uległa zresztą ostatnio pewnej poprawie, częściowo dzięki skutecznej aktywności skarbnika i paru członków EC. Główne kierunki działania to: a) oszczędności, wynikające z czasowego przeniesienia części genewskiego sekretariatu EPS do Budapesztu, gdzie - przynajmniej na razie - koszty prowadzenia sekretariatu są niższe, oraz b) uporczywe werbowanie członków stowarzyszonych, czyli instytucji i przedsiębiorstw, których składki są ustalane indywidualnie i są oczywiście znacznie wyższe niż składki członków indywidualnych.

Na swoich posiedzeniach EC poświęcił sporo uwagi polityce organizacyjnej Towarzystwa, np. roli sekcji astronomicznej i optycznej, które wykazują tendencje do usamodzielnienia się w skali europejskiej, lecz poza EPS.

Szczególnie warta odnotowania jest akcja podjęta kilka miesięcy temu z inicjatywy Holenderskiego Towarzystwa Fizycznego (dr Lingemann) oraz prof. Folbertha (IBM) z Niemiec. Hasło akcji brzmi "East-West relations", a celem jej jest w istocie pomoc dla fizyków w krajach Europy środkowo-wschodniej. Po dyskusjach oraz zebraniu informacji od krajowych towarzystw fizycznych, EC utworzył zespół złożony z przedstawicieli krajów najbardziej zaawansowanych w powrocie do Europy (prof. Kroo z Budapesztu, prof. Zofka z Pragi i autorka tej notatki) oraz przewodniczącego, prof. Folbertha. Sformułowano kilka konkretnych propozycji. Przy bardzo aktywnym i życzliwym stosunku całego Zarządu Głównego EPS oraz przedstawicieli zachodnich towarzystw krajowych można oczekiwać, że podjęta inicjatywa przyniesie pewne rezultaty. W wykorzystaniu tej inicjatywy u nas w kraju PTF mogłoby odegrać istotną rolę.

Na zakończenie tej relacji o niektórych działaniach EPS warto dodać, że w końcu marca 1991 upływa kadencja obecnych władz EPS. Statut Towarzystwa ściśle

ogranicza czas piastowania funkcji w Zarządzie i władzach EPS, w związku z czym prof. Ricci przestanie być prezesem, a autorka tej notatki wiceprezesem Towarzystwa. Wybór następnego prezesa nastąpi na posiedzeniu Zarządu Głównego i Rady EPS, jednakże można już powiedzieć, że najpoważniejszym kandydatem na to stanowisko jest Maurice Jacob (CERN, Genewa).

Ewa Skrzypczak

Nagrody PAN

W 1990 r. następujące prace z dziedziny fizyki lub z pogranicza fizyki zostały wyróżnione Nagrodą Sekretarza Naukowego PAN:

”Zbadanie nowych efektywnych mechanizmów przekazu energii prowadzących do pojawienia się wydajnej luminescencji 4f–4f jonów ziem rzadkich”: zespół: doc. Marek Godlewski (kierownik pracy), prof. Jerzy M. Langer, dr Andrzej Stapor, dr Andrzej Suchocki, mgr Krzysztof Świątek i dr Hanna Przybylińska (wszyscy z IF PAN).

”Budowa i ewolucja gwiazd neutronowych i gwiazd dziwnych”: zespół: prof. Paweł Haensel (kierownik) i dr Julian Zdunik (obaj z CAMK PAN).

”Molecular Beam Epitaxy - Fundamentals and Current Status” (monografia); doc. Marian A. Herman (IF PAN).

”Zbadanie superjonowego przewodnictwa w kryształach CsHSeO₄, CsDSeO₄, CsH(SeO₄)₂, Rb₃H(SeO₄)₂ oraz wykrycie i zbadanie własności superjonowych w kryształach (NH₄)₄H₂(SeO₄)₃”: zespół: prof. Bożena Hilczer (kierownik), dr Czesław Pawlaczyk i dr Antoni Pawłowski (wszyscy z IFM PAN).

