

PTF

DWUMIESIĘCZNIK
POŚWIĘCONY
UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY
FIZYCZNEJ

POSTĘPY FIZYKI

TOM 48
ZESZYT 2
1997

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

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

Redaktorzy naczelni czasopism PTF

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

Przewodniczący Oddziałów Towarzystwa

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

ADRES ZARZĄDU

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

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ

TOM 48, ZESZYT 2
1997

Zeszyt dofinansowany
przez Komitet Badań Naukowych

Wydano pod patronatem
Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Warszawa 1997

RADA REDAKCYJNA

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

KOMITET REDAKCYJNY

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

Adres Redakcji: ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa
adres elektroniczny: postepy@fuw.edu.pl

Korespondenci Oddziałów PTF:

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

Stanisław Kryszewski

*Institut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki
Uniwersytet Gdański
Gdańsk*

Sonoluminescencja: piekło w bąbelku

Sonoluminescence: an inferno in a bubble

Abstract: Light emission from a single air bubble which is suspended in water and subjected to an acoustic wave is called sonoluminescence – change of sound into light. The center of the bubble is at rest with respect to water because acoustical pressure equals the buoyant force. The pressure variations which are due to the acoustic wave force periodic contraction and expansion of the bubble. During the maximum contraction the bubble emits a light burst which lasts less than several tens of picoseconds. The emitted light possesses spectral characteristics closely resembling those of the black-body radiation. Sonoluminescence was observed only in water and in mixture of water with glycerin. Moreover, the intensity of the emitted light pulse depends on the chemical composition of gas inside the bubble. Physical mechanisms responsible for such a behaviour are still largely unknown. The aim of this review is to present the research results published so far, to discuss the theoretical attempts to explain sonoluminescence and to indicate some of the possible paths for further research which may give an explanation of the phenomenon of sonoluminescence.

Periodic oscillations of the bubble radius are described with the aid of hydrodynamical methods. The theoretically obtained results are in good agreement with experiment although there are still many unclear points or unanswered questions. Hydrodynamical description of the evolution of bubble radius is a basis for theoretical investigations aimed at finding an explanation of mechanisms governing the emission of sonoluminescence light. Several approaches based on different physical premises are presented and discussed. It seems that there is as yet no theory which can give a satisfactory description of sonoluminescence. Some other possibilities which may lead to fuller understanding of the effect are also presented. Finally, some potential applications are briefly discussed.

1. Sonoluminescencja – przemiana dźwięku w światło

W zaciemnionym pokoju, w stojącym na stole naczyniu wielkości zwykłej szklanki, świeci mała, widoczna gołym okiem gwiazdka. Nawet przez słabą lupę gwiazdka jest całkiem wyraźna, świeci biało-niebieskim światłem. Jest to mały pęcherzyk powietrza zawieszony w wodzie (tzw. pęcherzyk kawitacyjny), poddany działaniu fali akustycznej rozprzestrzeniającej się w naczyniu. Siłę wyporu, unoszącą pęcherzyk do góry, równoważy ciśnienie promieniowania fali akustycznej. Pęcherzyk jest stosunkowo stabilny, nietrudno go utrzymać przez wiele minut, a nawet godzin. Tak w skrócie wygląda prosty, laboratoryjny pokaz zjawiska sonoluminescencji – przemiany dźwięku w światło. Choć ten pobieżny opis jest rzeczywiście prosty, samo zjawisko rządzi się całkiem skomplikowanymi prawami i wiele jego aspektów pozostaje nadal niewyjaśnionych.

Zjawisko sonoluminescencji – świecenia pęcherzyków kawitacyjnych tworzonych w wodzie przez falę akustyczną – odkryto już w latach trzydziestych [1,2], lecz dopiero ostatnio rozpoczęto jego bardziej dokładne badania. Udało się odkryć niektóre z ciekawych własności zjawiska, jednak liczba nowych pytań i problemów zamiast maleć wzrosła. Zdano sobie również sprawę z potencjału tkwiącego w sonoluminescencji. Fala akustyczna powoduje okresowe oscylacje rozmiarów pęcherzyka, przy czym zachowana jest jego symetria sferyczna. Zmiana rozmiarów o kilka rzędów wielkości może prowadzić do niezwyklej zmiany gęstości energii, nawet o 12 rzędów wielkości. Takie możliwości budzą ogromne zainteresowanie, głównie w odniesieniu do sonochemii, a także jako możliwość wywołania i badania reakcji syntezy termojądrowej.

W cieczy poddanej działaniu fali akustycznej o dostatecznie wysokim ciśnieniu lokalnym, powstają pęcherzyki kawitacyjne. Jeśli procesy kawitacyjne są odpowiednio intensywne, to pęcherzyki mogą świecić. Proces ten jest nazywany sonoluminescencją wielopęcherzykową (multiple bubble sonoluminescence – MBSL). Badanie tego zjawiska jest jednak bardzo trudne. W procesie kawitacji tworzy się bardzo wiele pęcherzyków o różnych rozmiarach i różnej gęstości lokalnej, które mogą na dodatek wzajemnie oddziaływać. Powstawanie i dynamika takich pęcherzyków mają charakter statystyczny, a więc badanie procesów zachodzących wewnątrz pęcherzyków (a te właśnie są odpowiedzialne za świecenie) jest bardzo trudne, o ile w ogóle możliwe. Co więcej, skala przestrzenna zjawiska jest rzędu mikronów, zaś skala czasowa rzędu nanosekund. Z tych właśnie przyczyn przez ok. 50 lat sonoluminescencja nie była szczegółowo badana, oczywiście bowiem było, że do poważnych i dokładnych badań niezbędne jest otrzymanie pojedynczego pęcherzyka.

W roku 1988 Felipe Gaitan po wielu próbach ustalił warunki, w których możliwe jest otrzymanie pojedynczego, stabilnego pęcherzyka. Historię tych wysiłków przedstawił L.A. Crum w artykule przeglądowym, opublikowanym w 1994 r. [1]. Dzisiaj, w świetle wyników uzyskanych przez Gaitana, sytuacja jest już znacznie prostsza. Pęcherzyk powietrza można po prostu wstrzyknąć do wody zwykłą strzykawką. Jednak fala akustyczna musi mieć odpowiednio dobraną częstotliwość i natężenie. Stabilny pęcherzyk powietrza otrzymuje się dla fal o częstotliwości ok. 25 kHz, a więc nieco powyżej pasma słyszalności. Natężenie fali musi być duże, około 110 decybeli, co odpowiada amplitudzie lokalnego ciśnienia ok. 1.3 atmosfery. Przy tak dobranych warunkach pęcherzyk „wisi” w wodzie pomiędzy węzłem a strzałką fali akustycznej, dlatego też ciśnienie promieniowania akustycznego równoważy siłę wyporu. Oczywiście jest, że okresowe zmiany lokalnego ciśnienia wymuszają będą oscylacje rozmiarów pęcherzyka. Stabilność pęcherzyka oznacza tutaj fakt, że pomimo zmiennego w czasie promienia pozostaje on nieruchomy względem otaczającej go wody. Przedział ciśnień, dla których zachodzi zjawisko, jest stosunkowo wąski. Stabilizację pęcherzyka, a także sonoluminescencję można uzyskać przy amplitudzie ciśnienia ok. 1.1 atm; gdy natężenie fali rośnie, świecenie pęcherzyka staje się coraz bardziej intensywne, lecz przy ciśnieniu ok. 1.5 atmosfery świecący pęcherzyk nagle znika.

Dynamika pęcherzyka jest, jak się okazuje, skomplikowana. Nietrudno jest doświadczalnie zbadać, jak jego promień R zmienia się w czasie. Za pomocą lasera oświetla się pęcherzyk, a następnie bada światło rozproszone. Ze względu na symetrię sferyczną pęcherzyka można zastosować dobrze znane algorytmy dla rozpraszania Miego (tzn. dla rozpraszania światła na małych, sferycznie symetrycznych obiektach dielektrycznych). Pozwala to wyznaczyć poszukiwaną zależność $R = R(t)$. Uzyskana zależność jest silnie asymetryczna. Sugeruje to, że istotną rolę odgrywać muszą procesy dyfuzyjne. Gdy pęcherzyk rozszerza się, gazy rozpuszczone w wodzie dyfundują do wnętrza; na odwrót, w fazie sprężania gazy z pęcherzyka dyfundują do otaczającej go wody. Jeśli fazy kurczenia się i rozszerzania się pęcherzyka trwają równie długo, to procesy dyfuzyjne wzajemnie się równoważą. Oczekiwać należy, że ze względu na napięcie powierzchniowe pęcherzyk powinien szybko zanikać – rozpuszczać się w wodzie. Tak się jednak nie dzieje. Proces rozszerzania się trwa znacznie dłużej niż sprężanie, a więc pęcherzyk powinien rosnąć. Wzrost pęcherzyka prowadzi do niestabilności i w konsekwencji do jego zaniku. Tak więc do stabilizacji procesu konieczne jest odgazowanie wody. Zrównoważenie procesów dyfuzyjnych wymaga zatem dopasowania dwóch parametrów – koncentracji gazów rozpuszczonych w wodzie i amplitudy ciśnienia akustycznego, wymuszającego oscylacje rozmiarów pęcherzyka. Sugerować by to mogło, że otrzymany pęcherzyk znajduje się w mocno nietrwałej równowadze.

Chociaż „okienko” warunków niezbędnych do stabilizacji jest wąskie, to jednak równowaga nie jest nietrwała. Wynika to zapewne z silnie nieliniowej reakcji pęcherzyka na warunki doświadczenia.

Pojedynczy, świecący pęcherzyk można więc otrzymać, i to tak, że stabilnie świeci przez wiele godzin. Warto w tym miejscu stwierdzić, że udało się tego dokonać jedynie w wodzie i w mieszaninie wody z gliceryną. W zasadzie nie ma żadnych powodów, dla których sonoluminescencja nie mogłaby zachodzić w innych cieczach. Jest to jeden z tajemniczych, do tej pory niezrozumiałych aspektów zjawiska. Być może przyczyną tej sytuacji jest anomalnie niska rozpuszczalność powietrza w wodzie. Dwusiarczek węgla (CS_2), następną w kolejności ciecz, charakteryzuje się blisko 30-krotnie lepszą rozpuszczalnością powietrza.

Obserwowany gołym okiem pęcherzyk świeci równomiernie; nie jest możliwe rozróżnienie błysków światła wymuszanych z częstością 25 kHz. Przy zastosowaniu odpowiednich metod pomiarowych nietrudno rejestrować pojedyncze błyski. I tu pojawia się następna zagadkowa własność sonoluminescencji. Seth Putterman i jego współpracownicy [3] chcieli zmierzyć czas trwania błysku. Czas ten okazał się mniejszy niż czasy rozdzielczości stosowanych fotopowielaczy, otrzymano więc jedynie oszacowanie z góry. Błysk sonoluminescencji trwa krócej niż 50 pikosekund. Spotkać jednak można oszacowania jeszcze ostrzejsze. Wydaje się, że nawet 10 ps może być oszacowaniem wygórowanym. Ta niezwykła własność światła sonoluminescencji nadal oczekuje na wyjaśnienie. W dalszym ciągu tego artykułu spróbuję przedstawić niektóre z prób teoretycznego wyjaśnienia tego zdumiewającego zjawiska.

Następnym niezrozumiałym aspektem zjawiska jest widmo światła sonoluminescencji. Trudno jest je mierzyć ze względu na bardzo istotny wpływ otaczającej cieczy. Nie można dokonać pomiarów w zakresie nadfioletu ze względu na silne pochłanianie w wodzie. Otrzymane widmo, choć niepełne (obcięte na granicy nadfioletu, który woda silnie pochłania), dobrze pokrywa się z widmem promieniowania ciała doskonale czarnego. Dopasowanie takiego widma do widma sonoluminescencji pozwala na oszacowanie temperatury gazu w pęcherzyku. Otrzymuje się temperatury rzędu 20 000 K, co o tyle nie jest zaskoczeniem, że oczekujemy w fazie maksymalnego sprężenia pęcherzyka dużej koncentracji energii. Jednak i w tym wypadku pojawiają się zagadki. Badania światła sonoluminescencji z pęcherzyków wypełnionych azotem, tlenem lub mieszaniną tlenu z azotem w proporcji 1 : 4 pozwoliły stwierdzić, że we wszystkich tych przypadkach efektu albo wcale nie ma, albo też jest znacznie słabszy. Dopiero nieznaczna domieszka gazu szlachetnego ponownie „uaktywnia” sonoluminescencję, choć charakterystyki widmowe są nieco inne dla helu, argonu i ksenonu. Obecność nieznacznej domieszki gazu szlachetnego jest więc kluczowa dla otrzymania

względnie silnego światła sonoluminescencji. Dlatego jednak tak jest – nie wiadomo. Z tego ogólnego omówienia zjawiska sonoluminescencji jasno widać, jak wiele pytań pozostaje nadal bez odpowiedzi. W dalszym ciągu omówię to zjawisko i jego przebieg nieco bardziej szczegółowo. Postaram się też pokrócie przedstawić próby jego teoretycznego opisu, pozwalające poszukiwać różnych sposobów wyjaśnienia mechanizmów rządzących sonoluminescencją, a także wyjaśnić zdumiewające własności emitowanych błysków światła.

2. Dynamika pęcherzyka

Klasyczna hydrodynamika dobrze opisuje zachowanie się pęcherzyków kawitacyjnych w cieczach. Analiza zjawiska sonoluminescencji musi oczywiście wykraczać poza hydrodynamikę, ponieważ ta ostatnia nie zawiera w sobie żadnego mechanizmu, pozwalającego wyjaśnić proces emisji światła. Dlatego też analiza teoretyczna biegnie dwutorowo. Po pierwsze, w ramach hydrodynamiki poszukuje się sposobu opisu zachowania się pęcherzyka, zaniebdując przy tym zjawiska zachodzące wewnątrz niego, a prowadzące do emisji błysków światła. Z drugiej zaś strony, badając zjawiska zachodzące wewnątrz pęcherzyka można przyjąć, że ewolucja w czasie rozmiarów pęcherzyka, a ściślej zależność promienia od czasu, jest znana. Przy określonej postaci funkcji $R = R(t)$ można analizować zjawiska zachodzące w pęcherzyku i prowadzące do emisji błysków sonoluminescencji. Jak się wydaje, jednolita teoria łącząca oba zasadnicze aspekty zjawiska jest jeszcze odległa. Dlatego też przedstawie oddzielnie przebieg zjawiska w sensie dynamiki pęcherzyka, tak jak to wynika z podejścia hydrodynamicznego, następnie zaś spróbuję omówić możliwe mechanizmy rządzące procesami emisji światła, a także próby ich teoretycznego opisu.

Najbardziej pełny opis hydrodynamiczny pęcherzyka świecącego światłem sonoluminescencji przedstawił Seth Puterman wraz ze współpracownikami [3]. Rozważania swoje autorzy ci oparli na dobrze znanej teorii kawitacji, którą zapoczątkował lord Rayleigh w początku naszego wieku. Silnie nieliniowe równanie Rayleigha-Plesseta pozwala wyznaczyć zależność promienia pęcherzyka od czasu. Wyprowadzenie tego równania wymaga wielu przybliżeń upraszczających. Najważniejsze z nich polega na założeniu, że liczba Macha (iloraz prędkości amplitudy fali akustycznej i prędkości dźwięku w ośrodku) musi być mała. Hydrodynamiczne równanie opisujące zależność $R = R(t)$ zawiera zależne od czasu ciśnienie fali akustycznej, które przyjmuje się w prostej, sinusoidalnej postaci, a także ciśnienie gazu wewnątrz pęcherzyka. Puterman zakłada, że gaz w pęcherzyku zachowuje się w sposób adiabatyczny. Objętość dostępna dla gazu jest jednak

względnie silnego światła sonoluminescencji. Dlaczego jednak tak jest – nie wiadomo.

Z tego ogólnego omówienia zjawiska sonoluminescencji jasno widać, jak wiele pytań pozostaje nadal bez odpowiedzi. W dalszym ciągu omówię to zjawisko i jego przebieg nieco bardziej szczegółowo. Postaram się też pokrótce przedstawić próby jego teoretycznego opisu, pozwalające poszukiwać różnych sposobów wyjaśnienia mechanizmów rządzących sonoluminescencją, a także wyjaśnić zdumiewające własności emitowanych błysków światła.

2. Dynamika pęcherzyka

Klasyczna hydrodynamika dobrze opisuje zachowanie się pęcherzyków kawitacyjnych w cieczach. Analiza zjawiska sonoluminescencji musi oczywiście wykraczać poza hydrodynamikę, ponieważ ta ostatnia nie zawiera w sobie żadnego mechanizmu, pozwalającego wyjaśnić proces emisji światła. Dlatego też analiza teoretyczna biegnie dwutorowo. Po pierwsze, w ramach hydrodynamiki poszukuje się sposobu opisu zachowania się pęcherzyka, zanedbując przy tym zjawiska zachodzące wewnątrz niego, a prowadzące do emisji błysków światła. Z drugiej zaś strony, badając zjawiska zachodzące wewnątrz pęcherzyka można przyjąć, że ewolucja w czasie rozmiarów pęcherzyka, a ściśle zależność promienia od czasu, jest znana. Przy określonej postaci funkcji $R = R(t)$ można analizować zjawiska zachodzące w pęcherzyku i prowadzące do emisji błysków sonoluminescencji. Jak się wydaje, jednolita teoria łącząca oba zasadnicze aspekty zjawiska jest jeszcze odległa. Dlatego też przedstawię oddzielnie przebieg zjawiska w sensie dynamiki pęcherzyka, tak jak to wynika z podejścia hydrodynamicznego, następnie zaś spróbuję omówić możliwe mechanizmy rządzące procesami emisji światła, a także próby ich teoretycznego opisu.

Najbardziej pełny opis hydrodynamiczny pęcherzyka świecącego światłem sonoluminescencji przedstawił Seth Putterman wraz ze współpracownikami [3]. Rozważania swoje autorzy ci oparli na dobrze znanej teorii kawitacji, którą zapoczątkował lord Rayleigh w początku naszego wieku. Silnie nieliniowe równanie Rayleigha-Plesseta pozwala wyznaczyć zależność promienia pęcherzyka od czasu. Wyprowadzenie tego równania wymaga wielu przybliżeń upraszczających. Najważniejsze z nich polega na założeniu, że liczba Macha (iloraz prędkości amplitudy fali akustycznej i prędkości dźwięku w ośrodku) musi być mała. Hydrodynamiczne równanie opisujące zależność $R = R(t)$ zawiera zależne od czasu ciśnienie fali akustycznej, które przyjmuje się w prostej, sinusoidalnej postaci, a także ciśnienie gazu wewnątrz pęcherzyka. Putterman zakłada, że gaz w pęcherzyku zachowuje się w sposób adiabatyczny. Objętość dostępna dla gazu jest jednak

zmniejszona o „rdzeń” typu van der waalsowskiego, natomiast ciśnienie gazu jest stałe w całej objętości pęcherzyka, tzn. nie zależy od odległości od środka. Co więcej, przyjmuje się, że liczba cząsteczek gazu w pęcherzyku jest stała, a więc nie uwzględnia się procesów parowania, kondensacji, czy też dyfuzji.

Tak prosty model, mimo wielu ograniczeń, które dalej omówię, daje bardzo dobrą zgodność z doświadczeniem. Rozprężanie pęcherzyka, czyli wzrost jego promienia, jest powolne i zachodzi wtedy, gdy fala akustyczna powoduje lokalne rozrzedzenie ośrodka. Rosnące ciśnienie zewnętrzne i bezwładność gazu powodują, że wzrost promienia zostaje zatrzymany. Pęcherzyk osiąga swój maksymalny promień $R_{\max} \approx 50 \mu\text{m}$ prawie równocześnie z zerem amplitudy fali akustycznej. Gdy fala akustyczna wymusza lokalne zgęszczenie wody, pęcherzyk gwałtownie się kurczy i jego promień spada do $R_{\min} \approx 4 \mu\text{m}$, co jest wielkością bliską rozmiarów van der waalsowskiego rdzenia. Silny wzrost ciśnienia gazu wewnątrz pęcherzyka oczywiście uniemożliwia dalsze zmniejszanie się jego rozmiarów. Po, jak się wydaje, silnie nieliniowych małych oscylacjach proces powtarza się cyklicznie. Warto zauważyć, że podczas rozszerzania się pęcherzyk pochłania energię z fali akustycznej, wymuszającej jego oscylacje.

Jeżeli amplituda ciśnienia akustycznego jest stosunkowo mała (rzędu 1 atm, lub nieco mniej), wówczas pęcherzyk przechodzi cały cykl rozszerzania i kurczenia się. Pochłaniana energia jest jednak niewielka, szybkie oscylacje po skurczeniu się pęcherzyka mają stosunkowo dużą amplitudę i nie obserwujemy światła sonoluminescencji. Gdy ciśnienie akustyczne osiągnie progową wartość około 1.1 atm, pęcherzyk przechodzi do stanu, w którym występuje błysk światła w fazie maksymalnego sprężenia. Powstają warunki właściwe dla sonoluminescencji. W czasie kurczenia się pęcherzyka następuje gwałtowny wzrost gęstości energii, która jest (przynajmniej częściowo) wyemitowana w postaci błysku światła sonoluminescencji, zachodzącego w chwili maksymalnego sprężenia. Przy dalszym wzroście ciśnienia akustycznego amplituda zmian promienia pęcherzyka rośnie i wzrasta też natężenie światła sonoluminescencji. Przy jeszcze dalszym wzroście amplitudy ciśnienia fali akustycznej (około 1.5 atm) pęcherzyk przestaje świecić, staje się niestabilny i szybko znika. Przedział ciśnień, w którym możliwa jest widoczna gołym okiem sonoluminescencja, jest więc stosunkowo wąski.

Porównanie przyspieszeń rozszerzania i kurczenia się pęcherzyka prowadzi do związku $\ddot{R}_{\min}/\ddot{R}_{\max} \sim 10^{10}$. Bardzo silna asymetria obu faz ewolucji pęcherzyka jest więc oczywista. Jednocześnie w okolicach minimum załamuje się przybliżenie małych liczb Macha. Putterman przeprowadził bardzo dokładną analizę $R(t)$ w okolicach minimum i stwierdził, że warunek niewielkiej wartości liczby Macha nie jest spełniony tylko dla 0.03% czasu trwania jednego cyklu akustycznego. Asymetria zależności $R(t)$ sprawia, że w czasie stosunkowo długo trwającej fazy

rozszerzania się nieco więcej gazu dyfunduje do pęcherzyka z wody, niż wydyfundowuje w fazie kurczenia się. Proces ten kompensuje ubytek gazu w wyniku rozpuszczania się w wodzie. Gdyby nie było asymetrii faz rozszerzania i kurczenia się, pęcherzyk rozpuściłby się w wodzie w ciągu co najwyżej kilku sekund. Dzięki nieliniowości i asymetrii procesu pęcherzyk jest stabilny i utrzymuje się dowolnie długo. Niezależnie od tego, jakie procesy transportu masy zachodzą w ciągu jednego okresu, całkowity bilans musi być zerowy, o czym zresztą świadczy stabilność pęcherzyka. Dlatego też, choć omawiany wyżej model hydrodynamiczny nie uwzględnia transferu masy pomiędzy wodą a gazem w pęcherzyku, to jednak prowadzi do dobrej zgodności z doświadczeniem.

Model hydrodynamiczny zaproponowany przez Puttermana dobrze opisuje dynamikę pęcherzyka. Teoretyczne przewidywania zależności $R = R(t)$ zgadzają się z danymi doświadczalnymi otrzymanymi poprzez analizę światła laserowego rozproszonego na pęcherzyku. Model ten jednak nie wyjaśnia mechanizmów świecenia, a w szczególności przejścia (przy ciśnieniu 1.1 atm) oscylacji $R(t)$ bez emisji światła do stanu sonoluminescencji. Być może przy wspomnianym ciśnieniu następuje wymiana zawartości pęcherzyka z powietrza na parę wodną, co powoduje jakościową zmianę polegającą na rozpoczęciu się świecenia.

Co więcej, model Puttermana opiera się na bardzo prostych założeniach natury termodynamicznej. Nie jest jasne, czy przy bardzo dużym sprężeniu pęcherzyka nadal stosuje się pojęcie temperatury. Procesy, które zachodzą wewnątrz pęcherzyka i są przyczyną błysków sonoluminescencji, mogą być silnie nierównowagowe. Może to prowadzić do procesów konwekcyjnych, związanych z nieznikającymi gradientami temperatury (o ile to pojęcie ma sens), do efektów związanych z transportem ciepła w obrębie pęcherzyka. Przyjmując jednak najprostszy model można temperaturę oszacować (bez wnikanía, czy ma to sens). Otrzymuje się wówczas wartości rzędu 10^4 K.

Ważnym aspektem badań Puttermana jest stwierdzenie, że – jak wspomniałem wyżej – w kluczowym momencie maksymalnego sprężenia pęcherzyka liczba Macha może przekroczyć wartość jeden. Sugeruje to, że przy analizie zjawisk zachodzących wewnątrz pęcherzyka istotne znaczenie mogą mieć fale uderzeniowe. Fale takie mogą powodować ogromne ciśnienia i temperatury; odpowiednie oszacowanie prowadzi do wyniku jeszcze bardziej niezwykłego, a mianowicie otrzymuje się wartości rzędu 10^5 K. Być może fale uderzeniowe odgrywają kluczową rolę przy wymuszaniu emisji światła. Ze względu na bardzo małe rozmiary pęcherzyka czasy implozji, a potem eksplozji fal uderzeniowych mogą być niezmiernie krótkie. Możliwość tę na pewno trzeba brać pod uwagę przy poszukiwaniu mechanizmów warunkujących powstawanie błysków światła sonoluminescencji.

Model hydrodynamiczny opracowany przez Puttermana wymaga pewnych uzupełnień i rozszerzeń, np. w kierunku zmierzającym do uwzględnienia wymiany masy pomiędzy otaczającą wodą a gazami zawartymi wewnątrz pęcherzyka. Jednak mimo wspomnianych niedoskonałości daje on sensowny i zgodny z doświadczeniem opis zmienności $R(t)$ – promienia pęcherzyka w funkcji czasu. Z drugiej jednak strony, wiele pytań pozostawia bez odpowiedzi, a także nie pozwala na wyjaśnienie, dlaczego pęcherzyk świeci.

3. Światło sonoluminescencji

Błysk sonoluminescencji następuje w chwili maksymalnego sprężenia pęcherzyka. Jest on bardzo krótki, trwa mniej niż kilkadziesiąt, a może nawet kilkanaście pikosekund. Natomiast gwałtowny skok temperatury i faza tego sprężenia są opisywane w skali nanosekund. Krótkotrwałość błysku sonoluminescencji jest chyba najbardziej niezwykłą i najmniej zrozumiałą własnością zjawiska. O próbach wyjaśnieniach tego zjawiska będę mówił później, gdy przedstawię prace teoretyczne, zmierzające do uzyskania zadowalającego opisu sonoluminescencji.

Widmo światła sonoluminescencji pojedynczego pęcherzyka jest także warte uwagi. Jak wspomniałem we wstępie, sonoluminescencja może zachodzić w przypadku powstawania wielu pęcherzyków kawitacyjnych. Sonoluminescencję wielopęcherzykową otrzymano w wielu cieczach, między innymi w cieczach organicznych. Uzyskane wówczas widma mają serię charakterystycznych maksimów, które można przypisać określonym rodnikom organicznym. Przykłady takich widm są przedstawione w przeglądowej pracy L. Cruma [1]. Widmo sonoluminescencji wielopęcherzykowej w wodzie ma ostre maksimum, odpowiadające wolnemu rodnikowi OH, który powstaje w wysokich temperaturach, charakteryzujących świecące pęcherzyki.

Pomiary widma sonoluminescencji z pojedynczego pęcherzyka są ograniczone przez silne pochłanianie nadfioletu w wodzie, a w innych cieczach nie udało się w ogóle zarejestrować widma. Widmo sonoluminescencji z pojedynczego pęcherzyka ma całkiem inny charakter niż widma uzyskane dla wielu pęcherzyków. Widma uzyskane dla jednego pęcherzyka są zastanawiająco gładkie, nie mają maksimów typowych dla sytuacji wielopęcherzykowej. Kształt widma zmierzonego jest bardzo bliski widmu promieniowania ciała doskonale czarnego. Dopasowanie odpowiednich krzywych prowadzi do oszacowania temperatury w pęcherzyku na około 3×10^4 K, oczywiście jeśli przyjmiemy, że wiadomo, czym jest temperatura zmierzona w czasie rzędu 50 ps. Nie jest do końca jasne, czy widmo sonoluminescencji pojedynczego pęcherzyka ma maksimum dla fal o długości około 210 nm, czy też pochłanianie w wodzie „obcina” widmo. Co więcej,

zarówno widmo, jak i natężenie światła sonoluminescencji jest silnie zależne od składu mieszaniny gazów tworzących pęcherzyk. Wskazuje to, że w pęcherzyku zachodzą złożone reakcje fizykochemiczne.

Warto zwrócić uwagę na jeszcze jedną własność światła sonoluminescencji. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że światło sonoluminescencji jest izotropowe, to znaczy jego natężenie jest jednakowe we wszystkich kierunkach. Oczywiście, pomiary kierunkowego rozkładu promieniowania światła sonoluminescencji są trudne ze względu na pochłanianie przez wodę, a także ze względu na trudność umieszczenia pęcherzyka w centrum naczynia. Ostatnio pojawiły się w literaturze przedmiotu sygnały, że promieniowanie sonoluminescencji nie jest jednak ściśle izotropowe. Kierunek fali akustycznej wymuszającej oscylacje promienia pęcherzyka wyznacza oś, która przechodząc przez środek pęcherzyka narzuca symetrię osiową. Asymetria rozkładu promieniowania nie jest więc wielkim zaskoczeniem. Jednakże, tak jak w odniesieniu do innych własności światła sonoluminescencji, i tutaj brak jest zadowalającego wyjaśnienia.

Kolejną zadziwiającą własnością światła sonoluminescencji jest bardzo ścisła okresowość kolejnych błysków. Ma to jednak miejsce tylko wtedy, gdy częstość fali akustycznej jest dostrojona do częstości rezonansowej naczynia z wodą. Nawet nieznaczne odchylenie od rezonansu zakłóca doskonałą okresowość błysków. Dokładna analiza czasów pomiędzy błyskami wykazuje wtedy, że okres się podwaja, staje się kwaziokresowy, czy nawet (przy większych odchyleniach od rezonansu) wykazuje własności chaotyczne. Zachowanie takie można zapewne przypisać silnej nieliniowości procesów rządzących zjawiskiem. „Okienko” niezwyklej stabilności sonoluminescencji jest stosunkowo wąskie. Poza tym okienkiem mamy do czynienia ze zjawiskami o charakterze chaotycznym, co ze względu na nieliniowe zależności nie jest wielkim zaskoczeniem. Mechanizm niezwyklej ścisłej okresowości zjawiska jest jednak nieznan.

4. Próby wyjaśnienia

Z powyższej dyskusji jasno widać, że wiele już wiadomo o przebiegu zjawiska sonoluminescencji: jak zachowuje się pęcherzyk, jakie są własności światła wypromieniowanego przez pęcherzyk, którego promień oscyluje dzięki wymuszaniu przez falę akustyczną. Brakuje natomiast argumentów pozwalających wyjaśnić, dlaczego dzieje się właśnie tak, a nie inaczej. Nie rozumiemy mechanizmów, które wywołują opisane zjawiska. Dlatego też celem tego artykułu jest przedstawienie dotychczas opublikowanych prac, których autorzy próbują znaleźć przynajmniej częściowe wyjaśnienia zjawiska sonoluminescencji. Próby wyjaśnienia są bardzo różnorodne, oparte na zupełnie odmiennych przesłankach fizycznych. Jest chyba

jednak rzeczą interesującą prześledzić – choćby w zarysie – proces poszukiwania wyjaśnienia, a następnie zrozumienia istoty tak prostego – mogłoby się zdawać – zjawiska, jakim jest sonoluminescencja.

Teoria hydrodynamiczna rozwinięta przez Puttermana i omówiona w skrócie wyżej zupełnie dobrze opisuje zachowanie pęcherzyka świecącego światłem sonoluminescencji, nie pozwala jednak ani na zadowalający opis, ani też na wyjaśnienie mechanizmów prowadzących do zjawiska sonoluminescencji. Teoria Puttermana dostarcza więc modelu pozwalającego przyjąć ewolucję promienia pęcherzyka zadaną przez funkcję $R = R(t)$ jako wielkość znaną, parametryzującą zjawiska zachodzące w obrębie świecącego pęcherzyka. Przy takim podejściu można się teraz skupić na tym, co warunkuje sonoluminescencję, a mechanizm wymuszający oscylacje pęcherzyka przyjąć za znany. Jest to oczywiście uproszczenie, choć wydaje się ono sensowne, przynajmniej przy poszukiwaniu „zerowego przybliżenia” dającego wstępny, czy też jakościowy, opis zjawiska sonoluminescencji.

Poszukiwania zmierzające do wyjaśnienia zjawiska sonoluminescencji biegają w różnych kierunkach i opierają się na różnorodnych przesłankach fizycznych. Właśnie ze względu na różnorodność podejść nie jest możliwe streszczenie wszystkich hipotez w kilku słowach. Trzeba każdą z nich omówić nieco szerzej.

Jedną z pierwszych hipotez mających prowadzić do wyjaśnienia zjawiska podał w serii prac J. Schwinger (odnośnik 13 w pracy [4]). Idea tej hipotezy opiera się na dynamicznym zjawisku Casimira. Chodzi tu o to, że obecność sferycznej wnęki w obrębie dielektryka powoduje wzrost energii w stosunku do dielektryka jednorodnego. Wobec tego zanik wnęki powoduje wyzwolenie energii, która może uzewnętrznąć się w postaci promieniowania. Oczywiście wnęka w obrębie dielektryka modeluje pęcherzyk w dielektryku – czyli w wodzie. Stosunkowo skomplikowane rozważania na gruncie elektrodynamiki kwantowej prowadzą do prostego wzoru na energię:

$$E = V \int \frac{d^3 \mathbf{k}}{(2\pi)^3} \frac{\hbar c k}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\epsilon}}\right), \quad (1)$$

gdzie V jest objętością wnęki (pęcherzyka), ϵ jest przenikalnością elektryczną dielektryka (wody), całkowanie zaś odbywa się po wszystkich możliwych wektorach falowych \mathbf{k} . Wzór (1) można łatwo zinterpretować jako uśrednioną po gęstości stanów różnicę zerowych energii próżni dla stanów o dużych wektorach falowych, gdzie swobodne fotony „nie zauważają” dielektryka ($\omega(k) \rightarrow ck$ dla $k \rightarrow \infty$) i stanów o małych wektorach falowych ($k \rightarrow 0$), dla których związek dyspersyjny zależy od współczynnika załamania $n = \sqrt{\epsilon}$, przy czym $\omega(k) = ck/n$. Oczywiście pojawia się tu problem rozbieżności całki. Aby tego uniknąć, konieczne jest wprowadzenie wektora falowego, dla którego można dokonać obcięcia (cutoff). Jest to

jednak procedura w jakiejś mierze arbitralna, a zatem niezadowolająca. Utrzymując powyższą, bardzo prostą interpretację można z drugiej strony oczekiwać, że realistyczne modele zależności współczynnika załamania od częstości pozwolą uźbieźnić całkę, sprowadzając do zera wyrażenie podcałkowe dla dostatecznie dużych wektorów falowych (spodziewamy się bowiem, że $n(k) \rightarrow 1$, gdy k jest duże). Niezależnie od wymienionych zastrzeżeń, taka analiza zjawiska sonoluminescencji budzi kontrowersje ze względu na niejednoznaczność procedury. Kontrowersje te wynikają przede wszystkim z faktu, że obliczenia na gruncie elektrodynamiki kwantowej zawierają dwa główne człony: objętościowy i powierzchniowy. Nie jest do końca jasne, który z tych członów (i przy jakich parametrach obciążenia) ma decydujące znaczenie. Tak więc kwantowo-elektrodynamiczna analiza zjawiska jest daleka od w pełni zadowolającego opisu zjawiska sonoluminescencji. Ponadto, nie licząc wspomnianych zastrzeżeń, analiza ta jest w gruncie rzeczy statyczna, bowiem rozważa sytuacje: pęcherzyk jest obecny – znika, oraz zakłada, że dielektryk (woda) jest jednorodny.

Inną analizę zjawiska sonoluminescencji przedstawiła Claudia Eberlein [4] w obszernej pracy opublikowanej w *Physical Review* w 1996 roku. Główna koncepcja tej pracy jest następująca. Na granicy dwóch dielektryków powstają fluktuacje próżni, które wzbudzają dwufotonowe stany wirtualne. (Nawiasem mówiąc, ze względu na warunki brzegowe dla pól na granicach dielektryków fluktuacje te prowadzą do fluktuacji momentów dipolowych w dielektrykach, co w konsekwencji przejawia się jako oddziaływanie van der Waalsa pomiędzy dwoma dielektrykami). Wiąże się to z fluktuacjami ciśnienia promieniowania. Gdy dielektryk jest w spoczynku, wówczas fluktuujące ciśnienie promieniowania po obu stronach granicy jest takie samo i efekt sumaryczny jest zerowy. Na mocy niezmienniczości lorentzowskiej nic się nie zmienia, gdy granica porusza się ruchem jednostajnym. Sytuacja ulega jednak zmianie, gdy granica pomiędzy dielektrykami porusza się nieinercjalnie, czyli z przyspieszeniem. Wtedy fluktuacje po obu stronach już się nie równoważą, stany wirtualne stają się realnymi, strata energii przez emisję par fotonów przejawia się jako tarcie radiacyjne. Efekt ten nosi nazwę zjawiska Unruha, który można uznać za dynamiczne uogólnienie efektu Casimira. Oryginalne stwierdzenie Unruha mówi, że zwierciadło poruszające się z przyspieszeniem a emituje fotony tak, jak ciało doskonale czarne o temperaturze $T = a\hbar/(2\pi ck_B)$. Dzieje się tak dlatego, że fotony są emitowane w skorelowanych parach, co z kolei prowadzi do stanów ścięśnionych (squeezed states) o termicznej charakterystyce widmowej.

Temperatura Unruha jest na ogół bardzo mała, bowiem trudno jest uzyskać wystarczająco duże przyspieszenia. Pęcherzyk sonoluminescencyjny w fazie maksymalnego sprężenia (a zatem i granica między dwoma ośrodkami) ma wielkie

chwilowe przyspieszenia. Tak więc można próbować tłumaczyć zjawisko sonoluminescencji poprzez omówione pokrótce zjawisko Unruha. W tym kierunku dążą badania Claudii Eberlein. Szczególnie atrakcyjna wydaje się tutaj możliwość wyjaśnienia niezmiernie krótkiego czasu trwania błysku. Czas korelacji pary fotonów w obrębie pęcherzyka o promieniu kilku mikrometrów może rzeczywiście być rzędu pikosekund, a to właśnie ten czas korelacji determinuje emisję lawiny fotonów powstałych w wyniku fluktuacji ciśnienia promieniowania.

Punktem wyjścia Claudii Eberlein jest klasyczna energia dielektryka poruszającego się z prędkością v , zapisana z dokładnością do członów pierwszego rzędu w v/c :

$$E = \int d\tau \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\mathbf{D}^2}{\varepsilon} + \mathbf{B}^2 \right) + \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \left(\frac{\mathbf{v}}{c} \right) \cdot (\mathbf{D} \times \mathbf{B}) \right], \quad (2)$$

gdzie \mathbf{D} i \mathbf{B} są indukcjami pól: elektrycznego i magnetycznego. Energia (2) jest traktowana jako hamiltonian pola elektromagnetycznego, który dalej bada się połączonymi metodami rachunku zaburzeń i przybliżenia adiabatycznego. To ostatnie jest potrzebne dlatego, że zależny od czasu promień pęcherzyka $R(t)$ występuje jako parametr określający przenikalność elektryczną $\varepsilon = 4/3$ w wodzie (na zewnątrz pęcherzyka) i $\varepsilon = 1$ wewnątrz. Pola są w odpowiedni sposób skwantowane (symetria sferyczna) i zapewnione jest spełnienie właściwych warunków brzegowych na powierzchni pęcherzyka. Następnie w pierwszym rzędzie rachunku zaburzeń (zaburzeniem jest drugi człon równania (2)) Eberlein oblicza amplitudę prawdopodobieństwa przejścia pola ze stanu próżni pola elektromagnetycznego (oznaczonego zerami) do stanu dwufotonowego (w którym dwa fotony, opisane częstościami i wektorami falowymi (ω, \mathbf{k}) oraz (ω', \mathbf{k}') , są skrótowo oznaczone przez k i k')

$$|\psi(t_0)\rangle = |0, 0; R_0\rangle \rightarrow |\psi(t)\rangle = |k, k'; R(t)\rangle, \quad (3)$$

przy czym promień pęcherzyka zmienia się od pewnej wartości początkowej R_0 do $R(t)$. Otrzymana amplituda prawdopodobieństwa wyraża się wzorem

$$C_{kk'}(t) = -\frac{1}{\omega + \omega'} \int_{t_0}^t d\tau \beta(\tau) \exp[i(\omega + \omega')(\tau - t_0)] \langle k, k'; R(\tau) | F_r | 0, 0; R(\tau) \rangle, \quad (4)$$

gdzie $\beta(t) = \dot{R}(t)/c$. W tym miejscu warto zwrócić uwagę na dwie sprawy. Po pierwsze, godny uwagi jest fakt, że uzyskana amplituda jest proporcjonalna do elementu macierzowego F_r – radialnej składowej siły działającej na granicy pomiędzy dielektrykami. Siła ta wynika zaś bezpośrednio z maxwellowskiego tensora napięć, dobrze znanego ze standardowego kursu elektrodynamiki: co więcej, siła

ta jest proporcjonalna do czynnika postaci

$$F_r \propto \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_w}\right) \quad (5)$$

(ε_w – przenikalność elektryczna wody). Otrzymana zależność (4) jasno wskazuje na sensowność interpretacji w języku fluktuacji ciśnienia promieniowania. Po drugie, zależny od czasu promień pęcherzyka wchodzi do wyrażenia (4) zarówno bezpośrednio, jak i poprzez zależną od odległości od środka pęcherzyka przenikalność elektryczną (a więc przez siłę F_r), a także przez stany dwufotonowe, sparametryzowane promieniem $R(t)$. Wymaga to nietrywialnych obliczeń, jak również konstrukcji bazy stanów za pomocą przybliżenia adiabatycznego. Model wprowadzony przez Claudię Eberlein skonstruowany jest więc na całej serii silnych przybliżeń. Pozwala jednak (w ramach tych przybliżeń) na uzyskanie jawnego wyrażenia dla amplitudy prawdopodobieństwa, opisanego formalnie przez wzór (4).

Całkując uzyskany wynik można obliczyć całkowitą wypromieniowaną energię W , a także odpowiednią gęstość spektralną $P(\omega)$, tj. widmo światła wypromieniowanego w czasie jednego błysku sonoluminescencji, a więc w czasie jednego okresu T fali akustycznej wymuszającej oscylacje promienia pęcherzyka. Uzyskane wyniki dla energii i widma

$$W = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} d\mathbf{k} \int_{-\infty}^{\infty} d\mathbf{k}' (\omega + \omega') |C_{\mathbf{k}\mathbf{k}'}(T)|^2, \quad (6)$$

$$P(\omega) = \omega^3 \oint d\Omega_{\mathbf{k}} \int_{-\infty}^{\infty} d\mathbf{k}' |C_{\mathbf{k}\mathbf{k}'}(T)|^2, \quad (7)$$

można łatwo wykorzystać po jawnym obliczeniu amplitudy prawdopodobieństwa (4).

Konkretne obliczenia, których wyniki dałoby się porównać z doświadczeniem, wymagają przyjęcia postulatu co do zależności $R(t)$. Eberlein przyjmuje niezmiernie proste modele, które pozwalają poprzez obliczenia numeryczne uzyskać oszacowania energii W i widma $P(\omega)$. Wielkości liczbowe, które otrzymuje autorka, wydają się sensowne i przynajmniej co do rzędów wielkości zgodne z doświadczeniem. Otrzymane widma mają charakter zaników wykładniczych, a więc przynajmniej jakościowo można je uznać za przybliżenia rozkładu widmowego ciała doskonale czarnego. Podsumowując, można stwierdzić, że model zaproponowany przez Claudię Eberlein dobrze przewiduje bardzo krótki czas trwania błysku sonoluminescencji (czas korelacji par fotonowych wewnątrz pęcherzyka), całkowitą wypromieniowaną energię, wykładniczo zanikające widmo. Ponadto w granicy

nadfioletowej woda praktycznie nie ma żadnej polaryzowalności. A zatem prawa strona wzoru (5) znika. Znika więc obliczony element macierzowy i po prostu w nadfiolecie nie ma promieniowania sonoluminescencji.

Mimo swej niewątpliwej atrakcyjności praca [4] budzi cały szereg wątpliwości. Chyba najważniejsza z nich polega na tym, że wyniki uzyskane przez Claudię Eberlein w żaden sposób nie zależą od składu chemicznego gazów, ani też od warunków termodynamicznych panujących wewnątrz pęcherzyka. Rezultaty doświadczeń wskazują, że natężenie i widmo światła sonoluminescencji silnie zależy od wspomnianych czynników. Elektrodynamiczna teoria Claudii Eberlein odpowiada temperaturze zera bezwzględnego, nie może więc opisywać zjawisk zależnych od parametrów termodynamicznych. Wątpliwości też budzi hamiltonian przyjęty w postaci (2), odpowiada on bowiem jednorodnemu dielektrykowi poruszającemu się ze stałą prędkością. Ponadto przyjęte modele $R(t)$ są całkiem arbitralne i nie widać ich związków z wynikami Puttermana omówionymi w poprzednim rozdziale. Co więcej, można podejrzewać, że inne modele $R(t)$ mogą doprowadzić do zupełnie innych kształtów widma. Ze względu na wymienione wątpliwości praca [4] nie może więc chyba być uznana za wyjaśnienie zjawiska sonoluminescencji.

Zdaniem autora niniejszego przeglądu, prace na gruncie elektrodynamiki kwantowej, poszukujące wyjaśnienia zjawiska sonoluminescencji w kontekście takich czy innych wariantów zjawiska Casimira (lub fluktuacji ciśnienia promieniowania), nie mogą prowadzić do pełnego wyjaśnienia sonoluminescencji. Być może omówione powyżej subtelne zjawiska kwantowe (lub jakieś jeszcze inne – im pokrewne) stanowią jeden z aspektów sonoluminescencji. Wydaje się jednak, że mechanizmów prowadzących do błysków sonoluminescencji szukać należy gdzie indziej. Oczywiście czas pokaże, czy to przeczcucie jest poprawne, czy też całkiem błędne.

Zupełnie inny charakter mają próby wyjaśnienia zjawiska sonoluminescencji wynikające z analizy zjawisk natury kinetyczno-hydrodynamicznej zachodzących wewnątrz pęcherzyka. Gwałtowne zapadanie się pęcherzyka prowadzi do wielkiego wzrostu ciśnienia i temperatury w jego wnętrzu. Wobec tego oczekiwać należy, że zderzenia międzycząsteczkowe będą zarówno znacznie częstsze, jak i bardziej intensywne. Energie dostępne w takich zderzeniach mogą być wystarczające do wzbudzenia przejść optycznych, a co za tym idzie, do wywołania świecenia gazów. Wstępne badania zmierzające w tym kierunku podjęli Frommhold i Atchley [5]. Zastosowali oni dobrze znane metody numeryczne do obliczenia widm emisji indukowanej zderzeniami pomiędzy cząsteczkami azotu lub między cząsteczką azotu a atomem argonu. Otrzymane przez tych autorów widma są sparametryzowane temperaturą. Widma te są szerokie i rozmyte ze względu na to, że w oblicze-

niach numerycznych wzięto pod uwagę wiele pasm rotacyjnych i oscylacyjnych, które w wysokich temperaturach są poszerzone i zlewają się w jedno szerokie pasmo. Wykresy otrzymanych widm są następnie porównane z widmami sonoluminescencji zmierzonymi doświadczalnie przez innych badaczy. Ogólny przebieg widm obliczonych przez Frommholda i Atchleya jest zbliżony do widm sonoluminescencji. Porównanie wyników doświadczeń i obliczeń numerycznych pozwala oszacować temperaturę. Widmo sonoluminescencji odpowiada mniej więcej widmom obliczonym dla temperatury wynoszącej 12–15 tysięcy kelwinów. Przyjmując szczegółowe założenia dotyczące rozmiarów pęcherzyka i czasu trwania błysku sonoluminescencji Frommhold i Atchley szacują całkowitą energię (a tym samym liczbę fotonów) wypromieniowaną w czasie jednego błysku. Oszacowania te dają wyniki z grubsza zbieżne z oszacowaniami uzyskanymi przez analizę doświadczalnie zmierzonych widm sonoluminescencji.

W ogólnych zarysach można więc stwierdzić, że poszukiwanie mechanizmu sonoluminescencji jako zjawiska wywołanego zderzeniowo indukowaną emisją może być uzasadnione. Zaznaczyć jednak trzeba, że podejście takie od razu budzi pewne wątpliwości i zmusza do postawienia wielu pytań. Pierwsza wątpliwość jest zasadniczej natury, a mianowicie: obliczenia numeryczne nie mają tej siły wyjaśniającej, co nawet proste modele pozwalające uzyskać wyniki analityczne. Modele analityczne można łatwo poddać analizie, można lepiej zrozumieć i przedyskutować różne zależności rządzące zjawiskiem. Następne pytania są już natury fizycznej. W temperaturach tak wysokich, jak otrzymane oszacowania, oczekiwać można znaczącej jonizacji cząsteczek wewnątrz pęcherzyka. Być może światło sonoluminescencji jest promieniowaniem hamowania typowym dla plazmy – mieszaniny jonów i elektronów. Jakie jest wtedy znaczenie procesów rekombinacji? Jak do tej pory odpowiedź na te pytania jest nie znana (a przynajmniej nie znana autorowi niniejszego artykułu). Obliczenia Frommholda i Atchleya rzeczywiście nieźle odtwarzają widma sonoluminescencji, nie tłumaczą jednak w żaden sposób niezwykle krótkiego czasu trwania błysku. Wręcz odwrotnie, wspomniani autorzy przyjmują czas trwania błysku z innych prac i za jego pomocą oceniają liczbę wyemitowanych fotonów.

Omówiony wcześniej model hydrodynamiczny, opisujący przebieg cyklu sonoluminescencji, wyraźnie sugeruje powstawanie fal uderzeniowych. Fala taka, gdy pęcherzyk jest bliski maksymalnemu sprężeniu, jest falą implodującą, która potem eksploduje. Może to prowadzić do bardzo wysokich, lokalnych zgęszczeń gazów. Można sobie wyobrazić, że w obrębie takich zgęszczeń rzeczywiście będą zachodzić niezwykle intensywne procesy zderzeniowe, które mogą indukować silne, i zapewne bardzo krótkotrwałe, świecenie. Pomysł ten jednak nie jest uwzględniony w pracy Frommholda i Atchleya. Związek pomiędzy efektami zderzeniowymi, za-

chodzącymi pod wpływem fal uderzeniowych, a efektami radiacyjnymi jest słabo zbadany. Uzasadnione jednak się wydaje oczekiwanie, że droga poszukiwań zaproponowana przez Frommholda i Atchleya, odpowiednio zmodyfikowana, aby wziąć pod uwagę np. wpływ fal uderzeniowych, może doprowadzić do zadowalającego wyjaśnienia sonoluminescencji. Procesy zderzeniowe wywołane hydrodynamiczną ewolucją promienia pęcherzyka wydają się być obiecującym materiałem do stworzenia modelu teoretycznego, który pozwoli wyjaśnić wszystkie znane aspekty zjawiska sonoluminescencji. Nie ma jednak podstaw, aby, przynajmniej na razie, wykluczyć inne możliwości. Należy też pamiętać, że procesy innej natury mogą również odgrywać znaczącą rolę. Sonoluminescencja może być rezultatem nałożenia się zjawisk różnego pochodzenia. Jednoznaczne przesądzenie, które z nich jest dominujące, jest chyba przedwczesne.

Aby zilustrować powyższe stwierdzenie, można przeprowadzić następujące rozumowanie. Obecność fali uderzeniowej, najpierw implodującej, a potem eksplodującej, może prowadzić do lokalnej korelacji atomowych (lub cząsteczkowych) momentów dipolowych. Korelacja taka prowadzi z kolei może do tak zwanej nadpromienistości. Niezależne promieniowanie atomów (cząsteczek) daje w efekcie wiązkę fotonów o całkowitym natężeniu proporcjonalnym do liczby promieniujących obiektów. W przypadku nadpromienistości sytuacja ulega zmianie. Oscylujące dipole w wyniku korelacji świecą w sposób współzależny (kooperatywny). W rezultacie konstruktywnej interferencji całkowite natężenie światła jest proporcjonalne do kwadratu liczby promieniujących źródeł. Co więcej, można oczekiwać, że błysk światła nadpromienistości będzie bardzo krótkotrwały. Oczywiście pozostaje pytanie, czy fale uderzeniowe mogą spowodować powstanie niezbędnych korelacji. Jeśli tak, to jaki jest mechanizm tego zjawiska? Mimo tych pytań sądzić można, że nadpromienistość powinna być poważnie brana pod uwagę jako kolejna możliwość prowadząca do zrozumienia zjawiska sonoluminescencji.

Istnieją też inne próby wyjaśnienia mechanizmów sonoluminescencji. Próby te jednak nazwać chyba można egzotycznymi. Dlatego też, jak sądzę, można je w tym przeglądzie pominąć.

5. Perspektywy

Zjawisko sonoluminescencji jest aktualnie aktywnie badane zarówno od strony eksperymentalnej, jak i teoretycznej. Z powyższej dyskusji widać, że jak do tej pory brak jest w pełni zadowalającego opisu pozwalającego zrozumieć wszystkie aspekty sonoluminescencji. Opublikowane do tej pory bardzo różnorodne prace teoretyczne w opinii autora niniejszego artykułu nie pozwalają na rozstrzygnięcie podstawowej kwestii, to znaczy stwierdzenia, jaki jest mechanizm

sonoluminescencji. Być może kilka zupełnie różnych przyczyn składa się na efekt końcowy – bardzo krótki błysk światła sonoluminescencji. Nie wiadomo, która z przyczyn jest dominująca, czy też może są one mniej więcej równoprawne. Pytania te nadal oczekują odpowiedzi i jak się wydaje stanowić mogą wdzięczny temat dalszych poszukiwań i badań.

Zjawisko sonoluminescencji jest niezmiernie interesujące nie tylko ze względu na brak odpowiedzi o czysto badawczym charakterze. Jak do tej pory nie próbowano w żaden sposób go optymalizować – optymalizować w sensie na przykład uzyskania jak największych temperatur, czy też ciśnień wewnątrz pęcherzyka. Być może pęcherzyk wypełniony mieszaniną izotopów wodoru okaże się niezmiernie pożytecznym narzędziem do badań jądrowych reakcji syntezy. Uzyskanie pęcherzyka wypełnionego mieszaniną gazów w warunkach podobnych do tych, w których zachodzi sonoluminescencja, jest nieporównanie tańsze i łatwiejsze technicznie niż stosowane do tej pory metody fizyki plazmy. Choć więc trudno oczekiwać, że w rozważanym pęcherzyku uda się otrzymać syntezę deuteru i trytu, to być może mamy do czynienia z prostą i taną metodą badawczą, która pozwoli lepiej zrozumieć mechanizmy reakcji jądrowych. Oczywiście takie oczekiwania mogą okazać się mocno wygórowane, nie ma jednak podstaw, aby z góry wykluczyć nasuwające się możliwości. W każdym bądź razie wspomniane skojarzenia są na pewno dodatkową motywacją do dalszych dokładnych badań sonoluminescencji, tym bardziej że cały szereg kwestii jest nie rozstrzygniętych, czy też wręcz nie zbadanych.

Inną, bardzo ciekawą perspektywą zastosowań jest sonochemia. Sonochemia wykorzystuje fakt, że w pęcherzykach kawitacyjnych zachodzi gwałtowna i bardzo znaczna koncentracja energii. W typowych warunkach laboratoryjnych w bardzo wysokich temperaturach otrzymuje się związki o bardzo niezwykłych własnościach. Niestety, powracają one do stanu początkowego zanim zdąży się temperaturę obniżyć. W pęcherzykach kawitacyjnych gwałtowny wzrost temperatury pozwala uzyskać owe niezwykle związki, zaś bardzo szybki spadek temperatury sprawia, że nie wracają one do stanu początkowego. W ten sposób uzyskuje się laboratoryjnie np. amorficzne (niekryształiczne) żelazo o ważnych własnościach katalitycznych. W zwykłych warunkach trudno jest ostudzić metal na tyle szybko, aby powstrzymać proces krystalizacji. Również inne reakcje chemiczne przebiegają znacznie szybciej w pęcherzyku kawitacyjnym, niż w warunkach typowych. Sonochemia jest szybko rozwijającą się dziedziną akustyki i chemii; jej wyniki są obiecujące zarówno pod względem poznawczym, jak i pod względem potencjalnych zastosowań.

Jak do tej pory sonoluminescencję pojedynczego pęcherzyka zaobserwowano jedynie w wodzie i w glicerynie. Są podstawy, by oczekiwać, że w płynnej rtęci

efekt może być nawet o cztery rzędy wielkości silniejszy. Czy jest to możliwe, czas pokaże. Ogromne koncentracje energii, niezmiernie wysokie temperatury, wysokie ciśnienia dostępne w procesach kawitacyjnych prowadzących do efektu sonoluminescencji stanowią bardzo ciekawe wyzwanie. Zarówno eksperymetatorzy, jak i teoretycy poszukują wyjaśnień, zrozumienia, a także przyszłych zastosowań dla, wydawałoby się niepozornego, ale jakże ciekawego i bogatego zjawiska, jakim jest sonoluminescencja z pojedynczego pęcherzyka zawieszzonego w wodzie w polu fali akustycznej.

Literatura

- [1] L.A. Crum, *Phys. Today*, September 1994, s. 22.
- [2] S.J. Putterman, *Świat Nauki*, kwiecień 1995, s. 24.
- [3] R. Löfstedt, B.P. Barber, S.J. Putterman, *Phys. Fluids A* **5**, 2911 (1993).
- [4] C. Eberlein, *Phys. Rev. A* **53**, 2772 (1996).
- [5] L. Frommhold, A.A. Atchley, *Phys. Rev. Lett.* **73**, 2883 (1994).

Tobias Ruf, Manuel Cardona

*Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
Stuttgart, RFN*

Heinz D. Fuchs

*Robert Bosch GmbH
Stuttgart, RFN*

O masach i sprężynach: fizyka półprzewodników o czystym składzie izotopowym*

**On masses and springs: physics of isotopically pure
semiconductors**

Abstract: After the end of the Cold War various stable isotopes have become available at reasonable prices from mass separators in the former Soviet Union and in the USA. Semiconductor crystals grown with isotopically pure elements offer possibilities for fundamental research which were not accessible for samples with natural composition. The impact of isotopic purity on phonon characteristics of bulk semiconductors as well as heterostructures and superlattices is presented.

1. Wstęp

Separatory mas w byłym Związku Radzieckim oraz USA były wykorzystywane nie tylko do uzyskiwania pierwiastków ważnych z wojskowego punktu widzenia, lecz także dużych ilości innych izotopów stabilnych. Dzięki zakończeniu zimnej wojny również z tych źródeł można od kilku lat nabywać trwałe izotopy

* Artykuł, opublikowany w *Physikalische Blätter* 52, nr 11, 1115 (1996), został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1996 by VCH, D-69451 Weinheim] (przyp. Red.).

po cenach, które umożliwiają ich używanie do hodowania kryształów. Ponieważ wiele spośród pierwiastków ważnych w fizyce półprzewodników składa się w znaczącym procencie z różnych izotopów (patrz tabela 1), dzięki stosowaniu czystych izotopowo substancji wyjściowych otwierają się nowe możliwości podstawowych badań fizycznych, dotychczas niedostępnych w tej postaci.

Tabela 1. Naturalny skład izotopowy niektórych półprzewodników (w %). Koncentracje śladowe zostały pominięte.

C	Si	Ge	GaAs	CdS	CuCl
¹² C: 98.9	²⁸ Si: 92.2	⁷⁰ Ge: 20.5	⁶⁹ Ga: 60.4	¹¹⁰ Cd: 12.4	⁶³ Cu: 69.1
¹³ C: 1.1	²⁹ Si: 4.7	⁷² Ge: 27.4	⁷¹ Ga: 39.6	¹¹¹ Cd: 12.7	⁶⁵ Cu: 30.9
	³⁰ Si: 3.1	⁷³ Ge: 7.8		¹¹² Cd: 24.1	
		⁷⁴ Ge: 36.5	⁷⁵ As: 100.0	¹¹³ Cd: 12.2	³⁵ Cl: 75.5
		⁷⁶ Ge: 7.8		¹¹⁴ Cd: 28.9	³⁷ Cl: 24.5
				¹¹⁶ Cd: 7.6	
				³² S: 95.0	
				³⁴ S: 4.2	

Głównym tematem niniejszego artykułu są te samoistne zjawiska w półprzewodnikach, które zależą od składu izotopowego. Ich badania koncentrowały się początkowo na wpływie różnic masy jąder izotopów, który zilustrujemy opisując jego najistotniejsze cechy [1-4]. Inne stopnie swobody, jak struktura poziomów jądrowych, spin jądra czy przekroje czynne na wychwyt neutronów wykorzystywano dotychczas do badań tego typu rzadziej, lecz obecnie wzrasta zainteresowanie także nimi [2].

W następnym rozdziale omówimy wpływ masy izotopów na własności dynamiczne sieci krystalicznych pierwiastków półprzewodzących (elementarnych półprzewodników, tj. Si lub Ge). Należy przy tym odróżniać zjawiska harmoniczne i anharmoniczne, określone przez średnią masę, od zjawisk związanych z fluktuacjami masy w materiałach o naturalnym lub kontrolowanym składzie izotopowym [1-5]. Jeśli stosujemy materiały wyjściowe o czystym składzie izotopowym, to pojawiają się nowe możliwości badań półprzewodnikowych struktur niskowymiarowych – supersieci i heterostruktur, opisane w rozdz. 3 [1,2,4,6-9]. Dzięki zależności częstości fononów od masy izotopów (rozd. 4) możliwa jest analiza wektorów własnych oraz modów mieszanych w związkach półprzewodnikowych [10]. Poprzez oddziaływanie elektron-fonon oraz zmiany parametrów („stałych”) sieci, zjawiska izotopowe mają także wpływ na elektroniczne i chemiczne

własności materiałów. W rozdziale 5 omówimy różne mechanizmy renormalizacji przerw pasmowych w półprzewodnikach, badane za pomocą podstawiania izotopowego [1-4,11,12].

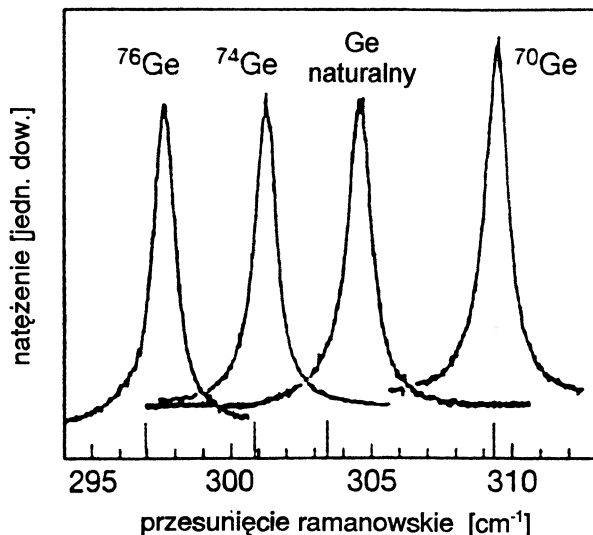
2. Fonony a izotopy w elementarnych półprzewodnikach

O własnościach drgań takiego półprzewodnika jak german, który jako pierwiastek naturalny występuje w postaci mieszaniny trwałych izotopów, decyduje rozkład masy, opisywany przez średnią masę atomu M w wirtualnym kryształcie idealnym i wariancję masy $g = \sum_i x_i (1 - M_i/M)^2$, gdzie x_i jest względną częstością występowania izotopu o masie M_i . Energię drgań i szerokości linii poszczególnych modów optycznych lub ich kombinacji w procesach wyższego rzędu można określić doświadczalnie takimi metodami, jak niesprężyste rozpraszanie światła (rozpraszanie ramanowskie) lub neutronów, luminescencja z udziałem fononów oraz absorpcja podczerwieni. Obserwując niskoczęstościowe fonony akustyczne można badać zmiany własności sprężystych wywołane zjawiskami izotopowymi np. za pomocą rozpraszania Brillouina.

2.1. Zjawiska związane z masą średnią

W najprostszym przybliżeniu częstość fononu w półprzewodniku elementarnym (z atomami jednego rodzaju w komórce elementarnej) w środku strefy Brillouina (punkcie Γ) jest dana znanym wyrażeniem dla oscylatora harmonicznego $\omega = (k/M)^{1/2}$ z odpowiednią stałą siłową k . Rysunek 1 pokazuje widma ramanowskie podłużnych fononów optycznych (LO) w środku strefy Brillouina dla różnych, nominalnie czystych izotopowo kryształów germanu, w zestawieniu z widmem dla próbki o naturalnym składzie [2]. Zmierzona charakterystyka częstościowa odpowiada w zasadzie oczekiwanej zależności ($\propto 1/\sqrt{M}$), oznaczonej na rys. 1 pionowymi kreskami, które zostały wyskalowane na podstawie pomiaru częstości dla ^{70}Ge . Niezgodności są związane z wpływem anharmoniczności oraz nieporządkiem izotopowym.

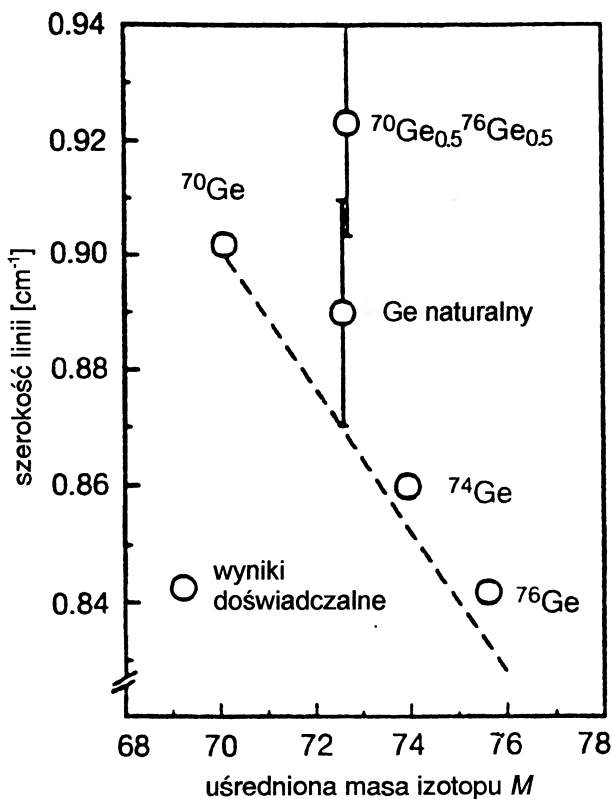
Uśrednienie masy izotopowej przyczynia się poprzez amplitudy fononów także do zjawisk anharmonicznych, takich jak zmiany parametrów sieci oraz skończony czas życia fononów [2], które nie występują w przybliżeniu harmonicznym (liniowej siły zwrotnej). Średni kwadrat amplitudy drgań dla półprzewodników elementarnych jest dany wyrażeniem $\langle u^2 \rangle = (2n(\omega) + 1)\hbar/4(kM)^{1/2}$. Obsadzenie termiczne modów uwzględnia się poprzez statystyczny czynnik Bosego-Einsteina $n(\omega) = (\exp(\hbar\omega/k_B T) - 1)^{-1}$. Dla niskich temperatur ($\hbar\omega \gg k_B T$) mamy $\langle u^2 \rangle \propto 1/\sqrt{M}$ i można oczekiwać, że wystąpią zjawiska izotopowe [2]. Z uwagi na nieznikającą amplitudę punktu zerowego drgań sieci dotyczy to także zera



Rys. 1. Widma ramanowskie germanu o czystym i naturalnym składzie izotopowym ($T = 80$ K) [2]. Pionowe kreski oznaczają częstotliwości modów, obliczone dla średnich mas. Warto zwrócić uwagę na niezgodność dla naturalnego germanu, wywołaną nieporządkiem izotopowym.

bezwzględny. Dla wyższych temperatur ($\hbar\omega \ll k_B T$) mamy $\langle u^2 \rangle \propto T$, a więc średni kwadrat amplitudy drgań nie zależy od masy izotopu [2].