”Wyjaśnienie i zbadanie krystalochemicznej budowy związków na bazie bizmutu,

wykazujących nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe”; zespół: doc. Roman Horyń (kierownik), mgr Irena Fiłatow, dr Marek Wołczyr, dr Andrzej J. Zalewski, mgr Jarosław Olejniczak, mgr Piotr W. Klamut i mgr Ireneusz Benzar (wszyscy z INTiBS PAN).

”Otrzymanie i kompleksowe zbadanie własności fizycznych monokryształów związków z układu U-Cu-P, U-Cu-As, U-Ni-As i UPdAs₂ oraz wykrycie w nich porządku magnetycznego”; dr Dariusz Kaczorowski (INTiBS PAN).

”Rozwój i zastosowanie doświadczalnych i teoretycznych metod do poznania potencjałów opisujących ruch protonu w mostku wodorowym”; dwa zespoły: zespół pod kierownictwem: czł. koresp. PAN Henryka Ratajczaka: dr Marek Ilczyszyn, dr Zdzisław Latajka i dr Maria Wierzejewska-Ilnat (wszyscy z UW r.) oraz zespół pod kierownictwem: czł. rzecz. PAN Lucjana Sobczyka: prof. Zbigniew Malarski, doc. Tadeusz Lis, dr Irena Majerz (wszystkie trzy osoby z UW r.) i dr Eugeniusz Grech (Pol. Szczecińska).

”Anomalie oporu elektrycznego metali i stopów domieszkowanych ziemiemi rzadkimi”; zespół: doc. Andrzej Ślebarski (kierownik) i Elżbieta Zipper (obie osoby z UŚI).

”Badanie widm fononowych i ich związku z nadprzewodnictwem w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych z grupy YBa₂Cu₃O_{7-x}”; dr Aleksander Wittlin (IF PAN).

”Zbadanie własności magnetycznych stopów lantanowic-metal przejściowy-bor”; zespół: doc. Alojzy Wrzeciono (kierownik), Mieczysław Jurczyk, mgr Bogdan Idzikowski, mgr Andrzej Kowalczyk, mgr Piotr Stefański i mgr Andrzej Szlaferek (wszyscy z IFM PAN).

Nagrody Naukowe Wydziału III PAN za rok 1990 otrzymali w zakresie fi-

zyki:

dr Grażyna Kontrym-Sznajd (INTiBS PAN) za pracę pt.: "Opracowanie nowej metody określania struktury elektronowej metali oraz wyznaczenie za jej pomocą struktury elektronowej oraz parametrów oddziaływania dla Mg, Zn, Cd",

dr Andrzej L. Sobolewski (IF PAN) za cykl prac dotyczących teorii rezonansów w fotojonizacji cząsteczek;

w zakresie astronomii:

dr Stanisław Bajtlik (CAMK PAN) za cykl czterech prac wnoszących znaczący wkład do badań nad wielkoskalowym rozmieszczeniem materii we wszechświecie w oparciu o analizę widm kwazarów.

Małgorzata Głódź

Nagroda im. Carla Zeissa

Fundacja im. Ernsta Abbego przyznała w 1990 r. po raz pierwszy międzynarodową nagrodę im. Carla Zeissa dla młodych fizyków za wybitne osiągnięcia w badaniach podstawowych i zastosowaniach w dziedzinie optyki.

Nagrodę otrzymali: Philippe Grangier (Orsay) za wkład w badania różnych aspektów kwantowej natury światła, Norbert Streibl (Erlangen) za rozwinięcie teorii trójwymiarowego odwzorowania przedmiotów, opracowanie jej w formie algorytmów, które można stosować w interpretacji obrazów mikroskopowych, James R. Taylor (Londyn) za prace z fizyki laserów i dokonanie ważnego postępu w generacji i stosowaniu ultrakrótkich impulsów światła.

Nagroda Carla Zeissa będzie przyznawana co 2 lata.

Plany Wykorzystania Europejskich Źródeł Neutronów i Fotonów

W Krems nad Dunajem odbyło się w dniach 24–26 września 1990 spotkanie zorganizowane z okazji przystąpienia Austrii do Międzynarodowego Instytutu Lauego–Langevina (ILL) w Grenoble (roczny koszt uczestnictwa ok. 1 mln \$ USA). W symposium wzięło udział ok. 100 naukowców z Austrii, Czechosłowacji, Polski i Węgier. Delegacja polska liczyła 19 osób z Krakowa i Warszawy.