Jak wykazały rentgenowskie badania dyfrakcyjne [2], w niskich temperaturach względna różnica parametrów sieci np. między diamentem ^{12}C a ^{13}C wynosi 1.5×10^{-4} , gdyż $\langle u^2 \rangle$ maleje ze wzrostem średniej masy M . Wpływ zjawisk izotopowych na stałe sprężyste oraz gęstość diamentu badano za pomocą rozpraszania Brillouina; częstotliwości fononów akustycznych maleją ze wzrostem masy [3]. Mody optyczne rozszczepiają się wskutek anharmoniczności sieci w zasadzie na dwa drgania akustyczne. Owe procesy rozproszeniowe prowadzą do tego, że fonony obserwuje się doświadczalnie nie jako linie typu delty Diraca, lecz linie o różnej od zera szerokości $\Delta\omega$, która jest proporcjonalna do wartości $\langle u^2 \rangle$ dla produktów rozpadu. Zatem dla dwóch fononów mamy $\Delta\omega \propto \langle u^2 \rangle \langle u^2 \rangle$, czyli $\Delta\omega \propto 1/M$ [1]. Rysunek 2 pokazuje szerokości linii fononów LO w germanie, zmierzone w punkcie Γ [2]. Dla próbek o nominalnie czystym składzie izotopowym odnajdujemy oczekiwaną zależność poszerzenia linii od M (linia przerywana). Jeśli potraktować poszerzenie linii fononowych jako część urojonej energii własnej drgań, to jej część rzeczywista, związana z nią transformacją Kramersa-Kroniga, odpowiada przesunięciu energii. Wskutek tego oczekujemy (niewielkiej) dodatkowej różnicy częstotliwości między ^{70}Ge i ^{76}Ge , równej ok. 0.2 cm^{-1} ; można ją rzeczywiście dostrzec na rys. 1.



Rys. 2. Szerokość linii fononu optycznego (punkt Γ) w germanie o różnym składzie izotopowym [2]. Linia przerywana odpowiada zależności $\Delta\omega \propto 1/M$, oczekiwanej na podstawie teorii anharmonicznej. Niewielkie odstępstwa dla kryształów o mieszanym składzie izotopowym odzwierciedlają wpływ nieporządku izotopowego.

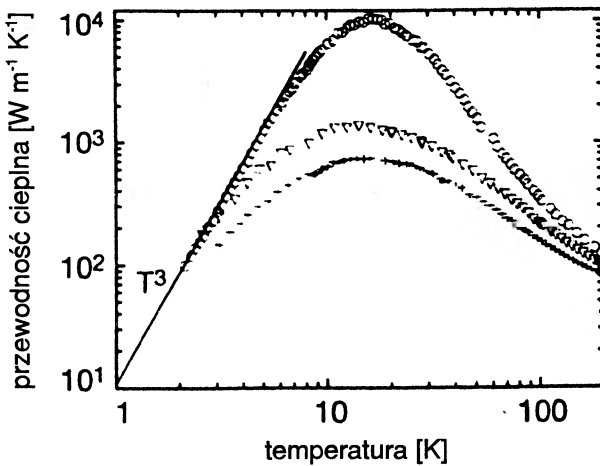
2.2. Zjawiska związane z nieporządkiem izotopowym

Na rysunku 2 zwraca uwagę fakt, że fonon w naturalnym germanie ma większe poszerzenie w punkcie Γ , niż można by oczekiwać na podstawie zależności $\Delta\omega \propto 1/M$. Dla sztucznego kryształu mieszanego $^{70}\text{Ge}_{0.5}^{76}\text{Ge}_{0.5}$, który ma niemal taką samą średnią masę, odchylenie jest jeszcze większe. Stąd nasuwa się przypuszczenie, że zjawisko to należy przypisać nieporządkowi izotopowemu, który poprzez rozpraszanie sprężyste fononów przyczynia się do zmniejszenia ich czasu życia. Ów przyczynek jest proporcjonalny do wariancji masy g [1], która dla naturalnego germanu wynosi 6×10^{-4} , a dla $^{70}\text{Ge}_{0.5}^{76}\text{Ge}_{0.5}$ jest równa 16×10^{-4} . Analogicznie jak dla poszerzenia wywołanego anharmonicznością, także w tym przypadku określamy część rzeczywistą energii własnej i wyznaczamy przesunięcie częstości modów; jest ono rzędu 1 cm^{-1} (patrz rys. 1), czyli znacznie większe niż

odpowiednia różnica poszerzenia [2]. W przeciwieństwie do germanu, w diamencie o zmodyfikowanym składzie izotopowym obserwuje się nawet czterokrotnie większe szerokości linii fononów optycznych dla kryształów mieszanych $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, niż dla diamentu czystego izotopowo [1,2]. Różnica ta jest związana z gęstością stanów fononowych, która zgodnie ze złotą zasadą Fermiego wchodzi do obliczeń poszerzenia. Choć dla fononów optycznych w germanie zmniejsza się ona do zera w przybliżeniu harmonicznym dla $\mathbf{k} = 0$, to jednak poszerzenie modów wskutek anharmoniczności prowadzi do gęstości stanów różnej od zera, która przejawia się w niewielkim poszerzeniu, związanym z nieporządkiem izotopowym. W diamencie również w przybliżeniu harmonicznym gęstość stanów nie znika w środku strefy Brillouina, ponieważ położony jest on w pewnej odległości od maksimum dyspersji. Dzięki temu dochodzi do silnego procesu rozpraszania i odpowiednio dużych szerokości linii. Badania przesunięć częstości i poszerzeń, wywołanych przez nieporządek, w zależności od energii, przeprowadzone dla germanu, umożliwiają wgląd w mikroskopowe przyczyny tych zjawisk [1].

Rozpraszanie fononów przez fluktuacje masy w półprzewodnikach o mieszanym składzie izotopowym wpływa także na przewodność cieplną [2,3]. Jej wzrost o 50% w diamencie czystym izotopowo, w porównaniu z naturalnym, sugeruje już dziś zastosowanie tego pierwszego w układach o dużym obciążeniu termicznym, np. w półprzewodnikowych podzespołach wysokiej mocy lub w zwierciadłach dla promieniowania synchrotronowego [2]. Rysunek 3 pokazuje wyniki dla germanu o różnym składzie izotopowym [13]. W temperaturach bliskich 20 K kryształ czysty izotopowo przewodzi ciepło dziesięciokrotnie lepiej niż german naturalny, podczas gdy sztuczny kryształ mieszany $^{70}\text{Ge}_{0.50}^{76}\text{Ge}_{0.50}$ wykazuje wyraźnie gorsze przewodnictwo.

Fluktuacje masy izotopów w półprzewodnikach atomowych prowadzą również do rozmycia przekazu pędu kryształu w procesach rozpraszania ramanowskiego. Jeśli oznaczymy odpowiednio przez \mathbf{k}_L i \mathbf{k}_S wektory falowe fotonów rozpraszanych i rozproszonych, to przekaz pędu \mathbf{q} dla jednego fononu można wyznaczyć ze związku $\mathbf{k}_L = \mathbf{k}_S + \mathbf{q}$. Ponieważ wektory falowe światła są zanedbywalnie małe w porównaniu z wektorami sieci odwrotnej kryształu, mamy z dobrym przybliżeniem $\mathbf{q} = 0$, a zatem obserwujemy fonony w środku strefy Brillouina. Z mikroskopowego punktu widzenia spełnienie zasady zachowania pędu dla kryształu jest opisane przez spójne dodawanie przyczynków od rozpraszania przez wszystkie atomy w obrębie głębokości wnikania światła do kryształu. Fluktuacje masy zakłócają tę spójność i do procesów ramanowskich zaczynają wносить wkład fonony o dowolnych wektorach falowych. W widmach można wówczas oczekiwać struktur, które odzwierciedlają gęstość stanów fononowych. Rysunek 4 pokazuje widma ramanowskie fononów optycznych w kryształach germanu o różnym składzie izo-

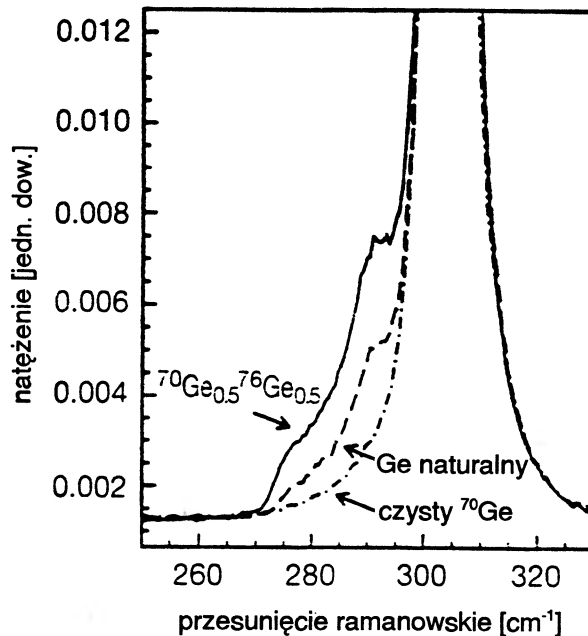


Rys. 3. Przewodność cieplna monokryształów germanu o różnym składzie izotopowym: kółka – 99.99% ⁷⁰Ge ($g \ll 10^{-6}$), trójkąty – Ge naturalny ($g = 6 \times 10^{-4}$), krzyżyki – ⁷⁰Ge_{0.50}⁷⁴Ge_{0.50} ($g = 16 \times 10^{-4}$). Linia ciągła pokazuje oczekiwaną zależność fononowej przewodności cieplnej w niskich temperaturach ($\propto T^3$) [13]. German czysty izotopowo w dużym zakresie temperatur przewodzi ciepło znacznie lepiej niż naturalny.

topowym [5]. Dla ułatwienia porównania różnice częstości zostały skorygowane, a natężenia znormalizowane do jednakowych wartości. Po stronie niskoenergetycznej linii o niemal lorentzowskim kształcie dla czystego izotopowo ⁷⁰Ge można zaobserwować dla próbek o $g \neq 0$ dwa maksima gęstości stanów, których natężenie zwiększa się ze wzrostem nieporządku. Przez porównanie z pomiarami neutronowymi można stwierdzić, iż owe struktury odpowiadają rezonansowym modom pasmowym w pobliżu maksimum gęstości stanów poprzecznych fononów optycznych (TO) [5]. W przeciwieństwie do modów lokalnych, czyli zaburzeń sieci o znacznie mniejszej masie, które powodują deformacje w zasadzie tylko wokół defektów i których częstość jest większa od częstości fononów w kryształach idealnych, w przypadku tych drgań chodzi o kwazizlokalizowane mody, związane ze znacznie słabszymi fluktuacjami masy izotopowej, których częstości leżą w zakresie dyspersji fononów w układzie niezaburzonym.

3. Supersieci i heterostruktury izotopowe

Obserwacje rezonansowych modów pasmowych w germanie naturalnym nawiązują pytanie, dlaczego znaczny nieporządek mas nie prowadzi do powstawania także lokalnych modów poszczególnych atomów. Należałoby wówczas w widmie



Rys. 4. Widma ramanowskie fononów optycznych w kryształach germanu o różnym składzie izotopowym. W czystym ^{70}Ge obserwuje się linie lorentzowskie. W kryształach z nieporządkiem izotopowym po stronie niskiej energii rejestruje się dodatkowe struktury, które odpowiadają rezonansom modom pasmowym [5].

ramanowskim germanu naturalnego z rys. 1 dla częstości modów kryształu czystego izotopowo oczekiwać kilku ostrych linii, których względne natężenia odzwierciedlałyby rozkład częstości występowania izotopów. Zjawisko to można zrozumieć biorąc pod uwagę model Andersona lokalizacji wzbudzeń, która występuje w trzech wymiarach wówczas, gdy zmiana częstości wywołana przez defekt jest większa od szerokości pasma; zmiany częstości wywołane przez fluktuacje masy, opisane przez $\Delta\omega = (\Delta M/2M)\omega \approx 6 \text{ cm}^{-1}$, są znacznie mniejsze niż szerokość pasmowa dyspersji fononów optycznych, która wynosi około 60 cm^{-1} [2]. Uogólnienie tego pytania prowadzi do supersieci izotopowych, w których można badać powstawanie modów zlokalizowanych w warstwach w tych miejscach, gdzie występują różnice mas izotopów.

3.1. Fonony zlokalizowane w warstwie

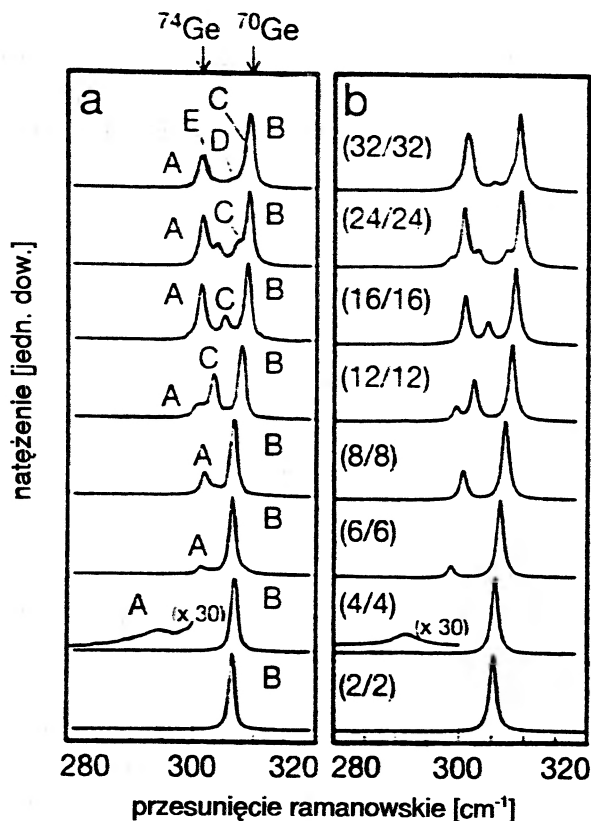
W niskowymiarowych strukturach półprzewodnikowych, jak supersieci, składające się z periodycznej sekwencji cienkich warstw różnych materiałów, możliwe jest celowe kształtowanie i systematyczne badanie własności dynamicznych sieci. Jeśli nie ma nakładania się modów optycznych, jak np. w próbkach GaAs i AlAs,

tworzą się fale stojące fononów zlokalizowanych w warstwie, których amplitudy są ograniczone z dobrym przybliżeniem do jednego lub drugiego materiału. Jeśli przyporządkować tym drganiom pęd efektywny kryształu $q_m = \pi m/d$, gdzie m jest liczbą połówek długości fali mieszczących się w warstwie, to można określić dyspersję materiałów wyjściowych, podczas gdy w materiale objętościowym obserwuje się zaledwie jeden fonon w środku strefy Brillouina. Możliwe wnikanie drgań do sąsiednich warstw można uwzględnić przez niewielkie zmiany grubości warstwy d o wielkości rzędu parametru sieci.

Dzięki stosunkowo niewielkim różnicom częstości fononów w półprzewodnikach czystych izotopowo możliwe jest badanie supersieci, w których zachodzi częściowe nakładanie dyspersyjne. Ponieważ przy tym, jak pokażemy poniżej, struktura elektronowa zmienia się tylko nieznacznie, otrzymujemy układy, które z punktu widzenia dynamiki sieci są dwuwymiarowe, a struktury elektronowej – trójwymiarowe [6]. Dla badań podstawowych jest rzeczą ważną, że wiązania elektronowe, a tym samym i stałe siłowe w supersieciach izotopowych, są niemal jednakowe w warstwach obu rodzajów. Umożliwia to precyzyjne porównanie wyników pomiarów z natężeniami obliczonymi za pomocą modeli teoretycznych rozpraszania ramanowskiego, opierających się na polaryzowalności tych wiązań.

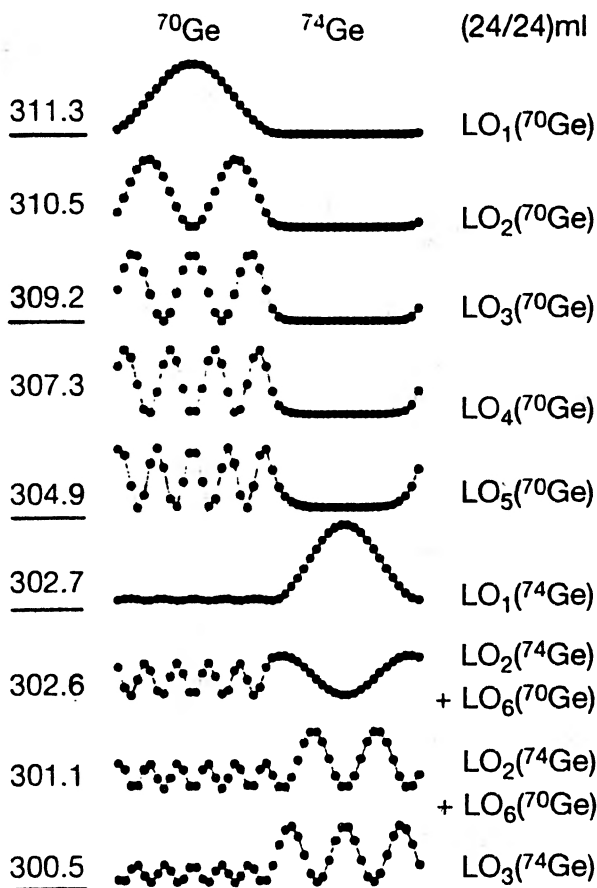
Rysunek 5 pokazuje doświadczalne widma ramanowskie (a) serii supersieci $^{70}\text{Ge}_n\text{ }^{74}\text{Ge}_n$ zawierających n płaszczyzn atomowych w warstwie, porównane z teorią (b) [6,7]. Częstości modów zostały obliczone przy użyciu modelu teoretycznego dynamiki sieci, w którym atomy w obu warstwach różnią się tylko masą. Z rozkładu amplitud modów można otrzymać ich natężenia ramanowskie. Przy porównywaniu z pomiarami zastosowano tylko jeden parametr do wyskalowania natężenia oraz fenomenologicznie poszerzono linie. Teoria opisuje nawet niewielkie struktury widm oraz ich zależność od grubości warstwy [6].

Strzałki na rys. 5a pokazują częstości fononów LO w materiałach wyjściowych ^{70}Ge oraz ^{74}Ge . Dla supersieci o większym okresie rejestruje się w tych miejscach pierwsze fonony $\text{LO}_1(^{70/74}\text{Ge})$ zlokalizowane w warstwie, których rozkład amplitud jest określony przez połowę długości fali w danym materiale. Kwadraty amplitud tych oraz innych fononów pokazane są na rys. 6 dla próbki $^{70}\text{Ge}_{24}\text{ }^{74}\text{Ge}_{24}$. W zakresie energii między $\text{LO}_1(^{70}\text{Ge})$ a $\text{LO}_1(^{74}\text{Ge})$ występują dalsze mody zlokalizowane, których natężenie i położenie zmienia się z grubością warstwy. Ze względu na symetrię w widmach ramanowskich obserwuje się tylko fonony LO_m (gdy pęd efektywny kryształu wynosi q_m) o nieparzystym wskaźniku m . Rysunek 7 pokazuje częstości obserwowanych linii ramanowskich porównane z teorią [6,7]. Ze spadkiem grubości warstwy rośnie efektywny wektor falowy fononów zlokalizowanych w warstwie. Ich częstość zmniejsza się w materiale objętościowym zgodnie ze związkami dyspersji. W punktach krzyżowania się fononów ^{70}Ge z mo-



Rys. 5. Widma ramanowskie supersieci izotopowych $^{70}\text{Ge}_n\text{ }^{74}\text{Ge}_n$ (n – liczba płaszczyzn atomowych, która zmienia się od 2 do 32): (a) wyniki doświadczalne, (b) symulacja teoretyczna przy użyciu modelu dynamiki sieci, który daje bardzo dobrą zgodność z (a) [6,7]. Strzałki pokazują położenia linii fononów LO w materiałach wyjściowych ^{70}Ge oraz ^{74}Ge . W supersieciach o większym okresie znaleźć można w tych miejscach fonony zlokalizowane w warstwie. A: $\text{LO}_1(^{74}\text{Ge})$, B: $\text{LO}_1(^{70}\text{Ge})$, C: $\text{LO}_3(^{70}\text{Ge})$, D: $\text{LO}_5(^{70}\text{Ge})$, E: $\text{LO}_7(^{70}\text{Ge})$.

dem $\text{LO}_1(^{74}\text{Ge})$ dochodzi do ich sprzęgania i mieszania się typów drgań, a tym samym zmian natężeń i rozszczepiania częstości. Przykładem tego zjawiska jest odwrócenie względnych natężeń modów $\text{LO}_3(^{70}\text{Ge})$ i $\text{LO}_1(^{74}\text{Ge})$ na rys. 5 między próbkami o $n = 16$ i 12. Na rysunku 6 widać także mody mieszane, składające się z drgań $\text{LO}_2(^{74}\text{Ge})$ i $\text{LO}_6(^{70}\text{Ge})$. Gdy energia fononów ^{70}Ge wskutek lokalizacji w warstwie spada poniżej energii modu LO_1 w ^{74}Ge , możliwa staje się jego propagacja w obu materiałach. Natężenie ramanowskie tych modów objętościowych ze względu na symetrię szybko maleje. W próbkach o mniejszych okresach periodyczności ze spadkiem grubości warstwy obserwuje się ponadto wyraźną redukcję

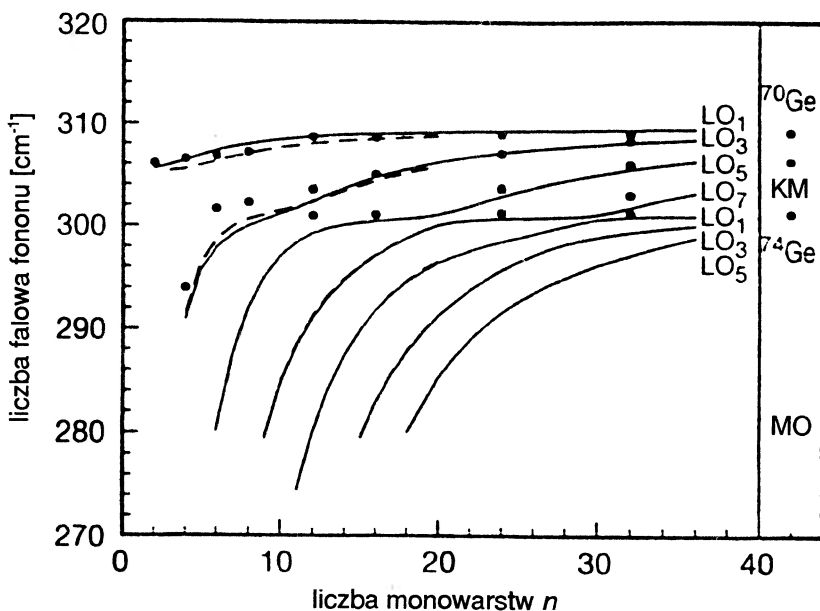


Rys. 6. Kwadrat amplitud optycznych fononów zlokalizowanych w supersieci $^{70}\text{Ge}_{24}^{74}\text{Ge}_{24}$. Z lewej strony podane są liczby falowe (w cm^{-1}), z prawej – odpowiednie oznaczenia według rys. 5. Liczby falowe aktywnych modów ramanowskich są podkreślone. Ze względu na symetrię mają one nieparzyste wskaźniki m w LO_m .

natężenia oraz przesunięcie modu $\text{LO}_1(^{74}\text{Ge})$, aż (jak w granicznym przypadku półprzewodnika objętościowego) pozostanie tylko jeden fonon. Jeśli oszacować wymieszanie izotopowe na międzypowierzchniach w próbkach wytworzonych za pomocą epitaksji w wiązce molekularnej, to otrzymuje się linie przerywane na rys. 7. W ten sposób zaobserwowane tendencje odchylenia modów częstotściowych od zachowania idealnego uzyskują ilościowe potwierdzenie.

3.2. Autodyfuzja

Wspomniany nieporządek izotopowy na międzypowierzchniach w heterostrukturach $^{70}\text{Ge}/^{74}\text{Ge}$ jest w zasadzie najprostszą formą autodyfuzji [4,9]. Bada-



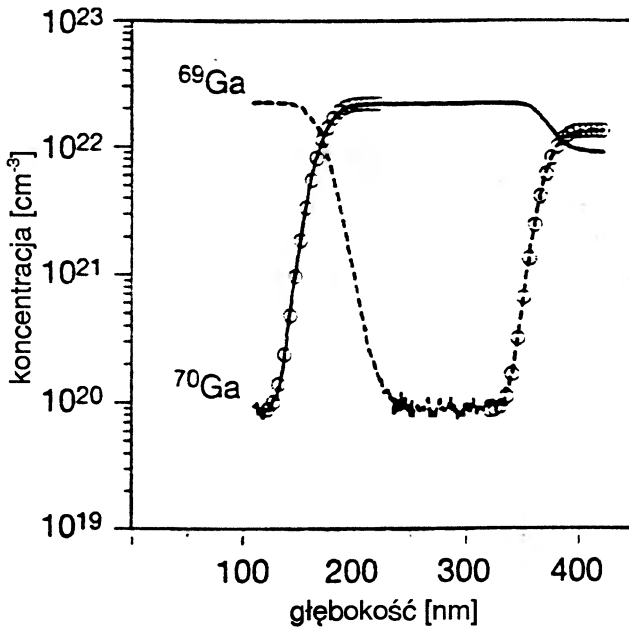
Rys. 7. Częstości modów zlokalizowanych w warstwie z rys. 5 (punkty) oraz wyniki obliczeń dynamiki sieci (linie ciągłe) w zależności od grubości warstwy [6,7]. Dla porównania po prawej stronie energia fononów w materiałach objętościowych (MO) oraz w kryształach mieszanym (KM) $^{70}\text{Ge}_{0.50}^{74}\text{Ge}_{0.50}$.

nie migracji atomów w środowisku takiej samej substancji chemicznej nastęrcza z natury rzeczy wiele trudności. Z drugiej strony właśnie badania autodyfuzji dostarczają decydujących obserwacji doświadczalnych na temat wpływu luk, domieszkowania oraz zanieczyszczeń na własności materiałów. Autodyfuzja w półprzewodnikach jest, w porównaniu z metalami, zjawiskiem bardzo złożonym ze względu na różnorodność możliwych luk w sieci oraz ich wpływ na położenie energii Fermiego.

Do niedawna badano autodyfuzję w półprzewodnikach w ten sposób, że umieszczano na jego powierzchni izotop promieniotwórczy, który następnie w procesie wygrzewania wdyfundowywał w materiał próbki. Powstający przy tym profil koncentracji odtwarzano na podstawie pomiaru radioaktywności po zeszlifowaniu kolejnych cienkich warstw materiału. Oprócz ograniczonej dokładności takiej metody, pomiary i ich interpretację utrudniają dodatkowo zjawiska powierzchniowe (utlenianie, naprężenia, zanieczyszczenia).

W przeciwieństwie do metody dotychczasowej heterostruktury izotopowe dają możliwość badań autodyfuzji w głębi kryształu, a zatem niezależnie od wpływu powierzchni. Najpierw celowo miesza się za pomocą wyżarzania war-

stwy materiału o czystym składzie izotopowym. Następnie metodą spektroskopii mas jonów wtórnych (SIMS) bardzo dokładnie wyznacza się profile koncentracji poszczególnych izotopów. Rysunek 8 pokazuje przykładowe profile SIMS autodyfuzji galu w heterostrukturze $^{69}\text{GaAs}/^{71}\text{GaAs}$ o grubościach warstw po 200 nm, wytworzonej za pomocą epitaksji w wiązce molekularnej na podłożu naturalnego GaAs [8]. Wewnętrzną spójność wyników można sprawdzić dzięki pomiarom dla obu izotopów Ga. Do badań autodyfuzji w heterostrukturach germanowych wykorzystano nawet profile SIMS wszystkich pięciu trwałych izotopów [9].



Rys. 8. Profile koncentracji ^{69}Ga i ^{71}Ga w heterostrukturze $^{69}\text{GaAs}/^{71}\text{GaAs}$, która została wygrzana przez 3321 s w temperaturze 974°C [8]. Profile zmierzone za pomocą spektroskopii mas jonów wtórnych SIMS pokazują dyfuzję izotopów do sąsiednich warstw. Głębokość mierzona jest od powierzchni w głąb. Powierzchnia graniczna między ^{69}Ga a ^{71}Ga leży na głębokości 200 nm, a podłoże z naturalnego GaAs zaczyna się od 400 nm. Kółka oznaczają wyniki teoretyczne, dopasowane do wyników pomiarów.

Na podstawie długości dyfuzji $R = 2(Dt)^{1/2}$, zmierzonej po wygrzewaniu przez określony czas t , można określić współczynnik dyfuzji D , a tym samym obliczyć entalpię aktywacji oraz entropię autodyfuzji. Porównanie z obliczeniami pozwala na wyciągnięcie wniosków o mechanizmach fizycznych, powodujących dyfuzję. Pokazano w ten sposób, że autodyfuzja w germanie w zasadzie przebiega poprzez „wędrówkę” luk w sieci [9]. Wartości z rys. 8 potwierdzają wcześniej

sformułowaną hipotezę, że atomy Ga w kryształach GaAs przemieszczają się przez „skoki” potrójnie naładowanych luk Ga [8].

Ponieważ na powierzchniach granicznych między warstwami o czystym składzie izotopowym nie występują problemy związane z niedopasowaniem sieciowym, można myśleć o badaniach wpływu domieszkowania i pól elektrycznych na auto-dyfuzję, jak również o obserwacjach dyfuzji atomów domieszek.

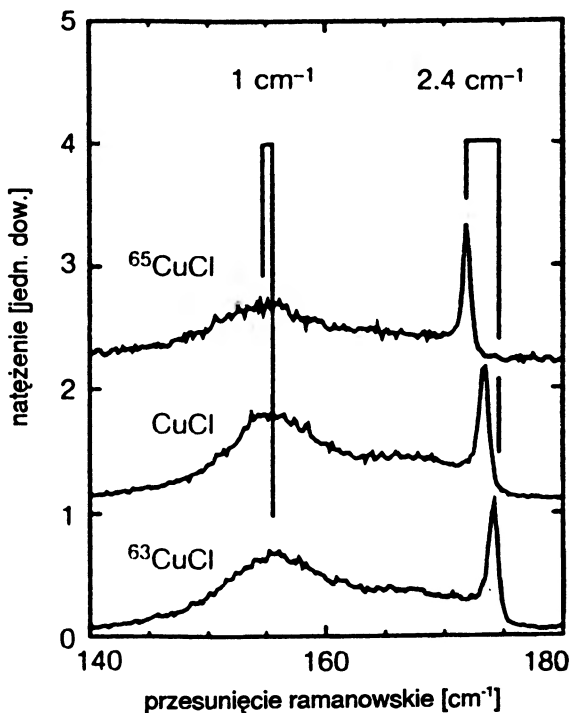
4. Fonony w związkach półprzewodnikowych

W przeciwieństwie do półprzewodników monoatomowych, gdzie wszystkie fonony ze strefy Brillouina wykazują jednakową zależność od masy, w związkach półprzewodnikowych występują różnice. W materiale, który składa się z dwóch rodzajów atomów o masach odpowiednio M i m ($M > m$), częstość modu optycznego ω w środku strefy Brillouina zależy od masy zredukowanej μ : $\omega \propto 1/\sqrt{\mu}$, gdzie $\mu^{-1} = M^{-1} + m^{-1}$. Jest to sytuacja w pełni analogiczna do drgań liniowego łańcucha sprężyn o różnych masach, ale jednakowych stałych siłowych. Mody akustyczne zależą od sumy mas: $\omega \propto 1/(M + m)^{1/2}$. Natomiast na granicy strefy energia fononów optycznych jest w przybliżeniu proporcjonalna do $1/\sqrt{m}$, a akustycznych – proporcjonalna do $1/\sqrt{M}$. Ponadto w tych modach wychyleniu ulegają odpowiednio albo lekkie, albo ciężkie atomy, podczas gdy dla modów optycznych w środku strefy w drganiach biorą udział oba rodzaje atomów.

4.1. Rezonans Fermiego w CuCl

Różnice zależności fononów od masy umożliwiają dokładne badania zjawisk, w których dochodzi do wymieszania różnorodnych modów. Przykładem tego jest anomalna struktura fononów TO, obserwowana w CuCl, a przedstawiona na rys. 9 dla trzech próbek o różnym składzie izotopowym [10]. Przyczyną tej charakterystycznej struktury dopplerowskiej jest rezonans Fermiego, który występuje wtedy, gdy dwa drgania o jednakowej symetrii są energetycznie zdegenerowane. Poprzez sprzężenie takich modów, w tym przypadku fononu TO w środku strefy Brillouina oraz pasma fononowego, składającego się z podłużnego i poprzecznego modu akustycznego na granicy strefy (LA+TA), dochodzi do mieszania rozkładów amplitud, przesunięć częstości i poszerzenia linii. Porównanie z innymi halogenkami miedzi sugeruje, że ostre maksimum odzwierciedla charakter fononu TO, a szeroka struktura – składową dwufononową wzbudzenia mieszanego.

Jeśli uwzględnic różnice zależności częstości fononów od masy izotopu, to dla modu TO przy podstawieniu ^{63}Cu za ^{65}Cu można oczekiwać przesunięcia



Rys. 9. Widma ramanowskie rezonansu Fermiego w izotopowym CuCl , powstające wskutek sprzężenia fononów TO i pasma dwufononowego (LA+TA) [10]. Ostra struktura przesuwa się po podstawieniu izotopowym tak, jakby była związana z drganiami akustycznymi miedzi. Natomiast szeroka struktura zmienia się w zależności od masy zredukowanej CuCl , co jest charakterystyczne dla modów optycznych. Porównanie z innymi halogenkami miedzi prowadziło do dokładnie przeciwnego wniosku.

ok. 1 cm^{-1} (związanego ze zmianą μ), podczas gdy energia składowej dwufononowej (zależna od masy atomu miedzi M) powinna zmienić się o ok. 2.5 cm^{-1} [10]. Rysunek 9 pokazuje, że zjawiska izotopowe mają na te wielkości akurat odwrotny wpływ, niż wynikałoby z powyższego opisu. Niskoenergetyczna, szeroka struktura ma zatem charakter fononu TO, a ostra linia odpowiada procesowi dwufononowemu. Taka identyfikacja składowych modów dzięki podstawieniu izotopowemu potwierdza modele, według których zjawiska związane z energią własną są odpowiedzialne za silną renormalizację fononów w CuCl . Przesunięcie częstości, idące w parze z rezonansem Fermiego, jest poprzez część rzeczywistą energii własnej związane transformacją Kramersa-Kroniga z poszerzeniem linii (część urojona), które akurat dla składowej TO jest bardzo duże, a dla maksimum dwufononowego niemal znika [10].

5. Izotopowa renormalizacja krawędzi pasm

Zależność częstości i amplitud fononów od masy izotopów wpływa również na strukturę elektronową półprzewodników. Jeśli na przykład maleje parametr sieci kryształu, to wynikające stąd silniejsze nakładanie się funkcji falowych prowadzi w ogólności do większych przerw pasmowych. Zjawisko to jest analogiczne do zmian wywołanych przez rozszerzalność temperaturową [1-3,12]. Przy porównaniu z wynikami doświadczalnymi okazuje się jednak, że zjawiska izotopowe są z reguły znacznie silniejsze, niż można by oczekiwać tylko na podstawie zmian parametrów sieci.

5.1. Oddziaływanie elektron-fonon a stany elektronowe

Oddziaływanie elektron-fonon istotnie wnosi znaczny wkład do zjawisk izotopowych w zakresie struktury elektronowej [1-3,12]. Z jakościowego punktu widzenia potencjał, działający na stany elektronowe, jest modulowany i osłabiany przez drgania sieci. W następstwie tego zachodzą procesy rozproszenia z emisją lub absorpcją fononów, które renormalizują energię i szerokość linii stanów elektronowych analogicznie, jak zależności temperaturowe. Ze wzrostem temperatury rośnie amplituda fononu, a zatem także poprawka do energii stanu, co z reguły prowadzi do zmniejszenia przerw energetycznych. Natomiast ze wzrostem masy izotopu poprawka ta staje się mniejsza, dzięki czemu można oczekiwać wzrostu przerw energetycznych. W celu dyskusji tych zjawisk w skali mikroskopowej analizuje się dwa przyczynki: oddziaływanie elektronu z dwoma fononami w pierwszym rzędzie rachunku zaburzeń, czyli tzw. człon Debye'a - Wallera, oraz sprzężenie z jednym fononem w drugim rzędzie rachunku zaburzeń, czyli człon energii własnej [1-3]. Oba przyczynki z uwagi na swą zależność od $\langle u^2 \rangle$ są proporcjonalne do $1/\sqrt{m}$.

5.2. Masy izotopów a przerwy energetyczne

Przy użyciu takich metod optycznych, jak fotoluminescencja, reflektometria czy spektroskopia modulacyjna można badać, w jaki sposób przerwy pasmowe w półprzewodnikach zmieniają się w zależności od masy izotopu [1-3,12]. Dla najważniejszych przejść w germanie stwierdza się ich wzrost dla większej masy M , który np. dla najmniejszej przerwy skośnej wynosi 0.35 meV/j.m.a. (j.m.a. – jednostka masy atomowej) [2]. Obliczenie teoretyczne tych przesunięć pozwala na oszacowanie przyczynków pochodzących od oddziaływania elektron-fonon oraz od zmian parametrów sieci, a także na sprawdzenie modeli dynamiki sieci i struktury pasmowej.

Szczególnie interesujące są pod tym względem związki półprzewodnikowe, w których dzięki podstawieniu izotopowemu pojawiają się dalsze możliwości wpływu na strukturę elektronową. Przykładowo, prosta przerwa energetyczna w $^{71}\text{GaAs}$ jest większa niż w $^{69}\text{GaAs}$ o 0.8 meV [12]. Natomiast w CuCl po podstawieniu izotopowym ^{65}Cu zamiast ^{63}Cu zaobserwowano zmniejszenie przerwy prostej o 0.078 meV/j.m.a. [11]. Fakt ten jest ściśle związany z silnie nieliniowym zwiększaniem się przerwy energetycznej ze wzrostem temperatury, zaobserwowanym w tym materiale. W niskich temperaturach do renormalizacji przyczyniają się głównie niskoczęstotliwościowe fonony akustyczne, których rozkład amplitud jest określony przez drgania jonów miedzi. Wymieszanie stanów walencyjnych typu p z orbitalami miedzi typu d zmienia wkład pasma walencyjnego do zależności temperaturowej w taki sposób, że prowadzi to do wzrostu energii. W wyższych temperaturach odgrywają większą rolę fonony optyczne, związane z drganiami chloru, które wymuszają „normalną” zależność. Nakładanie się obu zjawisk prowadzi powyżej 100 K do wyraźnej redukcji wzrostu szerokości przerwy pasmowej. Dlatego po podstawieniu chloru oczekiwać należy takiego efektu izotopowego, jak w Ge lub GaAs.

6. Podsumowanie i perspektywy

W przedyskutowanych przykładach zilustrowano możliwości badania zjawisk fizycznych w półprzewodnikach o czystym składzie izotopowym. Różnice mas jąder wpływają na dynamikę sieci oraz strukturę elektronową kryształu. Wynika stąd poszerzenie zakresu badań własności fazy skondensowanej, co może prowadzić do zrozumienia problemów, które dotychczas nie znalazły wyjaśnienia.

Na podstawie opisanych badań związków półprzewodnikowych można przypuszczać, że będą one odgrywały w przyszłości wielką rolę, i to nie tylko dlatego, że dają informacje o wektorach własnych drgań. Jeśli uda się wykorzystać wspomniane na wstępie inne stopnie swobody izotopów trwałych, to badania mogą się rozwinąć w dalszych, interesujących kierunkach. Niezwykle silna monochromatyzacja promieniowania synchrotronowego poprzez rezonansową dyfrakcję braggowską na poziomach jądrowych w odpowiednich wielowarstwach izotopowych powinna umożliwić także eksperymenty mössbauerowskie oraz znaczną poprawę rozdzielczości niesprężystego rozpraszania promieni X (por. [14] – tłum.). Kryształy z izotopów o małym przekroju czynnym na wychwytywanie neutronów umożliwią takie badania dyspersji fononów oraz innych własności przy użyciu rozpraszania neutronów, jakie nie były dotychczas możliwe, np. w CdS – sztandarowym półprzewodniku o strukturze wurcytu. Również wzbudzenia pola krystalicznego w wysokotemperaturowych nadprzewodnikach, które zawierają

jony ziem rzadkich, jak samar, można badać przy użyciu odpowiednich izotopów.

W dziedzinie zastosowań istnieje z pewnością duży potencjał rozwoju materiałów o czystym składzie izotopowym, które mogłyby być użyte do konstrukcji detektorów o niskiej czułości na tło pochodzące od promieniowania kosmicznego [2]. Dalsze bodźce rozwoju mogą pochodzić od neutronowego domieszkowania transmutacyjnego [4], autodyfuzji, termicznego łączenia podzespołów oraz metrologii. Można już znaleźć pierwsze doniesienia o użyciu izotopów nietrwałych. Próbuje się je np. zastosować do identyfikacji pochodzenia chemicznego linii defektowych w luminescencji.

Tłumaczył z jęz. niemieckiego *Jerzy Gronkowski*
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Literatura

- [1] M. Cardona, P. Etchegoin, H.D. Fuchs, P. Molinás-Mata, *J. Phys.: Condens. Matter* **5**, A612 (1993).
- [2] M. Cardona, w: *Festkörperprobleme / Advances in Solid State Physics*, t. 34, red. R. Helbig (Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1994), s. 35.
- [3] A.K. Ramdas, *Solid State Commun.* **96**, 111 (1995).
- [4] E.E. Haller, *J. Appl. Phys.* **77**, 2857 (1995).
- [5] H.D. Fuchs, P. Etchegoin, M. Cardona, K. Itoh, E.E. Haller, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1715 (1993).
- [6] J. Spitzer, T. Ruf, M. Cardona, W. Dondl, R. Schorer, G. Abstreiter, E.E. Haller, *Phys. Rev. Lett.* **72**, 1565 (1994).
- [7] J. Spitzer, *Untersuchung der Grenzflächeneigenschaften von Halbleiterübergittern mit Ramanstreuung (Badania własności międzypowierzchni supersieci półprzewodnikowych za pomocą rozpraszania ramanowskiego)*, rozprawa doktorska, Uniwersytet w Stuttgarcie, 1994.
- [8] L. Wang, L. Hsu, E.E. Haller, J.W. Erickson, A. Fischer, K. Eberl, M. Cardona, *Phys. Rev. Lett.* **76**, 2342 (1996).
- [9] H.D. Fuchs, W. Walukiewicz, E.E. Haller, W. Dondl, R. Schorer, G. Abstreiter, A.I. Rudnev, A.V. Tikhomirov, V.I. Ozhogin, *Phys. Rev. B* **51**, 16817 (1995).
- [10] A. Göbel, T. Ruf, M. Cardona, C.T. Lin, *Physica B* **219+220**, 511 (1996).
- [11] N. Garro, A. Cantarero, M. Cardona, T. Ruf, A. Göbel, C.T. Lin, K. Reimann, S. Rübennacke, M. Steube, *Solid State Commun.* **98**, 27 (1996).
- [12] N. Garro, A. Cantarero, M. Cardona, T. Ruf, A. Göbel, T. Ruf, K. Eberl, *Phys. Rev. B* **54**, 4732 (1996).
- [13] K. Bartkowski, M. Cardona, E. Gmelin, E.E. Haller, V. Ozhogin, A. Zhernov, *Jahresbericht 1995 des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung*, Stuttgart, s. I-103.
- [14] E.D. Isaacs, P. Platzman, *Postępy Fizyki* **47**, 575 (1996) [uzupełnienie tłumacza].

RÓŻNE

David Shugar

*Zakład Biofizyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW
oraz Instytut Biochemii i Biofizyki PAN*

Warszawa

Katedra Biofizyki UW a rozwój biologii molekularnej*

**Biophysics Department of the University of Warsaw
and development of molecular biology**

Jestem naprawdę wzruszony i głęboko świadomy wielkiego zaszczytu, jakim obdarzył mnie Uniwersytet Warszawski, wybitny, światowy ośrodek akademicki. Jestem także dumny z tego, że dokładnie 30 lat temu, kiedy Uniwersytet Warszawski podjął decyzję o utworzeniu na Wydziale Fizyki Katedry Biofizyki, właśnie mnie zaproponowano jej organizację. W mojej pamięci ciągle jest żywe spotkanie na ten temat z Ministrem Szkolnictwa Wyższego, w którym uczestniczyli m.in. rektor Uniwersytetu oraz dyrekcja Instytutu Fizyki Doświadczalnej z profesorami Jerzym Pniewskim i Leonardem Sosnowskim. Dziś Katedra Biofizyki cieszy się światowym uznaniem w niektórych dziedzinach biofizyki i biologii molekularnej, zarówno w zakresie prac doświadczalnych, jak i teoretycznych.

Powstanie Katedry Biofizyki było możliwe tylko dzięki poparciu Wydziału Fizyki UW i Instytutu Biochemii i Biofizyki PAN oraz wielu kolegów i współpracowników z innych ośrodków. W tym miejscu chciałbym złożyć hołd pamięci

*Tekst wystąpienia podczas uroczystości nadania tytułu doktora *honoris causa* Uniwersytetu Warszawskiego w dniu 23 listopada 1996 r.

i przypomnieć udział przedwcześnie zmarłego prof. Włodzimierza Kołosa, światowej sławy uczonego zajmującego się mechaniką kwantowa układów cząsteczkowych. Jego poparcie polegało nie tylko na prowadzeniu zajęć dydaktycznych ale również na kierowaniu pierwszymi pracami teoretycznymi, dotyczącymi m.in. mechanizmów mutagenety. Uważam, że zaszczyt, którym mnie dziś obdarzono, obejmuje także tych wszystkich, którzy przyczynili się do powstania Katedry.

Osiągnięcia biologów i genetyków w drugiej połowie tego wieku są oszałamiające. Chcę ograniczyć się tutaj do wkładu fizyków i fizykochemików w poznawaniu i wyjaśnianiu fizycznych podstaw zjawisk biologicznych. Geneza mojego zainteresowania biologią była w pewnym sensie przypadkowa. Jeszcze w czasie, gdy wykonywałem pracę doktorską w dziedzinie fizyki atomowej na uniwersytecie McGill w Montrealu, szpital uniwersytecki zwrócił się do mnie z prośbą o sprawowanie nadzoru nad budową ultrawirówki do celów biologicznych i klinicznych. Umożliwiła ona badanie wielkości i kształtu makrocząsteczek (enzymów i innych białek) za pomocą metod hydrodynamicznych. Praca ta uświadomiła mi, że fizyka może odgrywać istotną rolę w biologii i medycynie. Warto tu dodać, że tak jak obrazy dyfrakcyjne promieniowania rentgenowskiego przyczyniły się do odkrycia budowy przestrzennej DNA, tak metody hydrodynamiczne pozwoliły na wyjaśnienie mechanizmu replikacji DNA w organizmach żywych i do dziś dnia są nadal wykorzystywane, nie tylko w biologii molekularnej.

Chociaż ściślejsze kontakty fizyki z biologią datują się już od dawna, to ich istotny rozwój nastąpił z chwilą wejścia tak biologii, jak i fizyki w świat struktur cząsteczkowych. Już w latach trzydziestych niektórzy wybitni fizycy teoretycy, tacy jak Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Max Delbrück przy udziale genetyka Timofiejewa-Ressowskiego, spotykali się na cotygodniowych dyskusjach na temat fizycznych podstaw zjawiska życia. W 1937 r. Delbrück, nie godząc się na życie w warunkach systemu hitlerowskiego, opuścił Niemcy i wyjechał do Stanów Zjednoczonych, gdzie odegrał kluczową rolę w stworzeniu molekularnych podstaw genetyki, za co otrzymał później nagrodę Nobla. Dwa lata później z tych samych powodów opuścił Austrię Erwin Schrödinger przenosząc się do Irlandii, gdzie został dyrektorem Institute for Advanced Studies, utworzonego przez ówczesnego premiera Irlandii, matematyka Eamona de Valera. Prócz prowadzenia badań naukowych, do podstawowego obowiązku tego Instytutu należało organizowanie serii popularnych, rocznych wykładów dla mieszkańców Dublina.

W 1943 r. Schrödinger w ramach takiej serii prowadził cykl wykładów, opublikowanych rok później w niewielkiej książeczce pt. *Co to jest życie – fizyczne podstawy życia komórki*. Powołując się na wcześniejszy wniosek Delbrücka o tym, że wielkość jednostki genetycznej, zwanej genem, jest rzędu tylko tysięcy atomów, zwrócił uwagę na trudną do wytłumaczenia sprzeczność pomiędzy niezwykle

uporządkowaniem procesów życiowych a zasadami fizyki statystycznej. Po odkryciu natury genu, struktury podwójnej spirali DNA i wnikięciu w molekularny przebieg procesu przekazywania informacji genetycznej, znamy dziś wyjaśnienie tej pozornej sprzeczności. Polega ona na tym, że w komórce istnieją zespoły enzymów, które w wysokim stopniu zapobiegają niedokładnościom procesu replikacji, oraz inne zespoły enzymatyczne, które naprawiają większość błędów, pojawiających się z różnych powodów w czasie rozwoju komórki. Warto podkreślić, że enzymy naprawcze zostały odkryte przez fizyków, w toku badań nad wpływem światła nadfioletowego na powstawanie mutacji w DNA. Miło wspomnieć, że kiedy prof. Delbrück zdecydował się podjąć tę tematykę badań, przyjechał najpierw na konsultacje naukowe właśnie do naszego warszawskiego środowiska, które już wtedy było znane ze swych osiągnięć w tej dziedzinie.

Książka Schrödingera, przedstawiająca podejście jednego z twórców mechaniki kwantowej do podstawowych problemów genetyki i ogólniej do zjawiska życia wywołała ogromne zainteresowanie nie tylko wśród fizyków, ale również wśród naukowców z innych dyscyplin. Można wymienić tu dla przykładu współodkrywców struktury DNA, chemika Jamesa Watsona i fizyka Francisca Cricka. Watson wspominał, że w roku 1946 natrafił na książeczkę Schrödingera i od tego właśnie momentu postanowił, że swą dalszą karierę naukową poświęci badaniom struktury genu. Wyjaśnienie tej struktury, a nieco później poznanie kodu genetycznego oraz mechanizmu biosyntezy białek, doprowadziło do prawdziwej rewolucji w biologii i genetyce molekularnej.

By głębiej wyjaśnić sposób funkcjonowania żywej komórki, nie wystarcza już określenie struktury poszczególnych jej składników. Konieczne jest wykorzystanie uniwersalnych praw oddziaływań pomiędzy nimi, które umożliwia wyciąganie wniosków ilościowych. To zaś wymaga konieczności zastosowania praw fizyki, które są z powodzeniem stosowane do coraz to nowych odkryć biologów, w szczególności biochemików, np. do procesów różnicowania i morfogenezy, zachodzących w trakcie rozwoju organizmów wyższych. Wiadomo dziś, że mamy tu do czynienia z procesami regulacji genów poprzez kombinację tzw. wewnętrznych i zewnętrznych sygnałów komórkowych. Nic więc dziwnego, że kilka miesięcy temu Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne poświęciło poznawaniu zjawisk życia kilkudniową sesję z udziałem biologów, genetyków i chemików. We wnioskach końcowych tej konferencji podkreślono, że dalszy postęp badań zależy w decydujący sposób od rozwoju współpracy interdyscyplinarnej.

Czy podobne osiągnięcia nastąpią w dziedzinie wyjaśniania podstawowych zasad funkcjonowania układu nerwowego? Stosunkowo dobrze rozwinięte badania neurofizjologiczne potrafią wyjaśnić wiele aspektów funkcjonowania neuronów. Natomiast największe dotychczasowe osiągnięcia fizyki, biologii molekular-

nej, elektrofizjologii i cybernetyki nie potrafią stworzyć obiecującego podejścia do mechanizmów pamięci, a tym bardziej świadomości. Niektórzy badacze sugerują nawet, że mózg człowieka nie jest zdolny do podania wyjaśnienia istoty swego działania. Z drugiej strony jednak, wiele osób zafascynowanych ogromnym postępowaniem technik komputerowych marzy o budowie takiego komputera, który potrafiłby symulować działanie mózgu. Takim ideom przeciwstawił się w specjalnie napisanej książce jeden z najwybitniejszych autorytetów w dziedzinie fizyki matematycznej, znany ze swych prac z dziedziny czarnych dziur we Wszechświecie, Robert Penrose. Analiza możliwości fizyki i matematyki w wyjaśnianiu mechanizmów funkcjonowania układu nerwowego doprowadziła go do wniosku, że struktura maszyn i obliczeń komputerowych nie jest zdolna do tego, by mogły pojawić się w niej cechy świadomości. Świadomość bowiem posiada pewne cechy, które nie dają się objąć metodami obliczeniowymi. W pewnym sensie możemy porównać „czarną dziurę świadomości” z czarnymi dziurami Wszechświata. Czy potrafimy je poznać? Mogę odpowiedzieć starym powiedzeniem, że: „trudne rzeczy robimy natychmiast, realizacja niemożliwych potrwa trochę dłużej”.

Wobec tak szybkiego i ogromnego postępu w biologii i genetyce molekularnej należy zadać sobie pytanie, czy potrafimy odpowiednio wykorzystać tę wiedzę dla dobra ludzkości. Pytanie tego typu postawiono już wcześniej, 50 lat temu, jeszcze przed, a następnie po Hiroszimie i Nagasaki. Chociaż wydaje się, że jesteśmy jeszcze bardzo daleko od molekularnych możliwości manipulowania świadomością, to można podzielać obawy prof. Penrose'a co do ewentualnych ujemnych konsekwencji takich działań i konieczności społecznej kontroli skutków takiego odkrycia.

Dwadzieścia lat temu, kiedy biologia molekularna opanowała technikę manipulacji genami w bakteriach (zwaną inżynierią genetyczną a później biotechnologią), sami biologowie zdali sobie sprawę z potencjalnych zagrożeń jakie ona niesie i podnieśli tę sprawę publicznie. Doprowadziło to do zorganizowania międzynarodowej konferencji w Asilomar w Kalifornii, gdzie ustalono konkretne zasady bezpieczeństwa pracy w tej dziedzinie. Dzisiaj umiemy już manipulować genami roślin i zwierząt. Od kilku miesięcy na rynku Stanów Zjednoczonych sprzedaje się tak zmodyfikowane genetycznie jarzyny, by były odporne na działanie herbicydów. Pomimo protestów w Europie Zachodniej, władze amerykańskie odmawiają handlowego oznakowania tego rodzaju jarzyn. Co więcej, jesteśmy w przeddzień rozpoczęcia tzw. terapii genowej, czyli metody leczenia chorób genetycznych poprzez modyfikację genów ludzkich.

Postęp jest imponujący, wręcz oszałamiający. Ale alarmująca jest dla mnie towarzysząca temu ogromna komercjalizacja biologii i genetyki molekularnej (nie wspominając już o innych dziedzinach nauki). Komercjalizacja, w której czynny

udział biorą także niektórzy czołowi badacze. Wielu z nich staje się członkami zarządów potężnych firm farmaceutycznych, czy biotechnologicznych. Coraz częstsze są przypadki ukrywania przed społecznością naukową wyników własnych badań naukowych, które traktowane są jako „osobista własność intelektualna”, przeznaczona dla celów komercyjnych. Jak pisał parę miesięcy temu na łamach *Nature* angielski fizyk John Ziman, nauka akademicka pod naciskiem wymagań technologicznych jest w trakcie przejścia do nowej fazy, zwanej nauką post-akademicką. Skutki tego nie muszą być dla nas radosne. Czy potrafimy odpowiednio na to reagować w interesie całej ludzkości? Musimy chyba zadać sobie pytanie: czy podstawowym celem badań naukowych będzie nadal poszukiwanie prawdy, czy zastąpi ją pogoń za finansowym zyskiem? I jakie będą tego skutki?

W Polsce proces ten następuje wolniej. Być może częściowo wskutek śmiesznie niskich nakładów na naukę w ogóle. Nie jest to jednak pocieszające. Pauperyzacja nauki w Polsce uniemożliwia bowiem odgrywanie przez nią pozytywnej roli w różnorodnych dziedzinach życia społecznego. Dochodzę w tym miejscu do pytania końcowego. Czy my, jako środowisko naukowe, potrafimy uruchomić takie działania, które uświadomią innym grupom społecznym i ich przedstawicielom palącą konieczność zmiany tej sytuacji?

Marian Apostol

*Department of Theoretical Physics
Institute of Atomic Physics
Magurele-Bucharest, Rumunia*

O stanie fizyki*

The state of physics

Abstract: A simplified explanation is offered of the present status of physics in society.

Badania w dziedzinie fizyki były finansowane dzięki dwóm mitom: zimnej wojny i rozwoju cywilnych zastosowań technicznych. Żaden z tych mitów już nie istnieje. Pierwszy zniknął, gdyż nie ma już zimnej wojny. Drugi stał się rzeczywistością: badania fizyczne zaowocowały ogromną liczbą wartościowych zastosowań technicznych w życiu cywilnym. Społeczeństwo wyraźnie odczuwa, że nie ma już powodu, by kontynuować ich finansowanie. Fizycy przegrali i powinni to przyznać.

Kilka ostatnich prób zasilenia pieniędzmi badań w dziedzinie fizyki, jak wielkie programy syntezy termojądrowej, nadprzewodzącego superzderzacza i badań kosmicznych, poniosło klęskę. Ci, którzy sprawują kontrolę nad pieniędzmi, przestali się bać wojny atomowej, a już i tak cieszą się obfitością produktów ubocznych badań naukowych w postaci nowoczesnych udogodnień. Tych ostatnich mamy jeszcze w zapasie na wiele lat. Czemu więc ci ludzie mieliby zawracać sobie głowę dalszym finansowaniem nauki? Nie ma już potrzeby. Nawet dla nich istnieją wprawdzie problemy – choroby, głód, przeludnienie, przestępczość oraz inne słabości demokracji; być może rządy nie opierałyby się zbyt, by płacić za rozwiązanie tych problemów. Niestety fizyka nie obiecuje tych rozwiązań. Z drugiej strony ludzie biedni nie uzyskali widocznych korzyści z nauki, więc przestali w nią wierzyć. Przestaliśmy cieszyć się zaufaniem, choć powinniśmy przyznać, że

*Skrócona wersja tego artykułu została opublikowana w *Europhysics News* 27, nr 3 (1996).

nie było ono zasłużone. Ogromna rzesza klas średnich nie dostrzega tych rzeczy, a zresztą nie odgrywa ona większej roli; o polityce decydują coraz mniejsze grupy.

Co więc będziemy robić? Większość fizyków zacznie uczyć w coraz liczniejszych szkołach i uniwersytetach, których wielkość i standardy zmaleją. Ludzi coraz bardziej pociągać będą zewnętrzne aspekty fizyki: fascynacja otaczająca odkrycia naukowe, podniecające przygody umysłu ludzkiego rozwiązującego tajemnice przyrody w poszukiwaniu prawdy, anegdoty z życia wielkich fizyków, i trochę innych ekscytujących, romantycznych rzeczy tego rodzaju; minimalna wiedza potrzebna do obsługi urządzeń elektronicznych, które tak umilają życie codzienne; a także modne dyplomy i stopnie naukowe. Fizyka stanie się zajęciem kulturalnym i edukacyjnym, jeśli tylko zgodzi się na obniżenie wymagań. Jedyne, co zostało nam na sprzedaż, to zewnętrzny pozór nauki, i będziemy nim handlować. Część fizyków pozostanie w małych laboratoriach, które nabiorą raczej technicznego niż badawczego charakteru, i będą służyć pomocą oraz doradztwem przedsiębiorstwom. Pewna część przejdzie do innych dyscyplin, takich jak inżynieria, chemia, biologia, medycyna, klimatologia i geofizyka, ekonomia czy nauki społeczne, a także komunikacja, transport, przemysł spożywczy i rozrywkowy. Fizyka jest tam wymagana na poziomie opisowym. Umiejętności analityczne i techniczne fizyków i ich doświadczenie pochodzące z w pełni rozwiniętej dyscypliny naukowej będą cenne dla rozwoju wyżej wymienionych dziedzin. Działalność ta jednak nie ma nic wspólnego z badaniami naukowymi; jest tylko tym, co fizycy będą robić wkrótce, gdy już przestaną być fizykami.

Większość z nas nie wierzy jeszcze, że bal się skończył, i nadal żywi złudzenia, iż wszystko jest, lub wkrótce będzie, tak jak było. Próbując utrzymać przy życiu nieboszczyka, postępujemy najlepiej, jak umiemy: mnóstwo nieistotnych publikacji, prawie codzienne ogłaszanie zapierających dech nowych odkryć, które następnego dnia okazują się fałszywe; wielkie konferencje i kongresy organizowane w nadziei, że najważniejsze są duże liczby; szkoły we wszystkich porach roku, mające stworzyć wrażenie, że coś wisi w powietrzu; wreszcie uczestnictwo w małych ekskluzywnych gronach, pretendujących do miana jedynych uprawiających „poprawną politycznie” naukę. Smak pieniędzy jest słodki, a próżność jest potężną siłą napędową, i we wszystkich przypadkach wykazujemy brak krytycznego myślenia. Podobnie jak laicy, fizycy też mają swój przydział braku zdrowego rozsądku. Są też tacy, którzy wykonują ruchy pozorowane próbując zapamiętać coś zrobić, co, w najlepszym wypadku, jest tylko rodzajem mimikry. Nasze czasopisma naukowe publikują obecnie prace błędne lub trywialne, odrzucając systematycznie te nieliczne dobre. Musimy przyznać, że po prostu jest nas zbyt wielu, i to zbyt kiepskich. Społeczność naukowa jest dziś o rząd wielkości liczniejsza, niż w ostatnich trzech stuleciach, a od czasu powstania mechaniki kwantowej nie było

zasadniczego postępu w naszej dziedzinie. Fizyka jest jednak nauką przyrodniczą i jako taka tylko częściowo stosuje się do istot ludzkich, powinna więc być traktowana *cum grano salis*. Choć pieniądze publiczne okazały się dla nas, fizyków, tak uzależniająca, jest jednak oczywiste, że wszystkie osiągnięcia techniczne obecnego społeczeństwa mają źródło w naszej pracy, i że społeczny koszt tej pracy był niezwykle niski. Musimy więc sobie uświadomić, że jesteśmy nie dość kosztowni, a za bardzo użyteczni. Dlatego jest rzeczą zasmucającą, jak bardzo my, fizycy, podobnie jak wielu innych ludzi, okazujemy swoje złe nawyki, brak rozsądku, arogancję i frustrację. Ostatecznie, podniecenie i przyjemność z uprawiania nauki nie mogą dłużej konkurować z atrakcjami, których dostarcza obecnie przemysł rozrywkowy, a występowanie w roli komedianów jest nam już nie w smak. Pozostaje faktem, że na badania naukowe jest coraz mniej i mniej pieniędzy.

Dlaczego wszystko ułożyło się tak źle, jeśli nie liczyć małej grupki szczęściarzy? Tego nie wiemy. Ale dostaliśmy dobrą lekcję, która mogłaby pomóc nam zmądrzeć. Teraz, gdy poparcie osłabło, patrząc wstecz widzimy, jacy byliśmy niemądrzy i jak głupio bawiliśmy się finansowanymi przez społeczeństwo badaniami.

Po II wojnie światowej fizycy umówili się ze społeczeństwem, że badania fizyczne będą finansowane bezpośrednio. Założono wielkie „fabryki nauki”, czyli instytuty badawcze. W owych czasach żadna ze stron nie wiedziała, co sprzedaje, ani co druga strona kupuje. Jedynym faktem, który był dla fizyków straszliwym listem uwierzytelniającym (i narzędziem przetargu?) była bomba atomowa. Ale przedmiot umowy pozostał bałamutnym marzeniem, zrodzonym z żądzy władzy, humanitarnych ideałów, pełnego uniesienia entuzjazmu, strachu, obietnic komfortu i dobrobytu, itp. Dlaczego miałyby ta umowa dobrze działać, skoro nikt właściwie nie wiedział, co robi? Nikt nie byłby w stanie przewidzieć zadziwiających rezultatów: reaktorów jądrowych, mikroelektroniki opartej na krzemie, laserów, rezonansu magnetycznego, pamięci magnetycznych, mikroskopu elektronowego, epitaksji molekularnej i nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Były jednak dwie subtelne motywacje tej umowy, o których mówi się rzadko mimo ich niezwyklej istotności. Jedna pochodzi od fizyków. Badania naukowe są ciągłym oscylovaniem między wiarą i niewiarą, na granicy między wiedzą i niewiedzą. Naukowcy wiedzą jedynie, że coś powinno istnieć, ale nie wiedzą, jaką szczególną postać może przyjąć. W konsekwencji będzie ich zawsze kusiło, by sprawdzić swoje wizje, by zobaczyć, czy są rzeczywiste. Gdy społeczeństwo dało im do tego okazję, rzucili się, by ubić interes. Zawsze będą to robić, i nigdy nie będą w stanie powiedzieć dokładnie, co im z tego wyjdzie. Przedmiot każdego takiego targu zawsze będzie na początku w dużym stopniu nieznany. Z drugiej strony, społeczeństwo zainwestowało śmiesznie małe pieniądze w badania, i zawsze tak będzie, jeśli okazja się powtórzy. Faktem jest, że badania naukowe są szalenie

tanie w porównaniu z innymi wydatkami społeczeństwa. Ogólny brak zainteresowania badaniami naukowymi jest powodem ich taniości; nie ma dużego rynku na badania i nigdy go nie będzie. Fakt, że pieniądze zainwestowane w naukę były tak małe, stanowił drugą głęboką motywację, by ją uprawiać. Ryzyko było małe. Oczywiście, większość tych pieniędzy została zmarnowana, ale nawet największa część czegoś małego jest nadal mała. Natomiast ten niewielki pozostały ułamek przyniósł ogromne zyski. W ten sposób mały procent szczęśliwców stał się bogatszy i potężniejszy. Biznes, który zainwestował w naukę, stał się bardzo korzystny. Tak korzystny, że teraz trzeba przystanąć i zacząć się cieszyć dochodami. „Współzawodnictwo ekonomiczne” należy rozumieć jako „zbieranie zysków z osiągnięć naukowych i technicznych w najkrótszym czasie”. Stratedzy wojskowi przez dziesiątki lat będą rozgrywać gry komputerowe, gdyż ich arsenały są zapchane bronią ostateczną, której nie można już udoskonalić. Bankierzy będą bawić się szybkością, z jaką komunikacja elektroniczna pozwala przesyłać pieniądze tu i tam, nie tracąc ich z oczu. Politycy będą mieć miłą zabawę deliberując, co to wszystko znaczy i co z tym zrobić, przez czas nieskończony. A nade wszystko ludzie będą oglądać bez końca telewizję, zaabsorbowani psychicznie w cyberprzestrzeniach, i korzystać z nieograniczonych źródeł energii jądrowej. Kryzys, którym dotknięte są dziś badania naukowe, jest kryzysem nadprodukcji.

Naukowcy zachowują się zdumiewająco w stosunku do społeczeństwa. W oddziaływaniu ze społeczeństwem rzadko wykazujemy się krytycznym myśleniem, tak właściwym dla nauk przyrodniczych. Dzielimy się naszą wiedzą na oślep, z każdym, z chęcią zweryfikowania tej wiedzy, gdyż otwartość jest bardzo owocnym sposobem uprawiania nauki. Podejmując to rozpowszechnianie sprzedajemy nie tylko naszą wiedzę, ale cały kapitał odziedziczony po minionych pokoleniach. Prosząc o finansowanie naszych projektów badawczych sprzedajemy nie tylko naszą wiedzę, ale i całą tradycję naukową, co rzuca cień na nasze poczucie moralnej odpowiedzialności, a przynajmniej na nasz sąd o rentowności badań naukowych. Nigdy nie zadaliśmy sobie trudu, by uzyskać gwarancje przyszłego rozwoju nauki, nawet gdy byliśmy świadkami wielkich korzyści płynących z naszych dokonań. Z drugiej strony nie mamy zwyczaju wystarczająco silnie podkreślać, że nauka ciągle daleka jest od rozwiązania wielkich problemów ludzkości; nie wypowiadamy zbyt często podstawowych stwierdzeń określających nasz zawód: „nie wiemy”, „nie potrafimy”. Dlatego utraciliśmy zaufanie. Zwabiamy początkujących w dziedzinę badań naukowych, nie będąc w stanie powiedzieć im, o co w tym wszystkim chodzi. Zespołowość badań naukowych wzrastała przez lata bez umiaru; społeczeństwo odkryło dla siebie nowe powołanie, i nie powinniśmy się zdziwić, gdy prawo do prowadzenia badań naukowych zostanie wpisane na listę Praw Człowieka. Ludzie przyjdą do nauki, by przekonać się na własne oczy

i przez własne doświadczenie, czym ona jest. Stwierdzą, że nauka jest znajomością naszych ograniczeń, i należy wątpić, czy im się to spodoba.