Podstawowym celem tego spotkania było zapoznanie uczestników z organizacją i tematyką badań prowadzonych w ILL oraz przedstawienie organizacji, stanu zaawansowania prac budowlanych oraz przyszłych możliwości badawczych europejskiego źródła promieniowania synchrotronowego (ESRF - European Synchrotron Radiation Facility), budowanego aktualnie w Grenoble. W czasie spotkania dyrektorzy i naukowcy z ILL i ESRF wygłosili referaty plenarne, w których przedstawili m. in. możliwości uczestniczenia naukowców z innych krajów w planowanych badaniach. Przewidziano również czas na krótkie wystąpienia uczestników na temat prowadzonych badań z wykorzystaniem źródeł neutronowych i fotonowych.

Delegacja austriacka przedstawiła dwa projekty zorganizowania na terenie Austrii międzynarodowych ośrodków naukowych: Centrum Nowoczesnej Technologii wyposażonego w niewielkie źródło synchrotronowego promieniowania rentgenowskiego AUSTRON oraz Laboratorium Wzrostu Kryształów, w którym zgromadzono by aparaturę do hodowli i kontroli jakości nietypowych kryształów potrzebnych do badań naukowych. Projekty te poddano pod dyskusję. Na spotkaniu padła również propozycja zorganizowania podobnego sympo-

zjum za dwa lata w Polsce.

Polscy uczestnicy sympozjum postanowili zorganizować na początku 1991 spotkanie polskich naukowców zainteresowanych użyciem promieniowania synchrotronowego do badań naukowych. Celem tego spotkania jest próba zintegrowania środowiska i określenia możliwości wejścia Polski do międzynarodowych organizacji skupiających użytkowników tego, tak ważnego dla wielu dziedzin nauki, silnego źródła fotonów. Organizacji podjął się Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego (prof. A. Kisiel) i Instytut Fizyki PAN (prof. J. Auleytner).

Krystyna Ławniczak-Jabłońska

Uczniowie i przyjaciele o Arkadiuszu Piekarze

W zeszycie 3/4 (1990) *Nauki Polskiej* ukazał się zbiór wspomnień i wypowiedzi o Arkadiuszu Piekarze, napisanych przez 15 spośród jego uczniów i przyjaciół.

Jest to bardzo ciekawy zbiór. Można z niego dowiedzieć się o sposobie pracy Piekary, cechach charakteru, wpływie jaki miał na swoich uczniów, o jego żarliwym stosunku do fizyki.

W zakończeniu napisano m. in.: "Pokażal on nam, jak spostrzegać to, czego nie osiąga się od razu i nauczył nas konsekwentnie dążyć do zakończenia postawionego zadania."

To bardzo piękny wyraz hołdu oddanego mistrzowi.

Nauka Polska 38, No 3/4 (1990) B. W.

Historia fizyki ciała stałego

Od ok. 10 lat działa międzynarodowa grupa (uczestnicy m. in. z Anglii, Austrii,

Francji, RFN, USA) opracowująca historię fizyki fazy skondensowanej. Owocem prac jest książka (768 stron) *The history of solid-state physics*, wydana w 1990 r. przez Oxford Univ. Press pod redakcją Lilliany Hoddesdon (Univ. of Illinois, USA), Ernsta Brauna (Inst. für Socio-Oekonomische Entwicklungsforschung, Austria), Jurgena Teichmanna (Deutsches Museum, RFN) i Spencera Wearta (Center for History of Physics, AIP, USA). W zbieraniu i opracowaniu materiałów brał również udział Krzysztof Szymborski, który jest także współautorem 2 rozdziałów.

Opracowanie obejmuje historię tego działu fizyki aż do r. 1960. Podstawowe jego źródła to rozproszone materiały archiwalne i duża liczba wywiadów z fizykami starszego pokolenia.