A co z fizyką? Mimo wielkiego zasobu nagromadzonych faktów, i to w tak licznych i rozmaitych gałęziach, nie pojawił się żaden nowy problem. Przeciwnie, identyfikując nowe obiekty fizyczne, ciągle tracimy równocześnie stare dobre problemy, które stanowią o zakresie naszej nauki. Częste obwieszczenia o nowych problemach dotyczą fałszywych problemów. Sprawdziliśmy, że wszystkie znane idee i pojęcia działają dobrze. Nadal mamy stare zagadki (co nie znaczy, że powinniśmy się zabrać za ich rozwiązywanie!): dlaczego $F = ma$, dlaczego entropia wzrasta, dlaczego przestrzeń jest związana z czasem i dlaczego fale i cząstki są tym samym? Nie wiemy, dlaczego; ale kto o to pyta? Nikt nie prosił Kartezjusza, Galileusza czy Newtona, by wyjaśnili, czym jest ruch; ich to po prostu ciekawiło (choć ich badania też wymagały pieniędzy!). Nie było widocznej potrzeby, by zrozumieć chaotyczny ruch atomów; Boltzmann zrobił to powodowany entuzjazmem, który mógł okazać się zabójczy. Ludzie używający równań elektromagnetyzmu wcale nie byli świadomi, że pominęli prąd przesunięcia, z jednym wyjątkiem, którym był Maxwell. Gdyby nie upór Bohra, żeby jakoś opisać elektrony w atomie, prawdopodobnie nie mielibyśmy mechaniki kwantowej.

W milczeniu i pokorze, gdy zniknie zgubna arogancja, charakterystyczna dla tego interludium ze społeczeństwem, fizyka odzyska swą dawną rolę: filozofii przyrody (*philosophiae naturalis*).

Tłumaczyła Magdalena Staszal

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Od Redakcji

Wydaje nam się, że ciekawe będzie zestawienie powyższych rozważań fizyka europejskiego z opinią grupy fizyków amerykańskich co do sytuacji w ich kraju. Na jesieni 1994 czworo profesorów fizyki: Sol Gruner (Uniwersytet w Princeton), James Langer (Uniwersytet Kalifornijski, Santa Barbara), Phil Nelson (Uniwersytet Pensylwanii w Filadelfii) i Viola Vogel (Uniwersytet stanu Waszyngton w Seattle) spotkało się w Instytucie Fizyki Teoretycznej w Santa Barbara i analizowało sytuację fizyki w wyższych uczelniach amerykańskich (*Phys. Today* 48, nr 6 (1995)). Uważają oni, że fizycy stanęli przed poważnymi problemami co do przyszłości swego zawodu i że jest już pora, aby przeprowadzić szczerą analizę sytuacji.

Średni wiek profesorów fizyki na uniwersytetach amerykańskich rośnie od dwudziestu lat prawie liniowo o 8 miesięcy na rok kalendarzowy. Niektóre uniwersytety (np. Uniwersytet Kalifornijski) próbują radzić sobie z problemem starzejącej się profesury przez umożliwienie wcześniejszego przechodzenia na emeryturę. Nie zawsze przynosi to skutek, gdyż czasem owi profesorowie-emeryci znajdują zatrudnienie w innych instytucjach, zabierając przez to miejsca pracy młodszym fizykom.

Rozkład liczby pracowników uniwersyteckich zajmujących się poszczególnymi dziedzinami fizyki prawie się nie zmienił od dwudziestu lat. Skutek tego jest taki, że fizyka jako nazwa dyscypliny akademickiej przestała oznaczać szeroki, stale zmieniający się zakres badań naukowych, a stała się nazwą ustalonego zbioru kierunków nauczanych i badanych przez fizyków w danym uniwersytecie. Uderza przede wszystkim brak na wydziałach fizyki rozwoju astrofizyki i biofizyki, jak również nowoczesnego materiałowznawstwa. Świat szalenie się rozwija, natomiast obszar zainteresowań wydziałów fizyki pozostaje bez zmian. Fizycy akademicy powinni zapoczątkować nowe dziedziny badań i nowe zakresy kształcenia. Będzie to proces nowy i trudny. Nie chodzi tu o porzucenie głównych kierunków badań, lecz o większą otwartość na nowe idee i rozwój w nowych kierunkach. Trudno będzie o tej konieczności przekonać zarówno instytucje finansujące uniwersytety, jak i obecne zespoły profesorów.

Autorzy zwracają też uwagę na to, jak ważne jest rozwijanie badań interdyscyplinarnych we współpracy z kolegami z innych wydziałów. Aby dawało to dobre efekty, fizycy muszą pozbyć się swojej arogancji oraz poznać język i podstawy tych innych nauk.

Obecnie w USA mniej więcej połowa doktorów fizyki wykonuje pracę nie związaną z fizyką. Trzeba więc zastanowić się, jak obecnie kształcenie uniwersyteckie przygotowuje studentów do wypełniania zadań w tych innych miejscach pracy i jak ewentualnie zmienić programy kształcenia.

Fizyka znalazła się na rozdrożu. Absolwenci mają trudności w znalezieniu pracy, personel uniwersytecki starzeje się, a fizycy coraz bardziej izolują się od głównych zagadnień nowoczesnej nauki i potrzeb techniki. Fizycy muszą energicznie pracować nad tym, aby przyszłość fizyki była taka, jaką chcieliby mieć.

WSPOMNIENIA – ROCZNICE

Jerzy A. Janik

*Instytut Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego
Kraków*

Aspekty filozoficzne w twórczości naukowej Włodzimierza Kołosa

Philosophical aspects of scientific activity of Włodzimierz Kołos

Abstract: Philosophical aspects of scientific achievements of Włodzimierz Kołos are discussed basing upon his contribution to the conferences „Science-Religion-History” held regularly at Castel Gandolfo in the presence of His Holiness John Paul II.

Dobrze są mi znane teksty referatów, jakie Włodzimierz Kołos wygłosił na seminariach, których ogólny tytuł brzmi: „Nauka-Religia-Dzieje”, i które odbyły się w latach 1984, 1986, 1988, 1990, 1993 i 1995 z udziałem papieża Jana Pawła II w Castel Gandolfo. (Od razu małe sprostowanie: choroba nie pozwoliła Kołosowi uczestniczyć w seminarium w 1995 r., był natomiast na to seminarium dostarczony tekst jego referatu). Na tych referatach oprę dzisiejsze rozważania, czy może raczej wspomnienia. Rezygnując z porządku chronologicznego na korzyść porządku tematycznego, podaję tytuły tych wspomnień: „Spór o realność mikroświata”, seminarium 1986 r. [1]; „Indeterminizm w fizyce kwantowej i poza nią”, seminarium w 1993 r. [2]; „O odmianach redukcjonizmu w nauce i jego granicach”, seminarium 1988 r. [3]; „Transcendencja w ewolucji czyli kreacjonizm i naturalizm”, seminarium w 1984 r. [4]; „O myśleniu komputerów”, seminarium 1990 r. [5]; „Czy fizyk może nie być platonikiem?”, seminarium 1995 r. [6].

Kołos był niewątpliwie uprawniony do zabierania głosu w dyskusji nad realnością mikroświata, albo ogólniej nad jego statusem ontologicznym. Wysoką ocenę w środowisku fizyków i chemików na świecie uzyskały jego prace testujące stosowalność obliczeń kwantowych dla cząsteczki wodoru. Jako ten, który w tej dziedzinie *pars magna fuit*, mógł autorytatywnie powiedzieć, że mechanika kwantowa jest narzędziem niezawodnym. W tym miejscu warto chyba zacytować słowa napisane przez Stevena Weinberga [7]: „Wszyscy zgadzają się, jak należy posługiwać się mechaniką kwantową, natomiast przedmiotem poważnych sporów pozostaje kwestia, jak powinniśmy myśleć o tym, co robimy” (tłum. Piotr Amsterdamski). Kołos był zafascynowany antynomią występującą pomiędzy mechaniką kwantową jako doskonałym narzędziem, a brakiem klarowności interpretacji jej podstaw.

Nie jest moim celem powtarzanie opisu sytuacji dokonanego przez Kołosa w referacie „Spór o realność mikroświata” [1]. Zrobiłbym to zresztą gorzej od niego. W skrócie informuję, że Kołos przedstawia stanowisko interpretacji kopenhaskiej (na tle sporu Bohra z Einsteinem) i omawia problem tzw. nierówności Bella i konsekwencji eksperymentów wykonanych dla ich zweryfikowania. Negatywny wynik tych eksperymentów (w sensie niespełnienia nierówności Bella w pewnych sytuacjach z „areny” mikroświata) wyraża Kołos następująco: „Jeżeli (...) mikrocząstki są podobne do obiektów makroskopowych (sztabek), czyli istnieją obiektywnie i mają obiektywne atrybuty, to niespełnienie nierówności Bella świadczy o występowaniu między nimi szczególnych oddziaływań, nazwanych zwykle oddziaływaniami nielokalnymi, które natychmiast rozchodzą się na dowolnie duże odległości. Przeskakują one jak gdyby między ciałami bez udziału jakiegokolwiek pośrednika, może nawet bez przechodzenia przez przestrzeń. Występowanie takich nielokalnych oddziaływań jest zatem ceną, którą trzeba zapłacić, aby można było założyć obiektywną realność mikroświata. Możliwe jest jednak i inne wyjaśnienie wyniku doświadczalnego, nawiązujące do kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej. Zrezygnujmy z założenia, że mikrocząstki mają obiektywne własności. Jeżeli tak właśnie jest, jeśli dopiero pomiar aktualizuje określoną wartość mierzonej własności, to nie potrzeba zakładać występowania nielokalnych oddziaływań w celu uzasadnienia niespełnienia przez mikrocząstki nierówności Bella”.

Nawiązując w konkluzji do metafizyki, tzn. do statusu ontologicznego mikroświata Kołos pisze: „Wyniki doświadczeń inspirowanych nierównościami Bella wykazały, że realność mikroświata nie może być i obiektywna, i lokalna!” I dalej: „1. Możemy uznać, że dostępne poznaniu dynamiczne własności mikrocząstek zależą od obserwatora i wobec tego niezależna rzeczywistość jest niepoznawalna.

2. Możemy wierzyć w obiektywny charakter własności mikrocząstek, a wtedy na podstawie nierówności Bella oraz wyników wykonanych doświadczeń wnioskujemy, że niezależna rzeczywistość jest nieseparowalna” (tzn. jest powiązana oddziaływaniami nielokalnymi – wyjaśnienie moje).

Nabyte przez wieloletnie doświadczenie olbrzymie wycucie w sprawach dotyczących mechaniki kwantowej pozwala Kołosowi zabierać głos na temat jej ekstrapolacji do zagadnień niewątpliwie filozoficznych, jakimi są problemy związane z determinizmem, przyczynowością i (w konsekwencji) z wolną wolą. Czyni to w referacie pt. „Indeterminizm w fizyce kwantowej i poza nią” [2]. Rozważając (za C. Białobrzeskim) różne rodzaje indeterminizmu występujące w fizyce kwantowej, Kołos pisze: „Prawdopodobieństwo uzyskania określonego wyniku jest (...) zdeterminowane, natomiast sam wynik nie jest. (...) Elektronowi w atomie nie można przyporządkować żadnego toru, po którym odbywa się jego ruch. Można mówić tylko o prawdopodobieństwie przebywania elektronu w różnych obszarach, natomiast w wyniku pomiaru możemy znaleźć elektron w każdym miejscu, w którym prawdopodobieństwo jego przebywania jest różne od zera. W każdym takim miejscu elektron przebywa potencjalnie, a pomiar jedno z tych miejsc wybiera i tam lokalizuje elektron”.

Ta sytuacja każe nam dostrzec istotną różnicę pomiędzy przyczynowością a determinizmem w fizyce kwantowej. Na ten temat Kołos pisze: „Można powiedzieć, że przyczynowość występuje wtedy, gdy (...) znajomość stanu w pewnej chwili umożliwia przewidzenie stanu w dowolnej chwili. Tak określona przyczynowość występuje zarówno w fizyce klasycznej, jak i kwantowej. Stan mikroukładu określa funkcja falowa, a zależne od czasu równanie Schrödingera jednoznacznie determinuje jej ewolucję w czasie. Zmiana układu nie zachodzi więc w sposób indeterministyczny. Problem polega na tym, że deterministycznie zmieniająca się funkcja falowa nie określa zmiennych dynamicznych układu, takich jak współrzędne cząstek, z których ten układ się składa”.

Dalej w tym artykule zajmuje się Kołos pytaniem czy indeterminizm kwantowy może stwarzać racjonalną podstawę dla występowania wolnej woli. Pogląd Kołosa na ten temat jest następujący: „Umysł ludzki nie może wpływać na bieg deterministycznych procesów opisywanych prawami fizyki klasycznej, nie można myślał zmienić przebiegu tych procesów. Dlatego na gruncie fizyki klasycznej (...) trzeba uważać umysł za uzależniony od mózgu, od zachodzących w nim procesów fizycznych i chemicznych, bez możliwości oddziaływania także w drugim kierunku. Sytuacja jest inna w fizyce kwantowej, która nie podporządkowuje się ścisłemu determinizmowi i daje szeroką ofertę różnych możliwości. Prowokuje to do uczynienia (...) założenia wykraczającego poza zakres kompetencji współczesnej nauki, iż umysł może dokonać wyboru dozwolonych procesów kwantowych”.

Związek tego z zagadnieniem wolnej woli nie jest natychmiastowy, dostarcza jednak pola do refleksji.

Jako narratorowi opisującemu stanowisko Kołosa, niech mi wolno będzie tu zauważyć, że współczesna teoria układów (inaczej zwana niezbyt trafnie teorią chaosu) zdaje się jednak prowadzić do podobnych wniosków na gruncie mechaniki klasycznej. Wiadomo bowiem, że atraktor układu wielu elementów, aczkolwiek zdeterminowany (analogia do funkcji falowej) posiada obszary o topologii fraktalnej, w których wartości mogą być (w przestrzeni fazowej) przypisywane elementom układu tylko z pewnym prawdopodobieństwem (analogia do wartości zmiennych dynamicznych w mechanice kwantowej). Tu widzę również możliwość refleksji dotyczących wolnej woli, z czym Kołos zdaje się nie zgadzać.

Kolejnym zagadnieniem, które swoimi korzeniami tkwi niejako w poglądach Kołosa na mechanikę kwantową jest zagadnienie redukcjonizmu. Rozważania na ten temat zawarł w referacie pt. „O odmianach redukcjonizmu w nauce i jego granicach” [3]. Kołos jest oczywiście świadom faktu, że redukcjonizm w nauce doprowadził do olbrzymich sukcesów nauki, a także jej pochodnej – techniki. Bronić redukcjonizmu chyba więc nie trzeba – on broni się sam. Coraz częściej jednak, zwłaszcza w fizyce ostatnich dziesięcioleci, słychać apele o uwzględnienie stanowiska holistycznego. Pytanie, czy komórka, a tym bardziej organizm, mogą być sprowadzone do gry elektronów, jonów, jąder atomowych z charakterystycznymi dla nich oddziaływaniami, czy też są one czymś ponad to, nie jest pytaniem trywialnym. Tym bardziej takim nie jest, gdy mowa jest o organizmie gatunku *homo sapiens*. Kołos uważa, że „nawet jednak w obrębie tylko fizyki, mimo że podejście redukcjonistyczne jest tam niewątpliwie główną metodą badawczą, nie jest ono wystarczające”.

I tutaj zwraca Kołos uwagę na konsekwencję diskutowanej wyżej interpretacji mechaniki kwantowej. Ponieważ dopiero akt pomiaru aktualizuje własności cząstki, własności te można określić jedynie przez jej oddziaływanie z innym układem, a mianowicie z obserwatorem. „Obserwator tworzy zatem nierozdzieloną całość z obserwowanym obiektem”.

Zacytuję teraz bardzo oryginalną uwagę Kołosa na ten temat: „Interesującym przykładem z zakresu fizyki, ukazującym konieczność holistycznego traktowania układu cząstek jest także zakaz Pauliego będący jednym z podstawowych praw przyrody. Zakaz ten orzeka, że w układzie identycznych cząstek, np. elektronów, żadne dwie cząstki nie mogą być w jednakowych stanach. Jest to zadziwiające prawo. Skąd bowiem każdy elektron wie, w jakich stanach znajdują się wszystkie pozostałe? Wyobraźmy sobie np. atom litu mający trzy elektrony. Początkowo niech jednak będą w nim tylko dwa elektrony. Zgodnie z zakazem Pauliego elektrony te muszą przebywać w różnych stanach, natomiast z powodu przyciągania

się z jądrem najkorzystniej jest im przebywać w jego pobliżu. Okazuje się, że jest możliwa realizacja obu tych wymagań, są bowiem dwa stany, które są różne, i które pozwalają elektronom znajdować się koło jądra. Gdy natomiast przyłączy się trzeci elektron, by utworzyć obojętny atom litu, to nie ma już dla niego stanu, który byłby inny od tamtych, a mimo tego pozwalałby elektronowi też być w pobliżu jądra. Trzeci elektron musi zatem ulokować się na większej odległości od jądra. Skąd jednak ten elektron wie, że zajęte są już wszystkie stany umożliwiające przebywanie blisko jądra? Po czym on to rozpoznaje? To nie brak miejsca, to nie elektrostatyczne odpychanie elektronów jest tego przyczyną. Elektron wie o tym dzięki szczególnej własności układu wieloelektronowego wynikającej z pewnej symetrii obowiązującej dla tego typu układów. Jest to własność, która w żaden sposób nie wynika z charakterystyki pojedynczego elektronu. Nie ma ona żadnego sensu w odniesieniu do jednego elektronu. Jest to typowa własność holistyczna”.

Kończąc omawiany referat Kołos konkluduje: „Analityczna metodologia w nauce nie może udzielić odpowiedzi na wszystkie pytania. Musi być uzupełniona całościowym podejściem, które jest niezbędne w każdej dziedzinie, poczynając od fizyki cząstek elementarnych, a kończąc na człowieku lub wszechświecie”.

Przechodzę teraz do sprawy, która ujawnia interesującą opinię Kołosa wykraczającą poza jego naukową specjalność. W referacie „Transcendencja w ewolucji czyli kreacjonizm i naturalizm” [4] Kołos najpierw formułuje tezę, że „w nauce od dawna wiadomo, że rozwój ku formom bardziej złożonym może zachodzić spontanicznie, że »nowe« może powstać samorzutnie, że z »mniej« może powstać »więcej« (w sensie jakościowym) bez ingerencji i pomocy wyższego hierarchicznego rozumu”. Ostatecznie jednak stwierdza: „ukierunkowanie ewolucji, szczególnie zarysowujące się dość wcześnie i wyraźnie ukierunkowane na człowieka, a także niewątpliwie istnienie w jej przebiegu punktów osobliwych, takich jak witalizacja materii i hominizacja zwierzęcia, narzuca z dużą siłą myśl o obecności transcendentnej przyczyny. (...) Nie można uzasadnić poszczególnych etapów ewolucji kolejnymi ingerencjami Boga, tak jak na odwrót, nie można metodami naukowymi dowodzić aktu stworzenia człowieka. Ukierunkowany przebieg ewolucji jest jednak dla człowieka wyraźnym potwierdzeniem jego wiary”.

Kołos był niezwykle kompetentny w dziedzinie komputerów. Właśnie ta kompetencja pozwoliła mu w przeszłości wykonać bardzo skomplikowane obliczenia potwierdzające adekwatność mechaniki kwantowej do matematycznego opisu rzeczywistości materialnej. Zajmę się teraz omówieniem niektórych poglądów Kołosa zawartych w referacie „O myśleniu komputerów” [5]. Warto może przedstawić naczelną niejako deklarację z tym związaną. Kołos pisze: „Osoba przystępująca do badań zmierzających do stworzenia sztucznej inteligencji nie może mieć w tym zakresie żadnych uprzedzeń i musi wierzyć w powodzenie tego przedsięwzięcia,

a zatem musi przyjąć pewne dość oczywiste założenia. Przede wszystkim musi założyć, że inteligencja może być wyjaśniona w terminach naukowych oraz, że może się realizować poza człowiekiem. Odrzucenie tych założeń byłoby równoznaczne uznaniu *a priori*, że myślenie jest zjawiskiem nadprzyrodzonym, przysługującym tylko człowiekowi”. Dalej Kołos pisze: „Skromne przykłady »sztucznego myślenia« są każdemu znane. Nikt nie zaprzeczy, że wykonanie działań arytmetycznych, a tym bardziej obliczanie pierwiastków, potęg, logarytmów itd., wymaga myślenia”. Ale jest jasne, że nie o takie myślenie chodzi, gdy rozważamy problemy sztucznej inteligencji. „Czy słuszne byłoby bowiem traktowanie nawet umiejętności gry w szachy jako przejawu inteligencji? Gra w szachy wymaga niewątpliwie myślenia, lecz myślenia mechanicznego, realizowanego na podstawie określonego algorytmu”. Powstaje tu, niejako rykoszetem, istotne pytanie: „Czy myślenie ludzkie sprowadza się do algorytmicznego lub nawet heurystycznego rozwiązywania problemów?”

Karykaturalny wręcz przykład, jak tego rodzaju myślenie faktycznie wygląda, został opisany przez Kołosa następująco: „Wyobraźmy sobie, że ja nie znając języka chińskiego zgodziłem się wziąć udział w następującej zabawie: Posadzono mnie w pokoju, a przede mną postawiono kosz pełen tabliczek z wykaligrafowanymi na nich chińskimi znakami. Dano mi także do ręki książkę zawierającą instrukcję, jak się posługiwać tymi znakami. Następnie do pokoju wchodzi Chińczyk i pokazuje mi tabliczkę pokrytą chińskim pismem. Zaglądam do mojej książki i znajduję instrukcję mówiącą, że jeśli zobaczę taki właśnie zestaw znaków, to mam z mojego koszyka wyjąć tabliczkę z innym, określonym w instrukcji zestawem znaków chińskich. Gdy to wykonałem, Chińczyk spogląda na moją tabliczkę i się uśmiecha. Następnie pokazuje mi inną tabliczkę i sytuacja się powtarza. Chińczyk jest rozpromieniony, gdyż doszedł do wniosku, że znam język chiński. Tabliczki, które mu pokazywałem zawierały bowiem poprawne odpowiedzi na pytania wypisane na jego tabliczkach. (...) Rozmowa z komputerem w toku realizacji programu ekspertowego wygląda podobnie”. Niewątpliwie systemy ekspertowe nie zasługują na zakwalifikowanie jako przykłady sztucznej inteligencji.

Zasadnicze *novum* w dążeniu do realizacji sztucznej inteligencji pojawiło się, gdy zaczęto próbować modelować mózg. Przedstawiciele tego kierunku – koniekcjonizmu – uważają, „że modelem mózgu, czy raczej modelem sieci neuronowej, powinien być komputer zbudowany z ogromnej liczby równolegle połączonych elementów odpowiadających neuronom. Okazuje się, że komputer taki, nazywany neurokomputerem, jest istotnie zdolny do uczenia się”.

Ostatecznie Kołos konkluduje: „Inteligencja współczesnych neurokomputerów jest jeszcze skromna. Wiele z nich wykonuje działania, które byłyby banalne do zaprogramowania i zrealizowania przez tradycyjne komputery. Istota sprawy

polega jednak na tym, że one nie są zaprogramowane, lecz wykonywanych działań nauczyły się za pomocą behawiorystycznego procesu. Konekcjoniści nie zastanawiają się, jaki program należy opracować, by komputer wykazał określoną własność. Ich cel to zbudowanie komputera z taką strukturą wewnętrzną, aby sam mógł dojść do posiadania określonej własności (inteligencji). Pytanie, ile to zajmie czasu, pozostaje oczywiście bez odpowiedzi. (...) Ekspert w zakresie badań nad sztuczną inteligencją przyznają dziś, że jest to problem dużo trudniejszy, niż im się wydawało czterdzieści lat temu. Niemniej podejmują wyzwanie, jest to bowiem praca nad niezwykle interesującym zagadnieniem i każdy krok naprzód daje ogromną satysfakcję”.

Przechodzę teraz do ostatniego rozważanego przez Kołosa zagadnienia zawartego w pytaniu: „Czy fizyk może nie być platonikiem?” [6]. Ten wykład został wydrukowany w całości w *Postęпах Fizyki*, więc tylko krótko go zrelacjonuję. Kołos pisze tam: „Jednym z podstawowych wyników fizyki XX w., co najmniej z filozoficznego punktu widzenia, było stwierdzenie, że rzeczy nie są tym, czym wydają się być, a istota rzeczywistości świata nie jest człowiekowi dostępna. Najjaskrawiej wystąpiło to w fizyce mikroświata. (...) Mikrocząstka okazała się bytem zupełnie odmiennym od zmniejszonej do bardzo małych rozmiarów grudki materii znanej z życia codziennego”. Na tle tego, niejako wprowadzającego stwierdzenia, zajmuje się Kołos rozważaniem, co to takiego jest teoria. Oczywiście podstawowym pytaniem w filozofii przyrody jest pytanie o związek teorii z rzeczywistością. „Wyda się, iż rozwój nauki z siłą narzuca pogląd, że nauka odkrywa porządek w przyrodzie, że nie jest on wytworem umysłu badacza. Pogląd ten nie jest obcy nawet w odniesieniu do matematyki”. Za d’Espagnatem [8] Kołos przedstawia pogląd, że to, z czym mamy kontakt, zawdzięcza wiele strukturze naszego umysłu. „Osobiście podzielam pogląd tych, którzy dają priorytet platonizmowi”, konkluduje Kołos.

Powyższe uwagi napisane zostały przy wykorzystaniu obszernych cytatów z oryginalnych artykułów Kołosa. Mógłbym oczywiście był omawiać te sprawy w większym stopniu własnymi słowami, pragnę jednak zaznaczyć, że klarowność stylu i narracji w artykułach Kołosa są na najwyższym poziomie. Dlatego uznałem, że jego sformułowania nie powinny być zastąpione moimi, gorszymi. Mogę jeszcze dodać, że referaty i wystąpienia dyskusyjne były obdarzone najwyższą uwagą i zainteresowaniem słuchającego ich papieża Jana Pawła II.

Literatura

- [1] W. Kołos, w: *Nauka-Religia-Dzieje, IV Seminarium w Castel Gandolfo, 6-8 sierpnia 1986*, red. J.A. Janik, P. Lenartowicz (Wydział Filozoficzny Towarzystwa Jezusowego, Kraków 1988), s. 30.
- [2] W. Kołos, w: *Nauka-Religia-Dzieje, VII Seminarium w Castel Gandolfo, 3-5 sierpnia 1993*, red. J.A. Janik (Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1994), s. 17.
- [3] W. Kołos, w: *Nauka-Religia-Dzieje, V Seminarium w Castel Gandolfo, 8-11 sierpnia 1988*, red. J.A. Janik, P. Lenartowicz (Wydział Filozoficzny Towarzystwa Jezusowego, Kraków 1990), s. 11.
- [4] W. Kołos, w: *Nauka-Religia-Dzieje, III Seminarium w Castel Gandolfo, 6-9 sierpnia 1984*, red. J.A. Janik, P. Lenartowicz (Wydział Filozoficzny Towarzystwa Jezusowego, Kraków 1986), s. 22.
- [5] W. Kołos, w: *Nauka-Religia-Dzieje, VI Seminarium w Castel Gandolfo, 6-9 sierpnia 1990*, red. J.A. Janik (Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1992), s. 41.
- [6] W. Kołos, w: *Nauka-Religia-Dzieje, VIII Seminarium w Castel Gandolfo, 8-10 sierpnia 1995*, red. J.A. Janik (Uniwersytet Jagielloński i Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie, 1996); także *Postępy Fizyki* 48, 31 (1997).
- [7] S. Weinberg, w: *Dreams of a Final Theory* (Pantheon Books, N.Y. 1992), s. 65; tłum. polskie Piotra Amsterdamskiego *Sen o teorii ostatecznej* (wyd. Alkazar, Warszawa 1994).
- [8] B. d'Espagnat, w: *In search of reality* (Springer Verlag, N.Y. 1983).

Tomasz Dietl

*Instytut Fizyki PAN
i Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa*

Nevill Francis Mott (1905 – 1996)

Dnia 8 sierpnia 1996 r. zmarł w wieku 91 lat Nevill Francis Mott, laureat Nagrody Nobla z 1977 r., jeden z twórców podstaw kwantowej teorii zderzeń, ciała stałego, magnetyzmu i układów nieuporządkowanych.

W swoim referacie noblowskim Mott pisze [1]: „Wszystko, co zrobiłem, ograniczało się do przejrzania dostępnego materiału i zrobienia kilku rachunków na odwrocie koperty. Powiedziałem następnie teoretykom: »jeżeli użycie swojej techniki dla rozwiązania problemu, to wynik powinien być mniej więcej taki«; to samo też zrobiłem z doświadczalnikami”. Chociaż w tym stwierdzeniu jest oczywiście sporo przesady, dzięki niezwyklej intuicji w dostrzeganiu istoty problemu oraz zdolności głębokiego rozumienia zjawisk fizycznych, Mott dokonał wielu odkryć teoretycznych bez stosowania zaawansowanego aparatu matematycznego. Inną cechą jego stylu działania było zamykanie każdego okresu pracy naukowej napisaniem monografii. W sumie Mott jest autorem lub współautorem dziewięciu książek naukowych, które często, po wielu nawet latach, nie tracą czytelników. Część dorobku naukowego zawiera także zbiór reprodukcji jego wybranych artykułów naukowych. Zostały one wydane przez World Scientific w 1995 r. w obszernym tomie pod tytułem *Sir Nevill Mott, 65 lat w fizyce* [2].

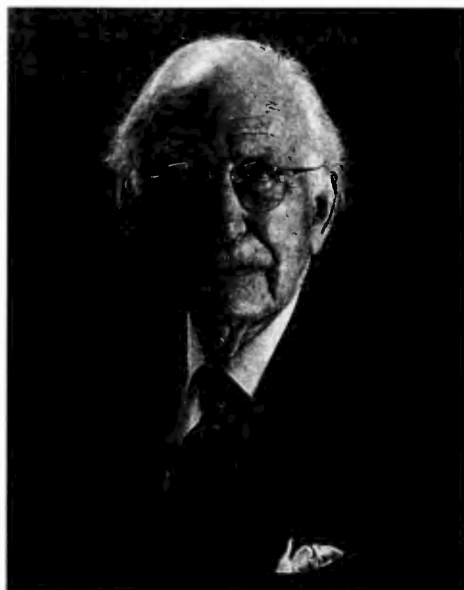
Z końcem lat trzydziestych Mott odegrał znaczną rolę w znajdowaniu w Wielkiej Brytanii pracy dla fizyków – emigrantów z Niemiec. Znany jest także jego udział w tworzeniu programów dydaktycznych oraz praca jako organizatora badań naukowych i orędownika ich zastosowań. W latach 1954–71 był dyrektorem Laboratorium Cavendisha. W czasie jego kadencji F.H.C. Crick i J.D. Watson wyznaczyli przestrzenną strukturę DNA, B.D. Josephson przewidział zjawiska związane z tunelowaniem par Coopera, a grupa A. Hewisha wykryła pulsary.

W Cambridge powstało wówczas miasteczko nowoczesnych technologii. O powszechnie podziwianej szerokości zainteresowań Motta świadczy także książka *Czy naukowiec może wierzyć?: kilka przykładów stosunku uczonych do religii* [3], która ukazała się w 1991 r. pod jego redakcją.

Osiągnięcia naukowe Nevilla Motta były w pełni doceniane przez jego rodaków i społeczność międzynarodową. Poza wspomnianą Nagrodą Nobla w 1977 r., otrzymał on doktorat *honoris causa* od ponad 25 uczelni, w latach 1951–57 przewodniczył Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej, a w 1962 r. nadano mu szlachectwo. Z okazji 75-lecia i 80-lecia urodzin ukazały się jubileuszowe wydania prac zbiorowych współpracowników i przyjaciół ze „światowego laboratorium”, jakie wokół siebie stworzył [4]. Cennym źródłem informacji o życiu, pracy naukowej i epoce, w której Mott żył, jest jego autobiografia wydana w 1986 r.: *Życie w nauce* [5].

Nevill Francis Mott urodził się 30 września 1905 r. w Leeds. Zainteresowanie fizyką stanowiło kontynuację tradycji rodzinnych, gdyż oboje rodzice studiowali w Laboratorium Cavendisha w Cambridge. Mott ukończył studia fizyki teoretycznej (a właściwie – zgodnie z tradycją angielską – matematyki) w 1927 r. Otrzymał potem stypendium na wyjazd do Kopenhagi do Nielsa Bohra, a następnie do Getyngi, gdzie był w grupie Maxa Borna. Po powrocie do Anglii pracował z Williamem Lawrencem Braggiem w Manchesterze, a od 1929 r. w Cambridge w bliskim kontakcie z Ernestem Rutherfordem. W tym czasie Mott wyznaczył z równania Schrödingera (w 1928 r.), a następnie z równania Diraca (w 1929 r.), przekrój czynny dla rozpraszania w potencjale kulombowskim. W 1930 r. ukazała się sławna praca, w której przewidział poprawnie kątowe zależności amplitud rozpraszania dla zderzeń identycznych fermionów i bozonów. Podsumowanie tego okresu badań stanowi książka *Podstawy mechaniki falowej* [6] oraz klasyczna i ciągle użyteczna monografia *Teoria zderzeń atomowych* [7], którą Mott napisał z H. Masseyem. Została ona wydana w 1933 r. i wznowiona w 1949 r. i 1965 r.

W wieku 28 lat Mott zostaje powołany na stanowisko profesora na Uniwersytecie w Bristolu, który wkrótce staje się światowym centrum fizyki ciała stałego. Jak to ujął A. Frova w mowie pochwalnej z okazji przyznania Sir Nevillowi doktoratu *honoris causa* Uniwersytetu Rzymskiego „La Sapienza” w 1985 r. [8]: „Przerzucił się on na fizykę ciała stałego, z której wyrasta dzisiejsza rewolucja elektroniczna i informatyczna. W tamtych latach był to wybór przewidującego przyszłość proroka”. Po trzech latach pracy w Bristolu ukazuje się napisana z H. Jonesem *Teoria własności metali i stopów* [9]. Do ważnych osiągnięć Motta w dziedzinie fizyki metali z grupy żelaza należy teoria magnetyzmu i przewodnictwa elektrycznego z uwzględnieniem przekrycia pasm o symetrii s i d oraz rozpraszania elektronów między nimi. Do teorii metali Mott powracał też wielo-



Nevill Francis Mott.

krotnie później analizując m.in. wpływ dyslokacji na ich plastyczność, kowalność, wytrzymałość i hartowanie. Przemyslenia te zawiera monografia *Struktura atomowa i wytrzymałość metali* [10].

W tych latach zainteresowania Motta kierują się także ku izolatorom i półprzewodnikom. Tematem jego badań są centra barwne – luki w halkogenkach metali alkalicznych – oraz efekty pola krystalicznego. Prace te Mott prowadził z pełną świadomością ich znaczenia w praktyce, np. dla fotografii, ogniów oraz pasywacji powierzchni metali. Wyniki tych badań zebrane są w wydanej w 1940 r. książce *Zjawiska elektronowe w kryształach jonowych*, napisanej z R.W. Gurneyem [11]. W tym okresie ukazały się także prace Motta dotyczące teorii zjawisk, które leżą u podstaw zastosowań półprzewodników w fotonice i elektronice: stanów związanych elektronu i dziury, tj. ekscytonu „Wanniera-Motta” (1938) oraz efektu prostowania (1939).

Czy podjęcie badań półprzewodników miało wpływ na innych fizyków, a pośrednio na podejmowanie badań z tej dziedziny w innych laboratoriach? Trudno dzisiaj to stwierdzić. Wiadomo jednak, że prof. Leonard Sosnowski znał dobrze Motta z czasów swojego pobytu w Anglii, często przyjeżdżał na seminaria do Bristolu i wielokrotnie, np. w wywiadzie dla *Postępów Fizyki* [12], wyrażał podziw dla jego osobowości i przełomowych idei, które mu zawdzięczamy.

Wiele z tych idei wiąże się z zagadnieniem przemiany metal-izolator w metalach i domieszkowanych półprzewodnikach. Dzięki pracom Motta wiemy, że przy zwiększaniu odległości między atomami następuje przemiana „Hubbarda-Motta”. Zachodzi ona, gdy spadek energii kinetycznej elektronów związany z ich delokalizacją staje się mniejszy niż energia potencjalna oddziaływania kulombowskiego między nimi. Mechanizm ten pozwala zrozumieć istnienie „izolatorów Motta”, materiałów, które nie przewodzą prądu elektrycznego, mimo że mają niezapełnione powłoki elektronowe. Model ten, łącznie z regułą Hunda, tłumaczy także własności magnetyczne wielu materiałów. W cyklu prac, z których pierwsza ukazała się w 1949 r., Mott zauważa, że przy pewnej gęstości elektronów n_c ekranowany potencjał kulombowski przestaje mieć stany związane. Wyznacza stąd sławne kryterium przemiany metal-izolator, które dla pasma domieszkowego w półprzewodnikach ma postać $(n_c)^{1/3} a_B^* = 0.26$, gdzie a_B^* jest efektywnym promieniem Bohra dla elektronu związanego na tej domieszce. Kryterium to spełnione jest w zakresie zmiany n_c o osiem rzędów wielkości! Wiadomo jednak obecnie (w znacznej mierze dzięki pracom Motta, które zebrał w swojej książce z 1974 r. *Przemiany metal-izolator* [13]), że pełny opis lokalizacji elektronów wymaga równoczesnego uwzględnienia korelacji w ruchu elektronów (związanej z ich oddziaływaniami) oraz nieporządku, tj. losowego rozkładu położenia i energii domieszek.

Zainteresowanie Motta układami nieuporządkowanymi wiązało się także z badaniami doświadczalnymi półprzewodników amorficznych, prowadzonymi wówczas głównie w grupie leningradzkiej (Kołomicz i współpr.). W 1967 r. Mott wprowadza niezwykle płodne pojęcie energii krytycznej oddzielającej stany rozciągnięte i zlokalizowane, znane obecnie pod nazwą krawędzi ruchliwości. Pojęcie to stanowiło twórcze wykorzystanie obserwacji Andersona z 1958 r., że przy pewnym stosunku szerokości rozkładu losowego potencjału do szerokości pasma następuje lokalizacja stanów elektronowych. Lokalizacja Andersona ma charakter kwantowy, nie perkolacyjny, i jak teraz sądzimy, zachodzi w wyniku dość subtelnego i zależnego od wymiaru przestrzeni efektu interferencji fal rozproszonych. W pewnym sensie wskazywała na to już praca Motta i Twose’a z 1961 r., w której dowiedziono, że w przestrzeni jednowymiarowej wszystkie stany są zlokalizowane, także te, których energia kinetyczna jest większa od amplitudy nieuporządkowanego potencjału. Do kanonu naszej wiedzy o układach nieuporządkowanych należą bez wątpienia klasyczne prace na temat zależności od temperatury T i częstości ω przewodnictwa elektrycznego nośników zlokalizowanych (sławne prawa $T^{1/4}$ i $\omega^2 \ln \omega$). Z dzisiejszej perspektywy, naznaczonej badaniami chaosu kwantowego i układów mezoskopowych, szczególne wrażenie robi właściwe uwzględnienie przez Motta statystyki rozkładu poziomów energetycznych. Kolejna monografia

Motta, napisana z E.A. Davisem *Własności elektronowe materiałów niekryształicznych* [14], wydana w latach 1971 i 1978, zawiera pełne podsumowanie ówczesnej wiedzy w tej dziedzinie. Autorzy odnoszą się w niej także do prac J. Blinowskiego i J. Mycielskiego z UW, które – jak wiadomo – dotyczyły głównie wysokoczęstotliwościowego przewodnictwa w obszarze silnej lokalizacji.

Komitet Noblowski postanowił nagrodzić dorobek naukowy prof. Motta w dziedzinie badań układów nieuporządkowanych. Część wyróżnionych prac powstała po jego przejściu na emeryturę w 1971 r.

W latach osiemdziesiątych nastąpił niezwykle postęp w zrozumieniu własności cieczy Fermiego w obecności losowego potencjału. Wykazano, że lokalizację powodują zarówno interferencje fal de Broglie'a pochodzące od przecinających się trajektorii, jak i interferencje amplitud oddziaływania między dyfundującymi elektronami. Metody grupy renormalizacji i wyniki doświadczalne dowiodły, że przy przemianie „Andersona-Motta” przewodnictwo zanika w sposób ciągły. Sir Nevill śledził ten rozwój badań z niezwykłą uwagą, przyznając, że nie potwierdzają one jego hipotezy minimalnego przewodnictwa metalicznego. Syntetyczny przegląd tych wyników można znaleźć w kolejnej książce Motta pt. *Przewodnictwo w materiałach niekryształicznych* [15].

Z początkiem lat dziewięćdziesiątych Mott podejmuje badania w dziedzinie wysokotemperaturowych nadprzewodników. Ponad osiemdziesięcioletni Sir Nevill zwykł nazywać ten temat największą przygodą naukową swojego życia! Nakładem wydawnictwa Taylor and Francis ukazała się w 1994 r. książka, którą napisał wspólnie z A.S. Aleksandrowem pt. *Wysokotemperaturowe nadprzewodniki i inne nadciecze* [16]. W monografii tej, cytującej m.in. prace R. Micnasa i S. Robaszkiewicza z UAM, zawarte jest podsumowanie prac Motta z tej dziedziny. Równocześnie czytelnicy *Physics World* [17] mogli śledzić ciekawą polemikę nt. dominującego mechanizmu tworzenia się par Coopera w tych materiałach. Mott opowiadał się w niej za efektem bipolaronowym, podczas gdy P.W. Anderson twierdził, że dostępne wyniki doświadczalne potwierdzają model, który zakłada istnienie separacji wzbudzeń spinu i ładunku.

Nie słabnącą zdawałoby się z upływem lat żywotność Motta dobrze ilustrują jego listy związane z przygotowaniem do przyjazdu do Polski na Międzynarodową Konferencję nt. Lokalizacji Elektronów i Transportu Kwantowego w Ciałach Stałych (Jaszowiec, 3–6 sierpnia 1996 r.) [18]. W odpowiedzi na zaproszenie pisał 4 grudnia 1995 r. do autora tego wspomnienia: „Przez ostatnie trzy lata zajmowałem się wysokotemperaturowymi nadprzewodnikami i mógłbym mieć wykład pt. »Model polaronowy wysokotemperaturowych nadprzewodników«. Jeśli byście chcieli, bym wygłosił także »przemówienie po kolacji«, to proponuję wspomnienia z dni Rutherforda i Bohra”. A w liście z 2 czerwca 1996 r. pyta: „Czy byłoby

możliwe zwiedzenie Krakowa?” Niestety ciężka grypa, którą prof. Mott przeszedł w połowie czerwca 1996 r., oraz związane z nią komplikacje nie pozwoliły na zrealizowanie tego, jak i zapewne wielu innych planów życiowych i naukowych. Być może zamierzenia te zrealizuje wnuk Sir Nevillea, który w lipcu 1996 r. ukończył fizykę w Imperial College w Londynie z najwyższą oceną na swoim roku...

Literatura

- [1] N.F. Mott, *Postępy Fizyki* **29**, 563 (1978).
- [2] *Sir Nevill Mott: 65 Years in Physics*, red. N.F. Mott, A.S. Alexandrov (World Scientific, Singapore 1995).
- [3] *Can scientists believe?: some examples of the attitude of scientists to religion*, red. N.F. Mott (James and James, London 1991).
- [4] Patrz np.: *J. Non-crystalline Solids* **32**, nr 1-3 (1980); *Phil. Mag. B* **52**, nr 3 (1985); *Physics of Disordered Materials. Festschrift honoring Sir Nevill Mott on his eightieth birthday*, red. D. Adler (Plenum Press, New York 1985).
- [5] N.F. Mott, *A Life in Science* (Taylor and Francis, London 1986).
- [6] N.F. Mott, *An Outline of Wave Mechanics* (Cambridge University Press, 1930), tłum. *Podstawy mechaniki kwantowej* (PWN, Warszawa 1961); także N.F. Mott, I.N. Sneddon, *Wave Mechanics and its Applications* (Clarendon Press, Oxford 1950).
- [7] N.F. Mott, H. Massey, *Theory of Atomic Collisions* (Cambridge University Press, 1933, 2. wyd. 1949, 3. wyd. 1965).
- [8] A. Frova, *J. Non-Crystalline Solids* **77/78**, xliii (1985).
- [9] N.F. Mott, H. Jones, *The Theory of the Properties of Metals and Alloys* (Oxford University Press, 1936).
- [10] N.F. Mott, *Atomic Structure and Strength of Metals* (Pergamon Press, London 1956).
- [11] N.F. Mott, H.R.W. Gurney, *Electronic process in Ionic Crystals* (Clarendon Press, Oxford 1940, 2. wyd. 1950); tłum. *Zjawiska elektronowe w kryształach jonowych* (PWN, Warszawa 1956).
- [12] Rozmowa z Leonardem Sosnowskim, *Postępy Fizyki* **37**, 63 (1986).
- [13] N.F. Mott, *Metal Insulator Transitions* (Taylor and Francis, London 1974).
- [14] N.F. Mott, E.A. Davis, *Electronic Properties of Non-crystalline Materials* (Oxford University Press, 1971, 2. wyd. 1979).
- [15] N.F. Mott, *Conduction in Non-Crystalline Materials* (Oxford University Press, 1987, 2. wyd. 1993).
- [16] A.S. Alexandrov, N.F. Mott, *High Temperature Superconductors and Other Superfluids* (Taylor and Francis, London 1994).
- [17] Patrz: *Physics World*, nr 1, 16 (1996).
- [18] Patrz: K. Wysokiński, *Postępy Fizyki* **48**, 173 (1997).

NOWOŚCI NAUKOWE

Tadeusz Suski

*Centrum Badań Wysokociśnieniowych PAN
Warszawa*

Azotki: nowa klasa półprzewodników dla optoelektroniki w zakresie światła niebieskiego

Nitrides: new semiconductor family for blue-light devices

Abstract: The group III nitrides form a continuous alloy system whose room-temperature minimum band gaps range from 2.1 eV for InN through 3.4 eV for GaN to 6.2 eV for AlN. These materials have been successfully applied in very efficient light emitting diodes active at wavelength from the yellow into the low ultraviolet. First blue semiconductor lasers based on this family have been demonstrated very recently. They appeared as strongly competitive devices with respect to ZnSeS-based blue laser. In this article, a comparison of the potential for applications represented by both semiconductor families is given.

Okres ostatnich kilku lat charakteryzuje się olbrzymim wzrostem zainteresowania związkami półprzewodnikowymi azotków grupy trzeciej układu okresowego o szerokiej przerwie energetycznej. Należą do nich GaN, AlN, InN i ich roztwory stałe. Zainteresowanie to wynika z potencjalnych zastosowań tej rodziny materiałów. Dotyczą one zarówno przyrządów optoelektronicznych, jak i elektronicznych. Do pierwszych należą diody świecące w obszarze wysokoenergetycznym (światło zielone-niebieskie-nadfiolet), półprzewodnikowe lasery światła niebieskiego i nadfioletowego oraz detektory promieniowania nadfioletowego. Drugi obszar zastosowań to przyrządy elektroniczne, głównie tranzystory wysokiej mocy oraz tranzystory pracujące w wysokich temperaturach.

Szczególne ożywienie w tematyce półprzewodnikowych azotków i towarzyszący temu dodatkowy zastrzyk funduszy na ich badania przyniósł rok 1996. Było to wynikiem doniesienia o pierwszym działającym laserze światła niebieskiego. Chociaż wagę tego odkrycia obniżała informacja o konieczności ograniczenia się do modu pracy impulsowej i znacznego obniżenia temperatury poniżej pokojowej, traktowano to jako wielki sukces. Jego autorem jest Shuji Nakamura, pracujący w niewielkiej firmie japońskiej Nichia. Fakt narodzin lasera azotkowego w tym właśnie miejscu nie był zaskoczeniem dla międzynarodowego środowiska uprawiającego tę tematykę. To właśnie S. Nakamura w artykułach i swoich wystąpieniach podczas konferencji naukowych, organizowanych w latach 1994–95, donosił o kolejnych generacjach świecących diod półprzewodnikowych z zakresu światła niebieskiego i zielonego budowanych z wykorzystaniem struktur warstwowych GaN, AlN i InN. Ich parametry przewyższały znacznie parametry diod świecących konstruowanych z innych półprzewodników. Nichia zaczęła sprzedawać miliony egzemplarzy diod „niebieskich” i „zielonych”. Zaczęto montować je w sygnalizacyjnych światłach ulicznych oraz wielokolorowych wyświetlaczach diodowych. Długi „czas życia” diod azotkowych stanowił ważny argument przy decyzjach o ich powszechnym stosowaniu. Pojawienie się wydajnej diody „niebieskiej” pozwoliło na realizację źródła światła białego. Skala emocji towarzyszących narodzinom lasera azotkowego wiąże się z oczekiwaniami rewolucji w informatyce. Dyski optyczne, stosowane do gromadzenia i przechowywania danych, wykorzystują obecnie lasery światła czerwonego. Zastąpienie go bardziej krótkofalowym światłem niebieskim zwiększy czterokrotnie gęstość zapisu informacji. Nadzieje na szybką realizację tego celu wzrosły znacznie po opublikowaniu pozytywnych rezultatów prac prowadzonych na Uniwersytecie Meijo w Nagasaki, gdzie również zaświecił impulsowy, „niebieski” laser azotkowy.

Półprzewodniki azotkowe wciąż mają jednak konkurentów. Do najpoważniejszych należą związki z rodziny II-VI oparte o siarczki i selenki cynku i magnezu (ZnMgSeS). Kilka instytucji donosiło o realizacjach lasera „niebieskiego”. Rekordowe parametry charakteryzują laser skonstruowany w laboratoriach firmy Sony. Wykazuje on dłuższy czas życia niż laser Nakamury. Pierwszy z nich pracował przez ponad 100 godzin (w temperaturze pokojowej) w ramach modu pracy ciągłej. Doniesienia Nakamury z ostatnich tygodni mówią o 30 godzinach takiego świecenia. Dlaczego więc tyle laboratoriów z zazdrością śledzi prace Nakamury? Wiara w sukces laserów azotkowych opiera się na wykazywanej przez te półprzewodniki odporności na degradację czasową. Silne wiązania pomiędzy azotem i kationami (Ga, Al lub In) powodują, że wytworzenie defektów w tych materiałach na skutek istnienia ubocznych efektów towarzyszących akcji laserowej jest mało prawdopodobne. W materiałach II-VI ciepło wydzielające się w procesach

rekombinacji bezpromienistej (konkurencyjnej wobec procesów prowadzących do emisji światła), zachodzących w obszarach bogatych w defekty strukturalne, generuje nowe defekty i daje w efekcie wyłączenie całych obszarów półprzewodnika z akcji laserowej.

Defekty strukturalne, głównie dyslokacje, uważa się również za jeden z czynników ograniczających istotnie efektywność działania laserów azotkowych. Defekty o znacznej gęstości (nawet 10^{10} cm^{-2}) wynikają z konieczności stosowania procesów heteroepitaksji (osadzanie na obcym podłożu) dla uzyskania pożądanych struktur warstwowych. W przypadku azotków najczęściej stosowanym podłożem jest szafir (Al_2O_3) o kilkunastoprocentowym niedopasowaniu stałych sieciowych. W przypadku związków II-VI osadza się je na podłożu z sieciowo niedopasowanego GaAs, należącego dodatkowo do rodziny materiałów III-V. Procesom zachodzącym w temperaturze wzrostu struktur warstwowych towarzyszy powstawanie defektów relaksujących naprężenia niedopasowania (np. dyslokacje niedopasowania). Zachodzi to już w strukturach składających się z kilku warstw atomowych. Dodatkowe procesy „defektogenne” włączają się podczas chłodzenia struktur heteroepitaksjalnych. Na skutek różnic w rozszerzalnościach temperaturowych materiału warstw i podłoża tworzą się dodatkowe defekty i w warstwach struktury półprzewodnikowej mogą powstać skomplikowane naprężenia. Wciąż bez odpowiedzi pozostaje pytanie: dlaczego opisane powyżej defekty, uważane za niezwykle szkodliwe w strukturach laserowych opartych na GaN i ZnMgSse, jak również w diodach świecących z materiałów II-VI, nie wpływają zupełnie na pogorszenie własności diod świecących z azotków? Wiele grup badawczych pracuje nad wytłumaczeniem tego zjawiska.

Naturalne w tym miejscu jest pytanie o to, dlaczego w procesach wzrostu struktur warstwowych, wykorzystywanych do konstrukcji laserów „niebieskich”, nie stosuje się homoepitaksji, czyli osadzania na podłożach z GaN lub ZnSse, odpowiednio dla laserów z obu rodzin półprzewodników. Problem ten wynika z trudności w wytworzeniu kryształów objętościowych obu tych półprzewodników. Polscy fizycy potrafią to robić. Instytut Fizyki PAN jest jednym z trzech miejsc na świecie, w których udało się wyhodować kryształy ZnSse o wymiarach umożliwiających stosowanie ich jako podłoży dla struktur opartych na półprzewodnikach II-VI. Centrum Badań Wysokociśnieniowych PAN jako jedyne wytwarza objętościowe kryształy GaN. Szczególnie to drugie osiągnięcie wzbudza szerokie zainteresowanie światowe.

Trudności z otrzymaniem monokryształów GaN mają swoje źródło w niestabilności chemicznej tego związku przy ciśnieniu atmosferycznym i przy temperaturach przewyższających ok. 1000°C . Ponieważ dodatkowo wiadomo, że temperatura topnienia tego materiału znajduje się w okolicach $2500 - 3000^\circ\text{C}$, to

oczywisty jest wniosek, że praktycznie nie istnieją szanse na uzyskanie kryształów GaN metodami Czochralskiego lub Bridgmana. Obie metody wymagają etapu stopienia związku chemicznego (przygotowanego w postaci proszku lub polikryształu) przed uzyskaniem go w postaci monokryształów. Stosowana w CBW PAN metoda wymaga użycia komór wysokociśnieniowych, w których azot sprężony do ciśnienia 1 – 2 GPa oddziałuje na stopiony gal, umieszczony w obszarze o kontrolowanym rozkładzie temperatury. Osiąga ona wartość ok. 1500°C. Atomowy azot rozpuszcza się w galu, osiągając 1% rozpuszczalności i dyfunduje do chłodniejszego obszaru, w którym po kilkudziesięciu godzinach „wyrastają” heksagonalne płytki GaN o wymiarach liniowych dochodzących do 10 mm.

Półprzewodnik ten krystalizuje w strukturze wurcytu i ma tzw. prostą przerwę wzbronioną o wartości 3.4 eV ($T = 300$ K), co odpowiada zakresowi bliskiego nadfioletu. Możliwość wytworzenia roztworów stałych GaN z InN prowadzi do płynnej zmiany przerwy do wartości ok. 2.1 eV. Tak więc istnieje możliwość przejścia przez obszar widma odpowiadający światłu niebieskiemu, dalej zielonemu, żółtemu i w końcu czerwonemu. Tworzenie roztworów stałych GaN-AlN przesuwają przerwę energetyczną w obszar dalszego nadfioletu. Przerwa wzbroniona AlN wynosi 6.2 eV. Przytoczone charakterystyczne energie oraz niezwykle silne wiązanie azot-kation (Ga, Al, lub In) wskazują jednoznacznie na przydatność rodziny azotków w zastosowaniach optoelektronicznych, wysokotemperaturowych i dużej mocy.

Wróćmy teraz do problemów niezadowolających wciąż parametrów laserów budowanych z użyciem azotków. Wspominaliśmy o ograniczeniach mających swoje źródło w niedopasowaniu sieciowym i różnicach w rozszerzalności. Osiągnięcie polegające na uzyskaniu dużych monokryształów GaN pozwoliło na prowadzenie procesów homoepitaksji, czyli nakładania warstw azotków na podłoże GaN. Stwierdzono znaczną poprawę własności optycznych i obniżenie o kilka rzędów koncentracji dyslokacji w porównaniu z najlepszymi strukturami heteroepitaksjalnymi. Trwają prace nad nanoszeniem jednorodnych warstw azotków o różnym typie domieszkowania (typ n i typ p) i zawartości kationów.

Struktura lasera „niebieskiego” wymaga wytworzenia studni (lub wielostudni) kwantowej z $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$. Umożliwia to silne zlokalizowanie nośników prądu. Ich rekombinacja promienista jest konieczna dla zajścia procesów stymulowanej emisji światła, a więc akcji laserowej nawet w temperaturze pokojowej. Obszar studni utworzony jest przez materiał o odpowiednio małej wartości przerwy energetycznej E_g . Studnia powstaje pomiędzy warstwami półprzewodników o większej wartości E_g , jak np. InGaN o mniejszej zawartości InN niż obszar studni. Dla uzyskania akcji laserowej należy jeszcze powstające fotony zatrzymać w bezpośrednim sąsiedztwie studni kwantowej, dając im możliwość przemieszcza-

nia się jedynie w płaszczyźnie studni. Realizuje się to poprzez dodanie warstw o mniejszym współczynniku załamania światła, jak $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$. Struktura lasera nie jest symetryczna. Potrzebne są obszary półprzewodników domieszkowanych dużą ilością donorów (typ n) i dużą ilością akceptorów (typ p). W związku z tym pojawiły się dodatkowe problemy, wciąż oczekujące właściwych rozwiązań. Jeden z problemów stanowi kontakt elektryczny z warstwami typu p. Jaki metal lub kombinację metali należy nakładać, by obniżyć oporność tego kontaktu? Następny kłopot sprawia zbyt mała ilość nośników dziurowych w obszarach typu p. W technologii azotków magnez stał się powszechnie stosowanym akceptorem. Okazuje się, że w przypadku Mg trudno uzyskać koncentracje dziur większe od $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ($T = 300 \text{ K}$). Wynika to z niekorzystnego położenia poziomego akceptorowego tworzonego przez magnez. Leży on aż ok. 0.2 eV powyżej dna pasma walencyjnego, co określa niski stopień jego jonizacji termicznej w temperaturze pokojowej. Usilne poszukiwania innego („płytszego”) akceptora prowadzone są intensywnie w wielu laboratoriach światowych.

Panuje powszechne przekonanie, że już wkrótce powyższe problemy zostaną rozwiązane. Pojawiają się tanie lasery światła niebieskiego i nadfioletu z półprzewodników azotkowych. Wzrośnie również istotnie stopień zrozumienia zjawisk i własności fizycznych tych ciekawych materiałów. Polscy fizycy biorą udział w tym pasjonującym współzawodnictwie.

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Największa konferencja fizyki cząstek w Warszawie

Po szkole CERN-owskiej (Zakopane, 1993) i „Physics in Collision” (Kraków, 1995) Polska znowu gościła konferencję fizyki cząstek. Tym razem była to jednak najważniejsza konferencja w tej dziedzinie, a mianowicie 28. konferencja rocznastkowa. Odbyła się ona w Warszawie w dniach 25 – 31 lipca 1996 r. Należy tu wyjaśnić, że konferencje te rozpoczęły się w czasie, gdy absolutna dominacja w fizyce cząstek elementarnych należała do USA. Pierwszych siedem odbyło się w Rochester w latach 1952–57. Od 1960 r. ustalił się dwuletni rytm konferencji organizowanych rotacyjnie w Stanach Zjednoczonych, zachodniej Europie i ZSRR. Od 1978 r. (Tokio) dopuszczono także resztę świata. Ostatnie, przed warszawską, konferencje odbyły się w Berkeley (1986), Monachium (1988), Singapurze (1990), Dallas (1992) i w Glasgow (1994). Już konferencja w Dallas była złamaniem zasady rotacji spowodowanym przez kryzys w byłym Związku Sowieckim. Tuż przed konferencją w Glasgow sytuacja się powtórzyła i wtedy propozycja Warszawy, złożona w odpowiednim momencie przez prof. Andrzeja Kajetana Wróblewskiego (Uniwersytet Warszawski), łatwo wygrała z ofertami Vancouver i Honolulu.

Od wielu lat konferencje tego cyklu odbywają się pod patronatem IUPAP-u (Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej) stawiającej takie wymagania, jak: międzynarodowy komitet organizacyjny, międzynarodowy komitet programowy, koordynatorzy krajowi dla wyboru uczestników z danego kraju, itp.

Komitet organizacyjny, kierowany przez prof. Wróblewskiego, dobrze poradził sobie z tym naprawdę ogromnym przedsięwzięciem. Dość powiedzieć, że liczba uczestników konferencji sięgała tysiąca (pochodzili oni z 53 krajów, co stanowi rekord konferencji tego cyklu). Każda z dwudziestu równoległych sekcji była prowadzona przez dwie osoby, na ogół reprezentujące zagadnienia doświadczalne i teoretyczne; prowadzący sekcje (ang. conveners) zakwalifikowali do wygłoszenia łącznie 322 referaty spośród ok. 900 zgłoszonych; 28 znanych fizyków (w tym dwóch z Polski) podsumowało prace sekcji – większość zagadnień była omawiana tak przez fizyka doświadczalnego, jak i przez teoretyka, co stanowiło nowość organizacyjną.

Wyniki przedstawione na konferencji można z grubsza podzielić na trzy kategorie. Najliczniejszą grupę wyników stanowiły rezultaty pomiaru różnych parametrów modelu standardowego. Przypomnijmy, że model standardowy jest zbiorem teorii, który od wielu lat nieźle zgadza się z doświadczeniem. Jednakże występuje w nim ok. dwudziestu parametrów takich jak stałe sprzężenia, masy leptonów i kwarków bądź ich kąty mieszania, które trzeba wyznaczać doświadczalnie. Jako ciekawostkę podajmy np., że najpóźniej odkryty kwark t ma obecnie najlepiej znaną masę, a mianowicie $m_t = (175 \pm 6)$ GeV.



Drugą grupę stanowiły wyniki badań w dziedzinach, w których od dawna utrzymuje się kontrowersja, czy obserwujemy jakiś nowy (choć zgodny z modelem standardowym) efekt, czy też nie. I tak:

- 1) po wielu latach badania centralnych zderzeń jąder przy coraz wyższych energiach wydaje się, że wreszcie widzimy nowy stan materii, a mianowicie plazmę kwarkowo-gluonową, w której kwarki nie są związane w nukleonach, tylko w większej, krótko żyjącej objętości; taki stan materii prawdopodobnie panował we Wszechświecie tuż po Wielkim Wybuchu;
- 2) długoletnie, heroiczne wysiłki fizyków zajmujących się spektroskopią hadronową wskazują teraz dość wyraźnie na istnienie mezonów, które nie składają się konwencjonalnie z kwarków połączonych gluonowym „klejem”, a tylko z samych gluonów;
- 3) coraz bardziej zarysowuje się niedobór neutrin słonecznych w stosunku do przewidywań opartych na reakcjach jądrowych zachodzących wewnątrz najbliższej nam gwiazdy; świadczyłyby to o przejściach pomiędzy różnymi rodzajami neutrin.

W opinii piszącego te słowa w każdym z tych efektów wyniki doświadczalne pozostawiają pewne wątpliwości.

Ale bodaj jeszcze większe zainteresowanie dotyczyło tych tematów, w których poprzednio sygnalizowano odstępstwa od modelu standardowego. Otóż zeszlatoroczne wyniki z LEP-u (największy zderzacz e^+e^- w CERN-ie pod Genewą) wskazywały na znaczące odstępstwo od teorii w częstości rozpadów pośredniczącego bozonu Z^0 na kwarki c i b . Jednak ostatnie wyniki z tegoż LEP-u właściwie usunęły tę rozbieżność. Drugim takim tematem były wyniki współpracy CDF pracującej na największym zderzacz $p\bar{p}$ w Laboratorium im. Fermiego pod Chicago. Tu zauważono nadmiar strumieni cząstek o bardzo dużych pędach poprzecznych. Mimo że publikacja była zredagowana dość ostrożnie, amerykańska prasa już podała informację o odkryciu struktury kwarku. Dokładniejsze badania wykazały, że ten efekt doświadczalny można wytłumaczyć konwencjonalnie, zmieniając parametry modeli użytych do opisu tych wyników. Podsumowując konferencję Gabriele Veneziano z CERN-u mógł zatem powiedzieć: „Okaz zdrowia, jakim jest model standardowy, pozbył się drobnych zaziębień i lekkich bólów głowy”.

Innego podsumowania dokonano na posiedzeniu Komisji Pól i Cząstek IUPAP-u (Warszawa, 30 lipca 1996), które bardzo wysoko oceniło organizację konferencji. Od siebie dodam, że umocniła ona pozycję Polski w fizyce cząstek elementarnych.

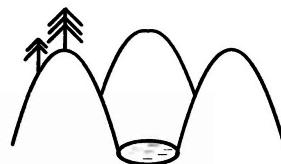
Materiały Konferencji wyda wiosną 1997 r. World Scientific.

Krzysztof Rybicki

Instytut Fizyki Jądrowej
Kraków

Localization '96

Międzynarodowa Konferencja „Electron Localization and Quantum Transport in Solids” odbyła się w dniach 3–6 sierpnia 1996 r. w Jaszowcu. Zorganizowana przez Instytut Fizyki PAN pod patronatem Polskiego Towarzystwa Fizycznego, była konferencją satelitarną dwóch wielkich międzynarodowych konferencji naukowych: XXXIII Międzynarodowej Konferencji Fizyki Półprzewodników (ICPS23) odbywającej się w Berlinie w dniach 22–23 lipca i XXI Międzynarodowej Konferencji Fizyki Niskich Temperatur (LT21) odbywającej się w Pradze w dniach 8–14 sierpnia 1996 r.



Localization '96

Przewodniczącym Konferencji i jej Komitetu Programowego był prof. Tomasz Dietl z IF PAN. Komitety: Programowy i Doradczy skupiły wielu wybitnych fizyków z całego świata. Rezultatem ich pracy był wybór 20 bardzo dobrych referatów plenarnych. Stan zdrowia nie pozwolił dojechać Sir Nevillowi Mottowi (honorowemu wykładowcy konferencji), który zamierzał wygłosić referat pt. „Teoria polaronowa nadprzewodników wysokotemperaturowych”. Już po Konferencji dowiedzieliśmy się, że 91-letni N.F. Mott zmarł 8 sierpnia.

Jaszowieckie spotkanie było piątą z kolei konferencją poświęconą zagadnieniom przenoszenia (transportu) w układach nieuporzdkowanych i silnie oddziałujących. Poprzednie odbywały się w Brunszwiku (RFN) – 1984, Tokio – 1987, Londynie – 1990 i Eugene (Oregon, USA) – 1993. Zebrani w Jaszowcu uznali za celowe dalsze organizowanie oddzielnej konferencji obejmującej zagadnienia lokalizacji i przenoszenia kwantowego w ciałach stałych, ewentualnie poszerzonej o problemy silnie skorelowanych układów, w dotychczasowym trzyletnim cyklu.

Przybyłych na konferencję przywitał JM Rektor Uniwersytetu Śląskiego prof. T. Sławek, a oficjalnego otwarcia dokonał prof. T. Dietl. Program naukowy obejmował trzy i pół dnia intensywnej pracy, która rozpoczynała się o godz. 9.00, a kończyła o godz. 21.00. W ostatnim dniu zajęcia odbywały się jedynie w godzinach przedpołudniowych, a ostatnim referatem naukowym było podsumowanie konferencji dokonane przez Y. Imry'ego z Instytutu Weizmanna, po czym uczestnicy konferencji zostali autokarami przewiezieni do Krakowa, zakwaterowani w tamtejszych hotelach, a wieczorem przewiezieni do Wieliczki na zwiedzanie kopalni soli, zakończone wspianym bankietem odbywającym się 140 m pod ziemią. Spora część uczestników konferencji udała się następnego dnia samolotem (z Krakowa) lub pociągiem (z Katowic) na konferencję LT21 do Pragi. Te złożone pod względem logistycznym zadania sprawnie rozwiązał Komitet Lokalny pod przewodnictwem prof. T. Skośkiewicza.

Zagadnienia lokalizacji i przejść metal-izolator (MI) należą do grupy najbardziej subtelnych zagadnień fizyki półprzewodników i układów niskowymiarowych. Przejścia MI obserwowane w wielu układach fizycznych mogą być powodowane różnymi przyczynami. Przejście spowodowane krótkozasięgowymi oddziaływaniami elektronów zostało przewidziane przez N.F. Motta w 1949 r. (Nagroda Nobla za 1977 r.) i znane jest jako przejście

Motta, natomiast z nazwiskiem innego laureata Nagrody Nobla (za 1977 r.), P.W. Andersona, związane jest przejście MI powodowane nieporządkiem w ciele stałym.

Mott przewidział w 1949 r. lokalizację stanów pod wpływem silnych (krótkozasięgowych) oddziaływań elektronów ze sobą, natomiast Anderson wykazał w 1958 r. możliwość lokalizacji stanów pod wpływem silnych fluktuacji potencjału jednocząstkowego (domieszek). Wieloletnie badania obu rodzajów przejść MI pozwoliły na głębsze zrozumienie kwantowych własności materii w niskich temperaturach.

Mimo że oba przejścia od stanu metalu do izolatora zostały przewidziane dość wcześniej, ich szczególnie intensywne badania teoretyczne i doświadczalne zostały podjęte w końcu lat siedemdziesiątych i wciąż trwają. Niewątpliwie zainteresowanie to związane jest z olbrzymimi postępami technologii otrzymywania w kontrolowany sposób bardzo dobrej jakości układów jedno- i dwuwymiarowych o potencjalnym znaczeniu dla ultraszybkich elektroniki. Spektakularnym doświadczalnym rezultatem było odkrycie całkowitego (K. von Klitzing 1980 r. – Nagroda Nobla w 1985 r.) i ułamkowego kwantowego efektu Halla, zjawiska słabej lokalizacji i wiele innych. Należy podkreślić, że Polska dołączyła do elitarnego „klubu” krajów, w których istnieją możliwości technologiczne wykonywania struktur niskowymiarowych. Rezultaty osiągnięte w ostatnim okresie w Instytucie Fizyki PAN (głównie w grupie T. Dietla) podsumował J. Wróbel w referacie pt. „Uniwersalne fluktuacje przewodnictwa w drutach kwantowych z półprzewodników półmagnetycznych”.