Książka zawiera rozdziały: Korzenie fizyki ciała stałego przed mechaniką kwantową; Rozwój kwantowej teorii elektronowej metali w latach 1933–60; Defekty punktowe i kryształy jonowe, centra barwne; Własności mechaniczne ciał stałych; Magnetyzm; Wybrane zagadnienia z historii fizyki półprzewodników i jej zastosowań; Zjawiska kolektywne; Społeczność fizyków ciała stałego.

Wydaje się, że jest to, jak dotychczas, największe przedsięwzięcie badawcze z dziedziny historii nauk ścisłych.

B. W.

Nanotechnology

W drugiej połowie 1990 r. zaczął się ukazywać kwartalnik *Nanotechnology*, wydawany przez brytyjski Instytut Fizyki (IOP). Redaktorem naczelnym jest D. Whitehouse (kierownik Centrum Mikroinżynierii i Metrologii Uniwersytetu Warwick, Wielka Brytania). W skład Rady Re-

dakcyjnej wchodzi kilkanaście osób z całego świata, m. in. J. Auleytner (IF PAN) z Polski.

Czasopismo zamieszcza prace oryginalne, listy a także artykuły przeglądowe na temat zjawisk w skali nanometrów z zakresu inżynierii, wytwarzania, optyki, elektroniki, materiałoznawstwa. Prace o charakterze interdyscyplinarnym są preferowane przy przyjmowaniu do druku.

B. W.

HENRYK JANYSZEK (1942–1990)

W dniu 15 marca 1990 r. zmarł dr Henryk Janyszek, adiunkt w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, wieloletni członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Janyszek urodził się 24.3.1942 r. w Wilnie, a od 1945 r. mieszkał w Toruniu. W 1967 r. uzyskał stopień magistra fizyki na UMK. Pracę w Instytucie Fizyki UMK rozpoczął dwa lata później pracując kolejno w zakładach mechaniki, metod matematycznych fizyki i fizyki statystycznej. Opublikował 22 prace z dziedziny fizyki teoretycznej.



H. Janyszek

Początkowo zajmował się relatywistyczną mechaniką kwantową. Doktoryzował się w 1972 r. na podstawie pracy "Kwasirelatywistyczne równania kwantowo-mechaniczne dla układu naładowanych cząstek Diraca w zewnętrznym polu elektromagnetycznym oraz redukcja tych równań do podprzestrzeni dodatnich stanów energii". Promotorem pracy była prof. Wanda Hanusowa. Zajmował się także kwantową teorią pola i astrofizyką relatywistyczną prowadząc przez wiele lat wykłady z tych dziedzin. To m. in. spowodowało jego zainteresowanie się teorią grup i geometrią różniczkową.

Przez ostatnie 10 lat, po przejściu do Zakładu Fizyki Statystycznej kierowanego przez prof. R.S. Ingardena, intensywnie pracował nad problemami zastosowania geometrii różniczkowej w termodynamice fenomenologicznej i fizyce statystycznej. Główne jego rezultaty dotyczą relacji pomiędzy krzywizną skalarną Riemanna przestrzeni parametrów termodynamicznych a stabilnością układów termodynamicznych, w szczególności w pobliżu punktów krytycznych. Metrykę Riemanna wprowadzał za pomocą entropii (informacji) względnej. Wykorzystując pojęcie krzywizny skalarnej otrzymał nowe interesujące związki pomiędzy wykładnikami krytycznymi. Częściowe podsumowanie tych wyników stanowi napisana przez H. Janyszka w 1988 r. praca habilitacyjna pt.: "Geometria informacyjna a stabilność termodynamicznych układów równowagowych." Przedwczesna śmierć spowodowana ciężką i długotrwałą chorobą nie pozwoliła na zakończenie przewodu habilitacyjnego. Przerwane zostały również prace nad zastosowaniami geometrii Finslera, która jest uogólnieniem geometrii Riemanna, w termodynamice procesów nieodwracalnych.

Ryszard Mrugała
Przemysław Staszewski

I.P. Zieliński (1926–1991)

Dnia 3 marca 1991 zmarł Iwo Przemysław Zieliński, profesor w Instytucie Problemów Jądrowych.