Krąg zagadnień przedstawionych na Konferencji obejmował wszystkie aspekty związane z przejściem metal-izolator i wpływem fluktuacji potencjału, oddziaływań, pola magnetycznego itp. na własności metali, półprzewodników, nadprzewodników i izolatorów. Przedstawiono prace doświadczalne i teoretyczne związane z badaniem układów jedno-, dwu- i trójwymiarowych, bez i w polu magnetycznym. Sporo prac poświęcono badaniom układów mezoskopowych.

G.A. Thomas z Laboratoriów Bella (obecnie Lucent Technologies) omówił aktualną sytuację doświadczalną w badaniu przejść metal-izolator w tlenkach wanadu, tlenkach miedzi oraz domieszkowanych półprzewodnikach, skupiając się na roli takich efektów, jak: nieporządek, korelacje elektronowe, magnetyzm, oddziaływanie elektron-sieć i segregacja faz. Okazuje się, że precyzyjne eksperymenty optyczne wskazują, iż przejścia MI są zwykle związane z kilkoma efektami, co burzy dotychczasową standardową ich klasyfikację.

Najnowsze wyniki doświadczalne w najczęściej i najdłużej chyba badanym materiale, jakim jest krzem domieszkowany fosforem (Si:P) lub borem (Si:B) zostały omówione w referacie H.G. Schlagera i H. von Löhneysena (Uniwersytet w Karlsruhe). S.V. Kravchenko (Nowy Jork) miał interesujący wykład na temat przejścia MI w układzie dwuwymiarowym, natomiast S. Tarucha (Laboratoria NTT, Japonia) argumentował, że uzyskane przez niego wyniki badań struktur jednowymiarowych dobrze zgadzają się z teoretycznym opisem tych układów za pomocą modelu cieczy Luttingera.

Doświadczalne badania mezoskopowych omawiane były w referacie C. Van Hasendoncka i współpracowników (Belgia, USA) i we wspomnianym już referacie J. Wróbla (IF PAN, Warszawa).

Spośród innych interesujących wykładów doświadczalnych wygłoszonych na zaproszenie należy wymienić wykłady J.M.D. Coeya i M. Vireta (Dublin) na temat kołosalnego magnetooporu, U. Sivana (Hajfa) o widmie nośników w kropkach kwantowych,

G. Brunthaler (Linz) o lokalizacji w heterostrukturach i supersieciach i L.W. Engela (Tallahassee, USA) o skalowaniu w warunkach kwantowego efektu Halla.

Referaty podsumowujące osiągnięcia w dziedzinie teorii były znakomicie skorelowane z wykładami doświadczalnymi. Podobnie jak i w doświadczeniu, gdzie referenci przedstawiali materiał uzyskany we współpracy kilku grup często z różnych krajów czy kontynentów, tak i przedstawione prace teoretyczne często powstawały w ramach szerszej współpracy. A.L. Efros (Salt Lake City, USA) omówił nowy mechanizm przejścia metal-izolator w silnie oddziałującym nieuporządkowanym układzie dwuwymiarowym. T.R. Kirkpatrick (Uniwersytet Stanu Maryland) i D. Belitz (Uniwersytet Stanu Oregon) omówili krytyczne zachowanie nieuporządkowanego, wędrownego ferromagnetyka w zerowej temperaturze, natomiast naturę przejścia MI typu Motta, z uwzględnieniem nieporządku, przedstawiono w referacie V. Dobrosavljevica (Uniwersytet Stanu Floryda) i G. Kotliara (Uniwersytet Rutgersa). Zagadnienia klasycznej dynamiki i kwantowego chaosu omówił B.D. Simons (Cambridge), a lokalizację klasycznych fal w układach trójwymiarowych P. Shung (Hong Kong). T. Giamarchi (Orsay) przedstawił teorię zjawisk transportu bozonów i fermionów w układach jednowymiarowych. Związek pomiędzy statystyką poziomów i lokalizacją dwóch oddziałujących cząstek w układzie nieuporządkowanym był tematem wykładu J.L. Picharda (Saclay). J.T. Chalker (Oxford) rozważał możliwości obserwacji kwantowego efektu Halla w (anizotropowych) układach trójwymiarowych, natomiast B. Huckestein (Uniwersytet Koloński) przedstawił wpływ oddziaływań na całkowity kwantowy efekt Halla.

Wystąpienia ustne i liczne plakaty uzupełniały w znakomity sposób zagadnienia omawiane w referatach plenarnych. Poziom Konferencji był tak wysoki, iż szereg prac tu przedstawionych z powodzeniem można by zaliczyć do kategorii referatów na zaproszenie.

Widząc powszechny zwyczaj drukowania tych samych prac w wielu miejscach, Komitet Doradczy Konferencji podjął decyzję, zgodnie z którą materiały Konferencji stanowią jedynie zbiór poszerzonych streszczeń przedstawionych prac.

W zgodnej opinii uczestników Konferencja była bardzo dobrze zorganizowana, a program naukowy świetnie przemyślany. Spotkanie to było chyba najważniejszą zorganizowaną w Polsce w 1996 r. imprezą naukową z fizyki materii skondensowanej.

Karol Izidor Wysokiński

Instytut Fizyki UMCS

Lublin

RECENZJE

Quang Ho-Kim, Narendra Kumar, Chi-Sing Lam:

Zaproszenie do fizyki współczesnej

Stowarzyszenie Symetria i Własności Strukturalne, Poznań 1995, s. 484

(Tłumacze: Z. Jacyna-Onyszkiewicz, A. Koper, K. i M. Kurzyńscy, D. Lipiński, S. Wałcerz i R. Wojciechowski; redaktor wydania polskiego: S. Wałcerz; konsultacja filologiczna: H. Wydra; skład komputerowy i korekta: zespół redakcyjny Stowarzyszenia; Tytuł dotowany przez: Komitet Badań Naukowych i Polską Fundację Upowszechniania Nauki).

Przyznaję ze skruchą, że to ponad czterystaosiemdziesięciostronicowe dzieło, które dotarło do polskich czytelników dzięki wysiłkom tak licznych zespołu, przeleżało na moim biurku kilka miesięcy, zanim redakcja *Postępów Fizyki* wymogła na mnie napisanie recenzji. Nie jest bowiem rzeczą łatwą i przyjemną napisanie krytycznej recenzji, a napisanie bardzo krytycznej recenzji jest jeszcze trudniejsze. Dużo łatwiej jest napisać entuzjastyczną laurkę, jak to uczynili panowie profesorowie H. Cofta i Z. Oźga, którzy opiniowali recenzowaną książkę dla Wydawnictwa. Moje zadanie jest trudniejsze. Pochwał nie trzeba uzasadniać, ale wszystkie zarzuty trzeba udowodnić. Autorzy, tłumacze, konsultantka filologiczna i korektorzy dołożyli jednakże starań, aby mi bardzo ułatwić to zadanie.

Rozpocznijmy od wad samej książki. Jej Autorzy napisali w przedmowie: „Usiłowa-
liśmy podzielić się naszą własną radością z uczenia się fizyki z czytelnikiem tej książki”.
Niestety sama radość nie wystarcza! Potrzebna jest jeszcze wiedza i pracowitość, których
do cech Autorom wyraźnie zabrakło.

Chęć napisania książki „w ten sposób, że zrozumie ją każdy zdeterminowany in-
teligentny czytelnik” doprowadziła do absurdu. Nie wystarczy opisywać słowami tego, co
w podręcznikach fizyki zapisane jest za pomocą wzorów. W książce panuje niczym nie
okiełznany werbalizm, który osiąga szczyty w rozdziale VI. W tekście królują wszelkie
możliwe grupy od $U(1)$ i $SU(2)$, poprzez $SU(5)_F$ i $SU(6)_F$, aż do $SO(32)$ i $E_8 \times E_8$. I to
wszystko odbywa się po informacji na s. 325, że „Prawdę powiedziawszy nie musimy wie-
dzieć czym jest grupa”. To epatowanie czytelnika terminami bez wyjaśnienia ich treści
fizycznej widoczne jest na każdym kroku. Na przykład, na s. 330 wprowadza się pojęcie
chiralności cząstek z następującym wyjaśnieniem: „Dla naszych celów wystarczy wiedzieć,
że w przypadku cząstek bezmasowych jest ona równa podwojonej skłonności, natomiast,
gdy cząstka ma masę, to oprócz zwyczajnej skłonności posiada ona znaną domieszkę in-
nej skłonności, która wzrasta z maleniem jej masy”. Nawet gdy się wie dobrze, co to jest
chiralność, trudno się połapać, co Autorzy mieli na myśli (abstrahując już od faktu, że
początek zdania jest nieprawdziwy, bo foton nie ma chiralności równej 2). Autorzy chyba
sami dostrzegli, że ich tekst nie będzie zrozumiały dla „zdeterminowanego inteligentnego

czytelnika” i na s. 298 piszą: „W pozostałej części tego rozdziału stosować się będziemy do wymogów pedagogiki”. Zakłęcie to jednak nic nie pomogło i dalsza część rozdziału nie jest wcale lepsza. Niedawno ukazała się obszerna dwutomowa monografia Weinberga poświęcona kwantowej teorii pola. Czytając *Zaproszenie do fizyki współczesnej* odnosiłem wrażenie, że Autorzy założyli się z kimś, iż napiszą tekst, w którym użyją wszystkich pojęć matematycznych stosowanych przez Weinberga bez przytoczenia ani jednego wzoru. Nie wiem, czy zakład ten wygraliby, bo na s. 333 dają chyba za wygraną pisząc: „Jest duża różnorodność liczb kwantowych. Jeżeli spróbujemy je przełknąć za jednym zamachem, wtedy dostaniemy niestrawności. Dlatego pominiemy tutaj wszystkie szczegóły i przyjmiemy, że je już znamy”.

Pisząc recenzję dobrej książki jestem dumny, gdy mogę znaleźć choć jeden istotny błąd. Na ogół jest to dość trudne, bo to przecież autorzy są specjalistami w dziedzinie, którą opisują w książce. W recenzowanej książce jest tyle błędów, że musiałem dokonać ich wyboru. Rozpocznę od historii fizyki, która odgrywa ważną rolę w każdym popularnym tekście, zaś tu została potraktowana ogromnie nonszalancko. Autorzy pisząc o historii odkryć popełniają kardynalne błędy, niektóre z nich powinny zdziwić nawet licealistów, dla których dostępna jest według Autorów opinii ta książka. Błędy historyczne zaczynają się już w XVIII w. Na stronie 439 możemy przeczytać, że „Siła elektryczna między dwiema nieruchomymi cząstkami naładowanymi została odkryta doświadczalnie przez Coulomba”. W istocie siły te były znane na długo przed Coulombem, którego cenimy za to, iż zastosował wagę skręceń do dokładnych pomiarów zależności tych sił od odległości i odkrył w ten sposób swoje prawo. Na stronie 17 sławny wzór Bohra, znany każdemu licealiście, wiążący częstość promieniowania z wartościami energii elektronu w stanie początkowym i końcowym został nazwany prawem Plancka. W rozwoju fizyki kwantowej bardzo ważną rolę odegrało wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego przez Einsteina, który za to właśnie otrzymał nagrodę Nobla. O efekcie fotoelektrycznym jest mowa w książce dwukrotnie, ale Autorzy najwyraźniej nie wiedzą, na czym on polega. Na stronie 16 czytamy, że efekt fotoelektryczny polega na „wytwarzaniu prądu elektrycznego za pomocą płytki miedzianej podczas jej naświetlania intensywnym światłem”. Podobnie na stronach 307 i 308 można przeczytać, że Hertz odkrył, iż „w oświetlonych metalach przepływa prąd”. Autorom i Tłumaczom należy zadać w tym miejscu pytanie z fizyki I: jeżeli prąd płynie w płytce miedzianej, to jaką rolę odgrywa praca wyjścia we wzorze Einsteina na energię kinetyczną elektronu? Pozostając przy historii mechaniki kwantowej, możemy na s. 51 przeczytać, że „Balmer pokazał empirycznie, że częstości tych linii spełniają bardzo prostą zależność w rodzaju R/n^2 ”. A ja zawsze myślałem, że częstości są opisane przez różnice termów widmowych. Nowsza historia fizyki jest potraktowana równie nonszalancko. Na stronie 358 dowiadujemy się, że Lamb i Retherford „znaleźli nieoczekiwane przesunięcie poziomu energii atomu wodoru”. Nie wyjaśniono jednak w tym miejscu, jakiego to poziomu dotyczy. Rozwikłanie tej zagadki może uważny czytelnik znaleźć nieoczekiwanie na s. 54, gdzie czytamy, iż jest to „przesunięcie Lamba dla stanu podstawowego wodoru”. A wystarczyło przecież zajrzeć do dowolnego podręcznika elektrodynamiki kwantowej, żeby się dowiedzieć, że Lamb i Retherford odkryli rozszczepienie poziomów 2s i 2p o momencie pędu 1/2, które to poziomy są zdegenerowane w teorii Diraca nie uwzględniającej zjawisk fluktuacji próżni. Dalej na s. 330 i także na s. 147 czytamy, że Lee i Yang w 1956 r. odkryli, że dla oddziaływań słabych niezmienniczość

względem operacji parzystości jest naruszona. Można jeszcze zrozumieć, iż trudno jest nieraz ustalić z całą pewnością co kto odkrył, gdy mówi się o odkryciach sprzed wielu wieków. W przypadku Lee i Yanga sprawa jest jednak dużo prostsza. Wystarczy sięgnąć na półkę w bibliotece i przeczytać choćby streszczenie ich pracy w *Physical Review*. Niezachowanie parzystości odkryła C.S. Wu w roku 1957, zaś w pracy Lee i Yanga autorzy zbadali jedynie istniejące dowody na zachowanie parzystości w słabych oddziaływaniach, uznali, że są one niewystarczające i zaproponowali przeprowadzenie nowych doświadczeń. Czytając o hipotezie neutrina wysuniętej przez Pauliego w 1931 r. (s. 320) dowiadujemy się, że „eksperymentalne potwierdzenie istnienia neutrina trzeba było odłożyć aż do niedawnych lat”. „Lata niedawne” nie jest określeniem precyzyjnym, ale na pewno nie można tego terminu zastosować w przypadku odkrycia neutrina. Reines i Cowan odkryli neutrina w bezpośrednim eksperymencie 40 lat temu!

Błędy oryginału nie ograniczają się niestety do kwestii historycznych. Znalazłem w książce miejsca, które moim zdaniem świadczą o głębokim niezrozumieniu podstawowych elementów mechaniki kwantowej. Na stronie 308 czytamy: „sygnał radiowy zawiera wiele fotonów i dlatego może być w nim zakodowana duża liczba poleceń (...) W sygnale, który zredukowany jest do pojedynczego fotonu, może być oczywiście zawarta jedynie ograniczona liczba informacji” (Nawiasem mówiąc, ale jest to już wina tłumaczenia, nie mówi się „liczba informacji”, lecz „ilość informacji”). Otóż spieszę donieść wszystkim zainteresowanym, iż pojedynczy foton ma nieskończoną pojemność informacyjną, taką samą jak fala elektromagnetyczna. Pojedynczy foton jest bowiem opisany w mechanice kwantowej, jak każda inna cząstka, przez funkcję falową, a funkcja falowa, jak wiadomo, wymaga nieskończenie wielu współczynników do jej określenia. Podobny błąd popełniają Autorzy na s. 447, gdzie piszą: „W najprostszym przypadku cząstki poruszającej się swobodnie, funkcja falowa jest falą płaską”. Zdanie to wyjaśnia, dlaczego Autorzy sądzili, że foton niesie ograniczoną ilość informacji. Sądzą oni bowiem, iż funkcja falowa swobodnej cząstki jest zawsze falą płaską. Na stronie 221 znajdujemy błędne zdanie, które świadczy o niezrozumieniu przez Autorów tak ważnego pojęcia, jak energia pola magnetycznego. Czytamy tam bowiem: „(...) energia magnetyczna znika, gdy ją uśrednić po wszystkich położeniach elektronu”. Otóż energia magnetyczna jest, jak wiadomo, zmagazynowana w polu magnetycznym. Gęstość energii pola wyraża się przez kwadrat wektora indukcji magnetycznej. Żadne „uśrednianie” po czymkolwiek wielkości dodatniej nie może dać w rezultacie zera. Na tej samej stronie czytamy, że „przejście z odwróceniem spinu jest zabronione przez mechanikę kwantową: dla każdego atomu może ono zachodzić tylko raz na 10 milionów lat”. Na czym polega zabronienie? Przecież ten bardzo długi czas życia jest obliczony właśnie na podstawie mechaniki kwantowej. Wielki kłopot sprawiają Autorom i Tłumaczom jednostki i wymiary wielkości fizycznych. Pod tym względem panuje w książce zupełny chaos. Wiele wzorów przepisano z książek, w których używa się przyjętej wśród zawodowców konwencji, która polega na opuszczeniu prędkości światła i stałej Plancka. Niestety, nie poinformowano o tym czytelników i w dodatku konwencja ta jest stosowana tylko od czasu do czasu. W różnych rozdziałach przyjęto bez objaśnienia różne konwencje i zdarza się tak, iż ta sama wielkość fizyczna ma różne wymiary. Tak dzieje się np. ze stałą grawitacyjną Newtona G , którą w dodatku oznacza się różnie w różnych miejscach książki. Jednostki sprawiają Autorom trudności także na poziomie fizyki elementarnej. Na stronie 66 czytamy: „Jest to siła równoległa do kierunku propa-

gacji światła i równa, co do wartości, iloczynowi pędu fotonu i szybkości”. Ocena rządów wielkości wydaje się piętą Achillesa Autorów. Na stronie 310 czytamy np., że „kaloria jest energią potrzebną do ogrzania jednego grama wody o jeden stopień, na przykład kawałek białego chleba zawiera 80 kalorii”. Przecież te kalorie w chlebie, to zupełnie inne kalorie; są to kilokalorie w skali fizycznej. Dalszy ciąg błędów w ocenie wielkości fizycznych znajdujemy na s. 378, gdzie napisano o tym, jak trudno jest w czasie spaceru (jak rozumiem spacer jest elementem przybliżającym czytelnikowi trudne pojęcie morza Diraca) produkować pary elektron-pozyton, gdyż do tego potrzebna jest energia $2mc^2$, zaś, jak piszą Autorzy, „z całą pewnością w czasie spaceru takiej energii nie możemy dostarczyć”. Otóż zapewniam Autorów książki, że energia potrzebna do podniesienia nogi przy stawianiu jednego kroku w czasie spaceru wystarcza do wyprodukowania zawrotnej liczby par elektronowych. To, że nie produkujemy par elektronowych w czasie spaceru, wcale nie wynika z niedoboru energii. Na stronie 393 przy podawaniu gęstości krytycznej Wszechświata pomyłono się o dwanaście (!) rządów wielkości. Nie jest to błąd zecerski, bo ta liczba pojawia się w tekście kilkakrotnie. O nieznanym zwykłej mechaniki klasycznej świadczy zdanie (s. 432): „W czystym ruchu obrotowym ciało zmienia swą orientację bez zmiany położenia i dlatego musi na nie działać coś innego niż zwykła siła”. Ciekawe, co to za niezwykła siła działa na naszą Ziemię, żeby utrzymać ją „w czystym ruchu obrotowym”. To tylko starożytni filozofowie sądzili, że dla podtrzymania ruchu ciała potrzebne jest zewnetrzne działanie.

Nie tylko nieznanostwo fizyki, ale i matematyki wyciera z kart książki. Gdy się zamierza wyjaśniać pojęcie fraktala, zbiory Cantora i chaos, powinno się posiadać odpowiednią wiedzę matematyczną. Na stronie 195 czytamy, że „nasza znajoma przestrzeń jest trójwymiarowa”, bo „dla określenia położenia w niej punktu musimy podać trzy liczby (...) mniej nie wystarczy”. Tymczasem to właśnie Cantor pokazał, jak można jedno-jednoznacznie odwzorować odcinek na kwadrat, czy też na sześciąt, co oznacza, że dla określenia położenia punktu w „naszej znajomej przestrzeni” o dowolnym skończonym wymiarze topologicznym wystarczy zawsze tylko jedna liczba. Autorzy posługując się terminem „wymiar topologiczny” najwyraźniej nie rozumieją jego sensu.

O treści książki mógłbym jeszcze pisać długo, ale bojąc się wspomnianej wyżej niestrawności u czytelników przejdę do omówienia tłumaczenia.

Rzadko widuje się książkę z fizyki tak źle przetłumaczoną! Najlepiej wypada część przetłumaczona przez Krystynę i Michała Kurzyńskich. W ich tekście znalazłem tylko kilka potknięć (np. niewłaściwe używanie terminu cząsteczka, zamiast cząstka, na s. 248). W tekstach pozostałych Tłumaczy błędy są liczniejsze. Najgorzej przetłumaczony jest rozdział I. Tłumacz wykazał się tu nie tylko nieporadnością językową pisząc np.: „promieniowanie (...) nie może się rozchodzić w powietrzu ze względu na wywołującą w nim jonizację” (przypp. tłum. s. 55), czy też „dopplerowskie poszerzenie częstości” (s. 20), lub „atomy będą wtedy rozłożone pomiędzy wszystkie dozwolone poziomy energetyczne” (s. 23), ale także wykazał się rażąco nieznanostwem mechaniki kwantowej. Na stronie 17 możemy przeczytać, że istnieje „prosta relacja proporcjonalności między momentem pędu fotonu (!) (...) a częstotliwością fali elektromagnetycznej”. Z przypisku tłumacza na s. 20 możemy się też dowiedzieć, że to krzywa Gaussa opisuje natężenie linii widmowej. Z pierwszego przykładu wynika, że Tłumacz nie wie, że angielski termin „momentum” oznacza pęd, a nie moment pędu, zaś przypisek tłumacza świadczy o tym, że nie sły-

szał on o krzywej Lorentza. Tłumacz rozdziału II o nadprzewodnictwie zapewne po raz pierwszy spotkał się z nazwiskiem Abrikosowa, bo pisze je systematycznie przez „z”.

A teraz jeszcze kilka przykładów wziętych z różnych miejsc książki. „Jeżeli zewnętrzne pole zależy tylko od jednej częstotliwości” (s. 57), „Rozważmy strumień składający się z atomów o ostrych przejściach dozwolonych w pobliżu stanu podstawowego” (s. 66), „Tak małe jak są, złapane kwanty strumienia mogą być policzone” (s. 83), „Parametr porządku (...) jest jakością rozwijającą się” (s. 85), „W końcu dochodzimy do ich przestrzennej falowości kwantowej, wzmocnionej nieskończenie przez ich nierozróżnialność” (s. 92), „Łącząca je prosta będzie rozwijała się wykładniczo” (s. 166), „Dynamika ostatecznie znajdzie się na pewnym atraktorze” (s. 202), „Z elektronami możemy związać różne pierwiastki chemiczne” (s. 295), „Oczywiście w naszym wyprowadzeniu występują obok siebie na równych prawach pewne istotne przypuszczenia i duże oczy z tyłu głowy” (s. 336), „W eksperymencie tym elektrony były ciskane w neutronową tarczę” (s. 347), „Jeżeli więc pytamy o gęstość Układu Słonecznego, to ona spada” (s. 393), „Poza układem słonecznym obfitość mierzymy metodami spektroskopowymi” (s. 409), „Aby obchodzić się z rozmiarami, które mogą być bardzo małe lub bardzo duże” (s. 425), „Siła wywierana przez prąd na magnes jest kołowa” (s. 440), „Ruch punktu zerowego” (s. 446), „elektron może rozchodzić się przez obie szczeliny jako alternatywy” (s. 448), itd., itd.

Najzabawniejszy passus znalazłem na s. 299, gdzie czytamy: „(...) odkryto mion, o którym sądzono, że jest »niepotrzebny«, było to tak zdumiewające, że I.I. Rabi natychmiast wykrzyczał swoją sławną uwagę: Kto to uporządkował?” Tłumacz położył tutaj cały dowcip, nie wiedząc o tym, że Rabi użył tu czasownika „to order” w znaczeniu „zamawiać”, tak jak w zdaniu „Kto zamawiał ruskie?”

Korektorzy też starali się dorównać Autorom i Tłumaczom przepuszczając mnóstwo literówek (na s. 394 brakuje nawet kawałka zdania).

Recenzowana książka jest materialnym dowodem banalnego twierdzenia, że nie wystarczy być autorem kilku prac naukowych, by napisać dobrą książkę popularną z fizyki i że nie wystarczy zdać maturę z polskiego i zaliczyć lektorat angielski, by umieć tłumaczyć książki. Szkoda tylko, że dochodzenie do tych oczywistych prawd odbyło się za (nasze wspólne!) pieniądze Komitetu Badań Naukowych i Polskiej Fundacji Upowszechniania Nauki.

Iwo Białynicki-Birula

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN
i Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Igor Nowikow: *Czarne dziury i Wszechświat*
z jęz. angielskiego tłumaczył Stanisław Bajtlik
Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 1995, s. 237

Książka Igora Nowikowa *Czarne dziury i Wszechświat* otworzyła nową serię o nazwie „Na Ścieżkach Nauki” wydawnictwa Prószyński i S-ka. Jej Autor, wybitny rosyjski astrofizyk, jest obecnie szefem Centrum Astrofizyki Teoretycznej w Kopenhadze. Wcześniej współpracował z samym twórcą sławnej rosyjskiej szkoły kosmologii i astrofizyki, zmarłym przed kilkanaście laty Jakowem B. Zeldowiczem.

Należy stwierdzić, że książka Nowikowa ukazała się w samą porę. Jak wiadomo, dwa lata temu, dzięki udanej misji wahadłowca Endeavour, z powodzeniem skorygowano „zamglony” wskutek wady zwierciadła „wzrok” teleskopu kosmicznego Hubble’a. Społeczność astronomów spodziewała się więc radykalnego postępu w badaniach rozmaitych egzotycznych obiektów we Wszechświecie. I rzeczywiście: kilka miesięcy później doniesiono o odkryciu czarnej dziury w jądrze gigantycznej galaktyki eliptycznej o nazwie M87. Wiadomość ta trafiła nawet na łamy prasy codziennej. Obecnie znanych jest już kilka takich obiektów, w tym też podwójne czarne dziury.

Od wielu lat astronomowie podejrzewali, że czarne dziury mogą ukrywać się w centralnych częściach galaktyk. To chyba najbardziej niezwykle obiekty w całym Wszechświecie – nieuchronne, nieodwracalne „ścieki” dla materii i światła, a być może nawet też „okna” do innych wymiarów, czy wręcz innych światów. Ich istnienie przewidziano już 200 lat temu, ale dopiero niedawno zaczęto ich poszukiwać jako realnych obiektów astrofizycznych.

Z końcem maja 1994 r. Holland Ford, zatrudniony na Uniwersytecie Johnsa Hopkinsa oraz w Instytucie Naukowym Teleskopu Kosmicznego, wystąpił na posiedzeniu NASA z rewelacyjną informacją. Oświadczył on, że wraz ze swymi kolegami skierował naprawiony teleskop Hubble’a na centrum olbrzymiej galaktyki eliptycznej M87, odległej od Ziemi o 50 milionów lat świetlnych. (Przed naprawą teleskopu obraz jądra M87 był zbyt rozmyty, by można było rozróżnić szczegóły). W centrum galaktycznego wiru (wirującego dysku gazów) nie zobaczyli oni, rzecz jasna, samej czarnej dziury, gdyż (niezależnie od niewielkich rozmiarów kątowych) z samej jej natury nie jest to możliwe. Zgodnie ze starymi sugestiami, zaczęto przyglądać się owemu dyskowi i zmierzono prędkość jego wirowania. Dzięki badaniom położenia linii widmowych okazało się, że skrajne strugi gazu poruszają się względem siebie z prędkością równą niemal 2 miliony km/godz., tj. ponad 500 km/s. Dokładniejsza analiza dowodzi, że aby gazowy dysk odpowiednich rozmiarów mógł obracać się z tak wielką prędkością i jednocześnie być tworem stabilnym – niezbędne są bardzo silne pola grawitacyjne. Trudno bowiem wyobrazić sobie inny sposób utrzymania takiego tworzywa w całości. Nieskomplikowany rachunek daje szokujące liczby: w centrum M87 powinno tkwić ciało o masie równej jakiejś 2 lub 3 miliardy (!) mas Słońca, i o rozmiarach (zaledwie) Układu Słonecznego. Od bardzo dawna już podejrzewano, że ciała takie nie będą wypuszczać na zewnątrz żadnego promieniowania, stąd – choćby nawet produkowały olbrzymie ilości energii – będą ciemne.

Pierwsza część książki Nowikowa wprowadza nas w egzotyczny świat czarnych dziur. Dowiemy się, że koncepcja takich obiektów liczy już 200 lat, a pojawiła się jeszcze na gruncie starej teorii grawitacji Newtona. Przy okazji Nowikow prostuje od dawna zakorzenione mniemanie, jakoby twórcą hipotezy czarnych dziur był francuski astronom i matematyk, Pierre S. Laplace. W istocie, o kilkanaście lat uprzedził Laplace'a angielski duchowny, twórca nowoczesnej sejsmologii, John Michell. W kolejnych rozdziałach tej części książki Autor omawia też obserwacyjne aspekty czarnych dziur, które, choć same nie świecą, wywierają znaczny wpływ na swe otoczenie i tym samym powinny zdradzać fakt swego istnienia. Na koniec zaś dostajemy przystępny opis zagadnień najnowszych, najtrudniejszych, ale też i najbardziej fascynujących. Chodzi o problem tzw. próżni kwantowej wraz z odkrytym 20 lat temu przez Stephena Hawkinga zjawiskiem „parowania” czarnych dziur.

Dostępna w Polsce literatura popularnonaukowa na temat współczesnej astrofizyki i kosmologii nie jest zbyt bogata. Po stanowczo przereklamowanej *Krótkiej historii czasu* Hawkinga oraz *Czarnych dziurach i wszechświatach niemowlęcych* tego samego autora, dostaliśmy więc książkę pod tytułem bardzo zbliżonym do tej ostatniej. Jednak, w przeciwieństwie do tamtej, recenzowana książka Nowikowa jest bardzo rzetelna i kompletna. Mam wrażenie, że nie znajdziemy w dostępnej polskiej literaturze popularnej prostszego wyjaśnienia fizycznej istoty tych egzotycznych obiektów, znanych pod infantylną nieco nazwą czarnych dziur.

Druga część książki (Granice nieskończoności) dotyczy zagadnień współczesnej kosmologii, tj. struktury i ewolucji całego Wszechświata. W tej części Nowikow, skądinąd współautor (ze wspomnianym Zeldowiczem) bardzo fachowej i trudnej monografii *Budowa i ewolucja Wszechświata*, w sposób znakomity zdołał bez odwoływania się do matematyki wyjaśnić wiele istotnych dla kosmologii pojęć, takich jak krzywizna przestrzeni, horyzont, supersymetria, unifikacja. Znajdziemy tam przede wszystkim nader przystępne omówienie tzw. modelu standardowego, czyli koncepcji gorącego wczesnego Wszechświata, który przeszedł przez stadium gwałtownej eksplozji i wciąż jeszcze, od kilkunastu miliardów lat, rozszerza się. Pozostałością po wczesnych etapach ewolucji jest tzw. reliktowe promieniowanie tła, badane z powodzeniem od kilku już lat przez niezmiernie udanego satelitę COBE.

Ani przez moment Nowikow nie przytłacza czytelników swą wiedzą. Rozstając się z nimi pisze w Epilogu książki: „Nauka o Wszechświecie – kosmologia – rozwija się dziś szczególnie szybko i dokonuje wciąż nowych, zaskakujących odkryć. [...] Nowe pokolenie młodych uczonych przystępuje teraz do rozwiązywania jeszcze nie tak dawno »nierozwiązywalnych problemów«”.

Reasumując: *Czarne dziury i Wszechświat* Igora Nowikowa są wyjątkowo wartościową pozycją popularnonaukową, godną ze wszech miar polecenia wszystkim zainteresowanym najnowszymi kierunkami kosmologii i astrofizyki.

W przypadku niniejszego, polskiego wydania (oryginał rosyjski ukazał się 11 lat temu, angielski – przed 6 laty), trzeba koniecznie podkreślić dwie rzeczy. Pierwsza – to bardzo dobre tłumaczenie S. Bajtlika, który sam będąc fachowcem w sprawach astrofizyki potrafił oddać treść książki naturalną, potoczystą polszczyzną. Zaletą książki jest też kilka stron uzupełnienia, napisanych przez znanego szerokiej publiczności z telewizyjnych audycji eksperta, prof. Marka Demiańskiego. Dzięki temu aktualność książki,

w tej zmieniającej się niemal z dnia na dzień dziedzinie, nie pozostawia nic do życzenia.

By recenzja ta nie była tylko zbiorem samych pochwał, pozwolę sobie jeszcze zaznaczyć dwa drobiazgi. Na stronie 148 znajdujemy nieoczekiwanie cytaty z Lenina na temat ruchu i materii. Jest on zbyt banalny i mętny, by go tu przytaczać. Rzecz jasna ktoś, kto napisał kilkadziesiąt tomów na wszelkie tematy, musiał w końcu napisać coś także o ruchu i przestrzeni. Zrozumiałe też, że w pierwszym, radzieckim wydaniu książki musiało się coś takiego znaleźć, zapewne jako ukłon w stronę wszechwładnych cenzorów. Ale w obecnych czasach jest to już tylko żenujący anachronizm, zbyt kontrastujący z pozostałą, naprawdę znakomitą i odpowiedzialnie napisaną treścią.

W całej książce Autor nie stroni od cytatów i aluzji historycznych. W ten sposób jej styl jest bardzo lekki i przystępny. Osobiście więc – zamiast cytatu z Lenina i opisu debaty na VI Radzieckim Kongresie Kosmologicznym w Moskwie – przeczytałbym chętnie np. o losach uczniów Aleksandra A. Friedmana, rosyjskiego matematyka o wszechstronnych zainteresowaniach (meteorologia, teoria ruchu pocisków, loty balonem w stratosferę), który przewidział rozszerzanie się Wszechświata. O ile mi wiadomo, większość z nich „zniknęła” w latach czystek stalinowskich. Ocalał jedynie George Gamow, twórca aktualnej do dziś koncepcji gorącego i gęstego wczesnego Wszechświata (opublikowanej w r. 1948), ponieważ w latach dwudziestych zdołał wyemigrować z ZSRR do USA.