Zieliński urodził się 15 maja 1926 w Kozowej, woj. tarnowskie. Fizykę studiował na uniwersytetach Poznańskim, Jagiellońskim i Warszawskim. W 1957 r. uzyskał stopień kandydata nauk fizycznych na podstawie pracy z teorii jądra atomowego, a w 1972 r. tytuł profesora nadzwyczajnego. Działalność naukowa Zielińskiego związana była z fizyką jądrową wysokich energii i fizyką cząstek elementarnych.

Nie unikał też brania odpowiedzialności za szersze rozwijanie fizyki w Polsce. W latach 1975–77 był członkiem Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Był redaktorem naczelnym naszego czasopisma w latach 1973–78.

Obszerniejsze wspomnienie zamieścimy w jednym z następných zeszytów.

Nowe Książki

- A. W. Astrochow, Ju. M. Szirokow, *Kurs fizyki*, tom 2 *Pole elektromagnetyczne*, WNT, Warszawa 1990, nakład 2800 egz., s. 464.
- L. Hozer, *Półprzewodnikowe materiały ceramiczne z aktywnymi granicami ziaren*, PWN, Warszawa 1990, nakład 680 egz., s. 291.
- Z. Jarzębski, *Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna*, PWN, Warszawa 1990, s. 376.
- S. M. Koziel (red.), *Zbiór zadań z fizyki*, z j. rosyjskiego tłum. A. Szemberg i L. Skubiszak, PWN, Warszawa 1990, s. 403.
- J. Orear, *Fizyka*, przekład z j. angielskiego, WNT, Warszawa 1990, tom 1 s. 352, tom 2 s. 249.
- H. Piersa, *Symetria i jej funkcje poznawcze w fizyce*, Wydawnictwo KUL, Lublin 1990, s. 257.
- M. Heller, *Osobliwy Wszechświat*, PWN, Warszawa 1991, s. 308, cena 22.000 zł.
- E. Leader, E. Predazzi, *Wstęp do teorii oddziaływań kwarków i leptonów*, z j. angielskiego tłum. R. Budzyński, PWN, Warszawa 1991, s. 527, cena 45.000 zł.
- N. G. van Kampen, *Stochastyczne procesy w fizyce i chemii*, z j. angielskiego tłum. D. Śledziwska-Błocka, M. Ekiel-Jeżewska i M. Dudyński, PWN, Warszawa 1991, s. 371, cena 35.000 zł.

SPIS TREŚCI

Igor Kosacki — Fizyka i zastosowanie kryształów superjonowych $Cd_{1-x}Pb_xF_2$	245
Dennis L. Matthews, Mordecai D. Rosen — Lasery miękkiego promieniowania rentgenowskiego	271
Bruno Lengeler — Absorpcja i odbicie promieni X: nowe sondy w fizyce ciała stałego	289
WSPOMNIENIA-ROCZNICE	
Ewa Dębowska, Waclaw Świątkowski — Pamięci Profesora Bronisława Rozenfelda	303
ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOLACH WYŻSZYCH	
Henryk Szydłowski, Roman Smuszkiewicz — Skomputeryzowane stanowisko do pomiaru przewodnictwa cieplnego dla Pracowni Fizycznej I	335
ROZMOWA	
Na pograniczu fizyki i chemii — Rozmowa z Józefem Hurwicem	313
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	343
RECENZJE	347
KRONIKA	355

CONTENTS

Igor Kosacki — Physics and applications of $Cd_{1-x}Pb_xF_2$ superionic crystals	245
Dennis L. Matthews, Mordecai D. Rosen — Soft-X-ray lasers	271
Bruno Lengeler — X-Ray absorption and reflection: new probes in solid state research	289
RECOLLECTIONS-ANNIVERSARIES	
Ewa Dębowska, Waclaw Świątkowski — Recollections of Professor Bronislaw Rozenfeld (1922-1990)	303
PROBLEMS OF TEACHING PHYSICS IN ACADEMIC SCHOOLS	
Henryk Szydłowski, Roman Smuszkiewicz — On line measurement of the thermal conductivity coefficient in the physics laboratory for students	335
DEBATES	
At the interface of physics and chemistry - an interview with Professor Hurwic	313
MEETINGS AND CONFERENCES	343
REVIEWS	347
CHRONICLE	355