Krzysztof Maślanka

Obserwatorium Astronomiczne UJ
Kraków

K R O N I K A

P T F

**Działalność Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizycznego
w okresie wrzesień 1995 – grudzień 1996**

Szczegółowe sprawozdanie z działalności Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizycznego w okresie połowy kadencji zostało przedstawione na Posiedzeniu Plenarnym Zarządu Głównego 14 grudnia 1996 r.

Na podstawie tego sprawozdania przedstawiamy tu jedynie niektóre istotne problemy.

1. Działalność organizacyjna

Działalność statutową w różnych dziedzinach prowadziło dziewięć powołanych do tego celu komisji PTF. Wśród nich aktywnością wyróżniła się Komisja Historii Fizyki: inspiracją ośmiu publikacji i opracowań, udziałem członków Komisji w pracach Komitetu Historii Nauki i Techniki PAN oraz uczestnictwem w Radzie Naukowej Instytutu Historii Nauki PAN. Przewodnicząca nowoutworzonej Komisji Fizyki Środowiska po doświadczeniach zdobytych w okresie półkadencji zapostulowała celowość powołania komisji fizyki środowiska przy oddziałach PTF. W dużej mierze dzięki dyskusji na Posiedzeniu Plenarnym jest aktualnie tworzona bardzo potrzebna Komisja PTF ds. Promocji i Popularyzacji Fizyki.

Zadowalająco przebiegała działalność organizacyjna wspomagająca rozwój młodzieży wykazującej zainteresowania i uzdolnienia w dziedzinie fizyki. Laureaci XLV Olimpiady Fizycznej oraz ich nauczyciele otrzymali nagrody pieniężne ufundowane przez Komitet Główny Olimpiady Fizycznej oraz przez Zarząd Główny PTF. W roku akademickim 1995/96 ZG PTF po raz pierwszy ufundował i na wniosek KG OF przyznał trzy stypendia dla laureatów Olimpiady Fizycznej, którzy podjęli studia fizyki lub astronomii. W bieżącym roku akad. akcja ta jest kontynuowana i zamiarem ZG PTF jest podejmować ją corocznie. Na XXVII Międzynarodowej Olimpiadzie Fizycznej, która odbyła się w Oslo w dniach 30 czerwca – 7 lipca Polskę reprezentowało 4 uczniów. Uzyskali oni 1 medal srebrny, 1 brązowy i jedno wyróżnienie. Należy podkreślić zaangażowanie i wielką rolę, jaką odgrywa w funkcjonowaniu Międzynarodowych Olimpiad członek PTF kol. W. Gorzkowski, pełniący funkcję prezesa Międzynarodowych Olimpiad Fizycznych.

Pod auspicjami Polskiego Towarzystwa Fizycznego przeprowadzony został w roku 1996 w trzech etapach Turniej Młodych Fizyków '96 (organizatorem TMF był przedstawiciel PTF kol. A. Nadolny). Zwycięska drużyna (z VI LO im. J. Kochanowskiego w Radomiu) reprezentowała Polskę na IX Międzynarodowym Turnieju Młodych Fizyków, który odbył się w Gruzji w dniach 26 czerwca – 6 lipca 1996 r. z udziałem 12 drużyn. Nasza drużyna zdobyła trzecie miejsce.

Do ważnych spraw, jakie wyłoniły się w okresie sprawozdawczym, należy zaliczyć zebranie sugestii, propozycji i komentarzy środowiska naszego Towarzystwa na temat ogłoszonego w bieżącym roku „Planu Strategicznego EPS”. Wśród nadesłanych do ZG PTF opinii przeważały głosy akceptujące wybrane cztery priorytetowe kierunki działania. W ramach uwag krytycznych podkreślono potrzebę szerszej działalności w sferze edukacji młodego pokolenia, jak organizowanie przez oddziały warsztatów w celu doskonalenia kadry nauczycielskiej (Oddział Katowicki) oraz wyłanianie młodych talentów w skali europejskiej już w okresie nauczania podstawowego i ich rozwój poprzez organizowanie różnorodnych konkursów, zawodów itp., w których Polska ma duże doświadczenie i osiągnięcia (Oddział Warszawski).

2. Działalność wydawnicza

Mimo pewnych trudności wszystkie czasopisma, tj. *Acta Physica Polonica A*, *Acta Physica Polonica B*, *Postępy Fizyki*, *Delta* oraz *Reports on Mathematical Physics* były wydawane regularnie i terminowo, a niektóre, jak *APP B*, opublikowały pięć zeszytów specjalnych. Można żywić nadzieję, że dzięki zmianom w składzie Komitetu i Kolegium Redakcyjnego miesięcznika *Delta* istniejące pewne problemy wydawnicze zostaną wkrótce usunięte.

Jak zwykle dużo uwagi ZG poświęcił wydawaniu *Postępów Fizyki*. Nie udało się niestety zaktywizować działalności Rady Redakcyjnej. Trzeba jednak wyrazić opinię, że poziom czasopisma, aktualność i zakres informacji systematycznie wzrasta. Najważniejszy problem to dalece niezadowalająca ilościowo prenumerata czasopisma przez członków PTF, mimo podejmowania przez ZG i zarządy oddziałów różnych działań i ustaleń, które powinny czynić prenumeratę *Postępów Fizyki* bardziej atrakcyjną. Wszystkie zeszyty w okresie sprawozdawczym ukazały się terminowo w nakładzie 1000 egzemplarzy każdy.

W okresie sprawozdawczym ukazały się dwa biuletyny PTF (trzeci w opracowaniu), wydane przez ZG PTF. Przeciętny nakład wersji drukowanej wynosi 1750 egz. Uruchomiono także elektroniczną wersję biuletynu (w kraju: 6 ośrodków, oraz indywidualnie 68 osób, za granicą: 81 osób z 11 krajów). Z inicjatywy ZG wydano następną wersję informatora *Physics Research in Poland 1995–1996* (pod redakcją Z. Ajduka).

Biblioteka PTF z siedzibą w Instytucie Fizyki UMK w Toruniu (pod opieką Oddziału Toruńskiego PTF, kierownik J. Jurkowski) gromadzi stale czołowe czasopisma fizyczne krajowe i zagraniczne, pochodzące głównie z darów członka honorowego PTF S. Mrozowskiego. Środowisko fizyków, zwłaszcza toruńskich, szeroko korzysta ze zbiorów naszej biblioteki, znacznie lepiej zaopatrzonej niż wiele bibliotek uczelnianych (w szczególności w czasopisma dotyczące optyki).

3. Współpraca międzynarodowa

Działalność ta sprowadzała się do systematycznej współpracy PTF z EPS oraz z niektórymi narodowymi towarzystwami fizycznymi. Należy wymienić:

- uczestnictwo w Światowym Kongresie Narodowych Towarzystw Fizycznych, Tokio, wrzesień 1995 (I. Strzałkowski). Wygłoszenie komunikatu, zaproszenie do prowadzenia sesji (panelu dyskusyjnego), nawiązanie kontaktu z Japońskim Towarzystwem Fizycznym z propozycją podpisania umowy;

- podpisanie umowy o współpracy z DPG, Frankfurt nad Odrą, marzec 1996 (H. Szymczak, I. Strzałkowski);
- udział w posiedzeniu Rady EPS, Lizbona, marzec 1996, (I. Strzałkowski);
- udział w posiedzeniu reaktywowanego East-West Task Force, Praga, lipiec 1996 (H. Szymczak, wybór na członka Zarządu);
- złożenie oferty PTF do prezesa EPS dotyczącej organizacji biura European Mobility Scheme for Physics Students (EMSPS) w Polsce, sierpień 1996;
- udział w X Generalnej Konferencji EPS „Trends in Physics” oraz w towarzyszących spotkaniach: spotkanie przedstawicieli narodowych towarzystw fizycznych krajów Europy Środkowej i Wschodniej, zebranie Zarządu East-West Task Force (EUTF), zebranie indywidualnych członków EPS, sympozja: „Fizyka i Edukacja” i „Rynek pracy i możliwości zatrudnienia fizyków”, spotkanie Komitetu Monitorującego Tytuł „Fizyka Europejskiego”, Sewilla, wrzesień 1996 (H. Szymczak, I. Strzałkowski, W. Głazkowa, H. Wrembel);
- udział w posiedzeniach Komitetu EMSPS (I. Sosnowska, członek Komitetu). W programie EMSPS aktualnie bierze udział 13 polskich uczelni, w bieżącym roku akad. stypendia zagraniczne otrzymało 45 polskich studentów;
- przystąpienie PTF jako członka stowarzyszonego do nowoorganizowanej Europejskiej Sieci Edukacyjnej EUPEN (I. Strzałkowski, przedstawiciel PTF). Członkiem Komitetu Organizacyjnego (EUPEN Steering Committee) została I. Sosnowska;
- współpraca z IOP: negocjacje w sprawie ufundowania stypendium im. M. Batki dla najlepszego ucznia z fizyki, uzyskanie dokumentacji dotyczącej kontaktów IOP z różnymi organizacjami i instytucjami gospodarczymi, kulturalnymi, naukowymi i rządowymi w Wielkiej Brytanii, uzyskanie poważnej zniżki składek dla polskich członków IOP;
- podpisanie umowy o współpracy z Japońskim Towarzystwem Fizycznym (JPS), sierpień 1996;
- prowadzenie rozmów w sprawie podpisania umów o współpracy dwustronnej z towarzystwami fizycznymi Białorusi, Bułgarii i Węgier;
- zgłoszenie przedstawiciela PTF do nowoorganizowanej przez EPS Grupy Koordynacyjnej WWW (J. Zagrodziński);
- udział przedstawicieli PTF we władzach 16 struktur EPS (oddziałów, grup międzynarodowych i sekcji);
- stałe przekazywanie do opublikowania w *Europhysics News* rocznego kalendarza polskich imprez naukowych;
- zaproszenie i zorganizowanie wizyty delegacji DPG w Warszawie, grudzień 1996.

4. Działalność naukowa, dydaktyczna i popularyzatorska

Polskie Towarzystwo Fizyczne w okresie półkadencji objęło patronatem lub sponsorowało i brało udział w organizacji pięciu konferencji i sympozjów naukowych.

W odpowiedzi na apel ZG PTF o zgłaszanie przez oddziały PTF fizyków, którzy mogliby się podjąć recenzowania podręczników szkolnych, zarządy oddziałów przekazały wraz z rekomendacjami zgłoszenia 16 osób. Lista tych osób została wysłana do MEN i mamy nadzieję, że ministerstwo zgodnie z zapowiedzią będzie korzystało z usług recenzentów poleconych przez PTF.

Wskutek odmowy wsparcia finansowego przez KBN akcja popularyzacji działalności naukowej przez „Wykładowców PTF” funkcjonowała w okresie sprawozdawczym w bardzo ograniczonym zakresie mimo dużego nią zainteresowania.

Działalność popularyzatorska i dydaktyczna dla nauczycieli, uczniów i szerokiej publiczności była prowadzona w oddziałach, z wykorzystaniem wypracowanych od lat różnorodnych form jak wykłady, pokazy, odczyty i seminaria. Również na te cele KBN odmówił przyznania jakichkolwiek środków, zarówno na rok 1995 jak i 1996.

We wszystkich pracach ZG PTF przewijał się stale aktualny wątek zasad i źródeł finansowania działalności Towarzystwa. Problem ten, na tle ogólnej sytuacji towarzystw naukowych w Polsce, których działalność statutowa nie jest według obecnych przepisów dofinansowywana przez nikogo, stanowi jedno z najważniejszych zadań, którymi zajmuje się Rada Towarzystw Naukowych. Obecnie rysują się perspektywy uzyskania przez Radę większego wpływu na kształt prawny usytuowania towarzystw naukowych w systemie wspierania społecznego ruchu naukowego w Polsce i ZG zdecydował się kontynuować ścisłą współpracę z Radą. W celu przybliżenia problematyki PTF szerszemu środowisku naukowemu, w nr. 1 (1996) kwartalnika *Problemy Społecznego Ruchu Naukowego*, wydawanego przez Radę Towarzystw Naukowych, została zamieszczona publikacja „Polskie Towarzystwo Fizyczne – wczoraj, dziś, jutro” (W. Doborzyńska-Głazek, I. Strzałkowski).

Bez rozwiązania problemów finansowania, przy jedynie przedmiotowym dotowaniu PTF przez KBN z pominięciem działalności statutowej, nie można oczekiwać bardziej aktywnego rozwijania się naszych działań.

Wobec systematycznie malejącej rangi fizyki i upadającego ciągle autorytetu fizyków w społeczeństwie (nie tylko w Polsce) Zarząd Główny PTF za podstawowy problem w najbliższej działalności Towarzystwa uważa nadal sprawę promocji fizyki, przekazywania informacji o jej niezbywalnej kulturotwórczej i kształcącej roli w życiu społeczeństwa, z udziałem najwybitniejszych autorytetów w tej dziedzinie i z wykorzystaniem masowych środków informacji jak telewizja, radio i prasa.

Za równie ważny problem w dalszej działalności uważamy wywieranie nacisku na czynniki za to odpowiedzialne, aby dbały o właściwe wykształcenie przyszłych pokoleń, bez czego zagrożone jest istnienie nie tylko PTF i EPS, lecz także i samej fizyki jako nauki.

Musimy dążyć ze wszystkich sił do wyrobienia powszechnego przekonania, że bez właściwego umiejscowienia fizyki w programach edukacji narodowej i w programach badań naukowych nasz kraj nie będzie partnerem odpowiedniej rangi w światowej społeczności XXI w.

Ireneusz Strzałkowski
Sekretarz Generalny PTF

Wnioski o nagrody PTF

Zarząd Główny PTF uprzejmie przypomina, że w Polskim Towarzystwie Fizycznym ustanowiono nagrody statutowe,

corocznie przyznawane przez komisje nagród PTF, na podstawie wniosków nadsyłanych przez oddziały PTF i instytucje naukowe, zgodnie ze specjalnymi regulacjami nagród.

Nagrody są następujące:

1. Najwyższe odznaczenie PTF – Medal Mariana Smoluchowskiego;
2. Nagroda naukowa PTF im. Wojciecha Rubinowicza;
3. Nagroda PTF im. Grzegorza Białkowskiego dla wyróżniających się nauczycieli fizyki (ze szkół wszelkich typów prócz wyższych);
4. Nagroda PTF im. Arkadiusza Piekary za wyróżniającą się pracę magisterską (I, II i III stopnia);
5. Nagroda PTF za popularyzację fizyki.

Termin nadsyłania wniosków na dany rok upływa 30 czerwca.

Regulaminy nagród znajdują się w oddziałach PTF.

Zarząd Główny PTF

XXXIV Zjazd Fizyków Polskich

XXXIV Zjazd Fizyków Polskich, jak już informowaliśmy w ubiegłych numerach w naszym Kalendarzu Imprez, odbędzie się w dniach 15 – 18 września 1997 r. w Katowicach. Organizatorami są: Oddział Katowicki PTF, Instytut Fizyki Uniwersytetu Śląskiego, Instytut Fizyki i Chemii Metali Uniwersytetu Śląskiego, Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach i Zakład Fizyki Ciała Stałego PAN w Zabrze. Przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego jest prof. Jerzy Warczewski, a Komitetu Naukowego – prezes PTF prof. Henryk Szymczak.

W programie są przewidziane cztery wykłady laureatów Nagrody Nobla: „Nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe” (G. Bednorz), „Podejście probabilistyczne do problemu fazowego w krystalografii rentgenowskiej” (H. Hauptman), „Fulleren C₆₀” (H. Kroto) i „Fizyka neutronów” (R. Mössbauer); te wykłady będą wygłoszone po angielsku. Z polskich wykładów

obiecali swój udział: Jerzy Czerwonko (Nadciekłość ³He), Andrzej Fuliński (Wkład Mariana Smoluchowskiego do fizyki), Michał Heller (Kosmologia i teoria grawitacji), Andrzej Hryniewicz (Ekologiczne problemy energetyki), Jerzy Janik (Badania dynamiki kryształów molekularnych i ciekłych kryształów), Jan Mozrzyk (Symetrie w przyrodzie), Bohdan Paczyński (Astronomia i astrofizyka), Adam Sobczewski (Obszary zwiększonej trwałości najcięższych jąder), Ryszard Sosnowski (Przyszłe doświadczenia w dziedzinie fizyki wysokich energii i udział w nich fizyków polskich), Jan Stankowski (Nadprzewodnictwo grafitu i fullereny), Maciej Suffczyński (Setna rocznica odkrycia elektronu), Andrzej Wróblewski (Setna rocznica odkrycia polonu i radu).

Po południu 16 września przewidziana jest sesja dydaktyczna, której koordynatorem będzie Ireneusz Strzałkowski, zaś 17 września odbędzie się Walne Zebranie delegatów oddziałów PTF, natomiast 18 września przewidziana jest sesja wyjazdowa do Żor, miejsca urodzenia Ottona Sterna, połączona z odsłonięciem tablicy pamiątkowej i wykładem Marka Zrałka o osiągnięciach naukowych Sterna i jego wkładzie w rozwój mechaniki kwantowej.

W czasie trwania Zjazdu czynna będzie wystawa aparatury naukowej i dydaktycznej oraz stoiska firm wydawniczych.

Organizatorzy zapowiadają ciekawe imprezy towarzyszące, m.in. koncert WOSPR-u (III Symfonia Góreckiego).

Oplata konferencyjna (obejmująca koszt żywienia, ale nie obejmująca zakwaterowania) wynosi 130 zł, dla członków PTF 100 zł, zaś dla nauczycieli szkół podstawowych i średnich oraz dla studentów i uczniów 50 zł. Oplatę należy uiścić do 31 maja 1997 na konto: Uniwersytet Śląski, Bank Śląski S.A., VII O/Katowice, nr 10501214-700007909,

z dopiskiem „XXXIV Zjazd Fizyków Polskich”.

Oddział Katowicki

Dnia 25 września 1996 r. odbyło się walne zebranie sprawozdawczo-wyborcze Oddziału Katowickiego. Jak wynika ze sprawozdania przewodniczącego ustępującego Zarządu, prof. Jerzego Warczewskiego, mimo że Oddział liczy zaledwie 21 członków, to z powodzeniem prowadzi ożywioną działalność popularyzacyjną. W okresie sprawozdawczym zorganizowano 18 konwersatoriów, na których referaty wygłaszali wybitni fizycy polscy. Frekwencja wynosiła od 60 do 300 osób. Dzięki uprzejmości *Dziennika Zachodniego* informacje o konwersatoriach Oddziału są w tym dzienniku zamieszczane bezpłatnie.

Od listopada 1995 r. członkowie Oddziału biorą udział w pracach Komitetu Organizacyjnego XXXIV Zjazdu Fizyków Polskich, który odbędzie się we wrześniu 1997 r. w Katowicach, a którego współorganizatorem jest Oddział Katowicki.

Zarząd Oddziału odbył 7 posiedzeń poświęconych organizacji działalności Oddziału i uporządkowaniu spraw finansowych.

Ustępującemu Zarządowi jednogłośnie udzielono absolutorium. Wybrano nowy Zarząd w składzie: Jerzy Warczewski (przewodniczący), Zygmunt Wokulski (wiceprzewodniczący), Józef Komraus (sekretarz), Stanisław Kubiak (skarbnik). Wybrano również Komisję Rewizyjną (Marek Siemaszko i Sylwester Rzoska) i korespondenta Oddziału (Wiktor Zipper).

Wiktor Zipper

Oddział Warszawski

Dnia 16 października 1996 r. odbyło się walne zebranie członków Oddziału Warszawskiego, na którym przewodniczący Od-

ziału Bronisław Orłowski złożył sprawozdanie z działalności Oddziału w ostatniej kadencji. W okresie od czerwca 1995 do września 1996 r. odbyło się 9 spotkań Zarządu Oddziału poświęconych omówieniu organizacji i programu działania Zarządu oraz sprawom bieżącym. Podstawowym kierunkiem pracy było kontynuowanie działania na rzecz poprawy nauczania i popularyzacji fizyki w szkołach poprzez: wykłady ilustrowane pokazami dla uczniów szkół średnich i podstawowych, seminaria dla nauczycieli fizyki, organizowanie Turnieju Młodych Fizyków dla uczniów szkół średnich, patronat nad Ogólnopolskim Seminarium Dydaktyki Fizyki, opiekę nad działalnością Międzyszkolnego Koła Naukowego oraz opiekę nad konkursem fizycznym dla uczniów szkół podstawowych. Z inicjatywy Zarządu terminy zajęć dla uczniów były ogłaszane w lokalnej TV.

W ramach poszukiwań nowych form działania podjęto inicjatywę organizowania spotkań towarzysko-naukowych dla członków Oddziału – w 1996 r. odbyły się dwa takie spotkania połączone w wykładami i zwiedzaniem pracowni Instytutu Fizyki PAN. Poza tym zapoczątkowano zbieranie danych o polskich i europejskich fizykach oraz propagowanie wycieczek do miejsc związanych z „Przeszłością, teraźniejszością i przyszłością fizyki”. Postanowiono również powołać sekcję dydaktyki fizyki przy Oddziale Warszawskim. Ciekawą nową inicjatywą było nawiązanie kontaktu z Oddziałem Warszawskim Polskiego Towarzystwa Chemicznego i wspólne spotkanie w siedzibie Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie, na którym Przemysław Byśzewski wygłosił referat „Chemia i fizyka fullerenów”.

Oddział Warszawski liczy obecnie 382 członków, w tym 21 nowych, przyjętych w 1996 r. Energiczna działalność skarbnika Marka Kowalskiego owocowała uregulowa-

niem zaległych składek przez wielu członków Oddziału. Niestety, 40 członków, notorycznie uchylających się od tego obowiązku i nie reagujących na liczne monity, zostało decyzją walnego zebrania skreślonych z listy członków PTF.

Ewa Jędryka

Nominacje profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymał w dniu 23 października 1996 Włodzimierz Piotr Zych (PW, Warszawa); w dniu 21 listopada 1996 tytuł otrzymali: Wiesław Andrzej Kamiński (KUL, Lublin), Andrzej Kreft (AGH, Kraków), Stanisław Wróbel (UJ, Kraków) i Jerzy Andrzej Zagroździński (IF PAN, Warszawa); w dniu 29 stycznia 1997 tytuł otrzymały: Bożena Czerny (CAMK PAN, Warszawa), Ewa Zofia Dobierzewska-Mozrzyimas (PWr, Wrocław) i Joanna Stepaniak (IPJ, Świerk).

Sprawy Nauki, nr 5 i 6 (1996)
Rzeczpospolita, 30.1.97

Nowe kadencje dyrektorów instytutów jądrowych

Prezes Państwowej Agencji Atomistyki, po zasięgnięciu opinii rad naukowych, mianował na nowe kadencje dyrektorów: Instytutu Problemów Jądrowych – prof. Ziemowida Sujkowskiego (ustępuje prof. Wojciech Ratyński) i Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie – prof. Andrzeja Budzanowskiego (ponownie).

Post. Fiz. Jądrowej 39, nr 3 (1996)

Nagroda EPS w dziedzinie elektroniki kwantowej

Europejskie Towarzystwo Fizyczne (EPS) ustanowiło nagrodę w dziedzinie elektroniki kwantowej. Będzie ona przyznana

wana co dwa lata przez Radę Oddziału Elektroniki Kwantowej i Optyki EPS za ogłoszone drukiem wybitne osiągnięcia doświadczalne i teoretyczne w zakresie badań podstawowych lub stosowanych. Nagrody będą wręczane w czasie konferencji EQEC/CLEO będących połączeniem Europejskiej Konferencji Elektroniki Kwantowej (European Quantum Electronics Conference – EQEC) i Konferencji nt. laserów i elektrooptyki (Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO).

Nagroda ta została przyznana po raz pierwszy w 1996 r. w czasie konferencji EQEC-1996/CLEO-Europe w Hamburgu. Otrzymali ją Claude Cohen-Tannoudji za „rozwińnięcie metody atomu ubranego w optyce kwantowej i podstawowy wkład do zrozumienia sił promieniowania w przełomowych doświadczeniach laserowego chłodzenia i pułapkowania atomów” oraz Sune Svanberg za „pionierskie zastosowanie laserów w diagnostyce spalania, detekcji na odległość i biomedycynie”.

Cohen-Tannoudji jest absolwentem Ecole Normale Supérieure w Paryżu. Użył tam doktorat w 1962 r. za pracę wykonaną pod kierunkiem Alfreda Kastlera i Jeana Brossela, i jest związany z tą uczelnią do dziś. W latach 1964–73 był również profesorem na Uniwersytecie Paris VI, a od 1973 r. jest profesorem fizyki atomowej i cząsteczkowej w Collège de France. Jest współautorem książek: *Mechanika kwantowa, Fotony i atomy oraz Oddziaływania atomów z fotonami*. Jest członkiem francuskiej Akademii Nauk oraz wielu europejskich i amerykańskich towarzystw naukowych. W 1978 r. był pierwszym wykładowcą Europejskiego Towarzystwa Fizycznego.

Svanberg uzyskał doktorat na Politechnice Chalmersa w Göteborgu w 1972 r. W 1980 r. został profesorem fizyki ato-

mowej na Politechnice w Lundzie, gdzie jest obecnie dyrektorem Centrum Laseroowego. Jest autorem podręcznika *Spektroskopia atomowa i cząsteczkowa – podstawy i zastosowania*. Jego osiągnięcia dotyczą zarówno badań podstawowych, jak i licznych zastosowań spektroskopii laserowej. Jest członkiem szwedzkiej Królewskiej Akademii Nauk oraz Królewskiej Akademii Nauk Technicznych. Był członkiem Szwedzkiej Rady Badań Kosmicznych. Za prace z dziedziny zastosowań laserów w medycynie otrzymał doktorat honorowy Wydziału Medycyny w Lundzie. Był członkiem Rady Oddziału Elektroniki Kwantowej i Optyki oraz Europejskiej Grupy Spektroskopii Atomowej EPS.

Europhys. News 27, nr 5 (1996)

M. Ł.

Doktorat honorowy dla Adama Strzałkowskiego

Senat Uniwersytetu Śląskiego na wniosek Rady Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii przyznał profesorowi Adamowi Strzałkowskiemu (UJ) najwyższe akademickie wyróżnienie – doktorat *honoris causa*. Uroczystość nadania tej godności odbyła się 25 listopada 1996 w sali Sejmu Śląskiego w Katowicach.

Doktoranta, licznych znakomitych gości i przedstawicieli świata nauki powitał J.M. Rektor Uniwersytetu Śląskiego prof. Tadeusz Sławek, przedstawiając prof. Strzałkowskiego jako wybitnego fizyka, badacza zagadnień astrofizyki, fizyki jądrowej i medycyny, świetnego nauczyciela i wychowawcę wielu roczników fizyków. Profesor Strzałkowski pozostaje szczególnie bliski śląskiej społeczności akademickiej jako współtwórca katowickiej filii UJ, a tym samym współtwórca Uniwersytetu Śląskiego.

Adam Strzałkowski urodził się 26 listopada 1923 r. w Tenczynku. Studia fizyki ukończył na Uniwersytecie Jagielloń-

skim w 1948 r. Całe jego życie, praca naukowa i dydaktyczna są związane z Krakowem. Już w czasie studiów rozpoczął pracę w Obserwatorium Astronomicznym UJ jako asystent wybitnego astronoma Tadeusza Banachiewicza. Tam powstały jego pierwsze prace dotyczące zagadnień astrofizycznych. Od 1950 r. pracuje w Instytucie Fizyki UJ. Był jednym z najbliższych współpracowników prof. Henryka Niewodniczańskiego, a fizyka jądrowa stała się głównym nurtem jego zainteresowań. W latach 1957-59 był na stażu naukowym w Liverpoolu, gdzie prowadził badania efektów polaryzacyjnych w reakcjach jądrowych. Wyniki zawarł w pracy doktorskiej, którą obronił na UJ (1960). Następnie działał przy organizacji Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie, bierze udział w instalowaniu tam cyklotronu U-120 i przy jego użyciu wykonuje cykl prac nad sprężystym rozpraszaniem deuteronów, uzyskując ważne informacje o wektorowej i tensorowej polaryzacji deuteronów. Te prace stanowiły podstawę jego habilitacji (1963). Obszerny cykl prac poświęca rozpraszaniu sprężystemu cząstek alfa na jądrach.

Następny ważny okres działalności naukowej Strzałkowskiego to badania oddziaływań ciężkich jonów z jądrami atomowymi. W początku lat siedemdziesiątych wykonuje w Laboratorium Fizyki Jądrowej ETH w Zurychu pionierskie badania nad oddziaływaniem jonów ^9Be , ^{10}B i ^{13}C z jądrami, co doprowadziło do powstania nowego modelu syntezy niezbyt ciężkich jonów i modelu reakcji wielostopniowych. Cenne wyniki uzyskał też w badaniach mechanizmu reakcji fragmentacji i reakcji przekazu. W początku lat osiemdziesiątych rozwinął w Krakowie badania związane z zastosowaniem metod fizyki jądrowej w medycynie.

Od kilku lat zainteresowania naukowe Strzałkowskiego związane są z fundamen-



Uroczystość nadania prof. Adamowi Strzałkowskiemu doktoratu honorowego Uniwersytetu Śląskiego.

talnymi własnościami oddziaływać jądro- wych. Bardzo ambitny program tych badań dotyczący fizyki mezonowej prowadzony jest w Jülich z wykorzystaniem synchrotronu COSY. Ostatnio Strzałkowski zajmuje się także fundamentalnym problemem łamania symetrii ze względu na odwrócenie czasu. Uczestniczy w badaniach ze spolaryzowanymi mionami, prowadzonymi w Instytucie Paula Scherrera w Villigen k. Zurychu.

Profesor Strzałkowski jest autorem lub współautorem 160 oryginalnych prac naukowych, 3 książek popularnonaukowych i 2 opracowań podręcznikowych, z których *Wstęp do fizyki jądra atomowego* doczekał się już trzeciego wydania. Jego wkładem do rozwoju nauki jest również olbrzy-

mia praca organizacyjna i dydaktyczna. Wykłady, prowadzone od 1953 r., cieszą się wielkim uznaniem. Profesor Strzałkowski jest wychowawcą i nauczycielem, dla wielu niezastąpionym mistrzem o ogromnym autorytecie. Wypromował 17 doktorów w zakresie fizyki jądrowej. Był współtwórcą i wicedyrektorem Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie, pełnił funkcję prorektora Uniwersytetu Jagiellońskiego, dyrektora Instytutu Fizyki UJ, był organizatorem filii UJ w Katowicach, włożył wielki wysiłek w tworzenie obecnego kształtu Uniwersytetu Śląskiego. Pełnił odpowiedzialne funkcje w Polskim i w Europejskim Towarzystwie Fizycznym, był przewodniczącym rad naukowych Instytutu Fizyki UJ i IFJ w Krakowie, członkiem Komitetu

Fizyki PAN. Jest członkiem Polskiej Akademii Umiejętności.

Promotorem doktoratu honorowego prof. Adama Strzałkowskiego był prof. Wiktor Zipper (kierownik Zakładu Fizyki Jądrowej i jej Zastosowań IF UŚI), zaś recenzentami byli prof. Andrzej Budzanowski (IFJ, Kraków), prof. Zdzisław Wilhelmi (UW) i prof. Marek Zrałek (kierownik Zakładu Teorii Pola i Częstek Elementarnych IF UŚI).

Na zakończenie uroczystości prof. Strzałkowski wygłosił wykład „O symetriach w fizyce”.

Józef Komraus

Festschrift Trautmana

Czasopismo *Classical and Quantum Gravity* wydało numer specjalny (14, nr 1A (1997)) dla uczczenia Andrzeja Trautmana z okazji jego sześćdziesiątych czwartych urodzin. Zawiera on 25 dedykowanych Trautmanowi prac jego przyjaciół, współpracowników i uczniów.

W artykule wstępnym Roger Penrose, Ivor Robinson i Jacek Tafel przedstawiają krótko życiorys Trautmana i jego bogaty dorobek naukowy. Tłumaczą też, dlaczego właśnie 64. urodziny wybrali na jubileusz: w ostatnim dziesięcioleciu Trautman badał ośmiokrotne periodyczności spinorów i algebr Clifforda, a 64 to nic innego jak 8^2 . Nieco inną interpretację liczby 64 podaje jeden z autorów prac, Richard Kerner. Uważa on, że jest to 4^3 , co ma podkreślać związki kubiczne w różnych strukturach algebraicznych. W wielu dedykacjach podkreślono, jak wielką intuicję i dalekowzroczność przejawia Trautman w wyborze właściwych pojęć i języka dla przedstawienia w sposób ekonomiczny i elegancki nowych idei.

B. W.

Stulecie urodzin Stenza

Edward Stenz urodził się 22 stycznia 1897 r. w Warszawie. Tu uczęszczał do gimnazjum filologicznego im. Mikołaja Reja i w 1917 r. uzyskał świadectwo dojrzałości. Studia wyższe odbył w zakresie nauk matematyczno-fizycznych na Uniwersytecie Warszawskim w latach 1917–23 (z przerwą na służbę wojskową w latach 1918–21, podczas której ogłosił swoją pierwszą publikację – skrypt *Instrukcja pilotowa*). Stopień doktora filozofii uzyskał w 1926 r. na Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie na podstawie pracy „Nateżenie promieniowania słonecznego i insolacja w Warszawie” (promotorem był astronom, prof. Władysław Dziewulski). Habilitował się z geofizyki w 1949 r. na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego otrzymał w 1954 r.

Będąc studentem rozpoczyna w roku 1921 pracę jako młodszy asystent w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego. W latach 1925–39 pracuje kolejno w Państwowym Instytucie Meteorologicznym, w Wydziale Morskiego Instytutu w Nowym Porcie, kieruje Obserwatorium Morskim w Gdyni, następnie w Instytucie Geofizyki i Meteorologii Uniwersytetu we Lwowie (u prof. H. Arctowskiego), w Państwowym Instytucie Geologicznym, w I Zakładzie Fizyki Politechniki Warszawskiej i w końcu kieruje pierwszym w Polsce Meteorologicznym Obserwatorium Wysokogórskim na Kasprowym Wierchu. W 1939 r. wyjeżdża do Afganistanu, aby zorganizować służbę meteorologiczną. Wybuch wojny przedłuża pobyt do 1948 r. W tym czasie zajmuje stanowisko eksperta, a następnie dyrektora technicznego Afgańskiej Służby Meteorologicznej oraz profesora Uniwersytetu Kabuńskiego, wykładając na Wydziale

Matematyczno-Przyrodniczym fizykę, matematykę i geofizykę. Po powrocie do Polski obejmuje na Uniwersytecie Warszawskim stanowisko profesora fizyki litosfery, a następnie kierownictwo Zespołu Katedr Geofizycznych.

Działalność naukowa Edwarda Stenza obejmowała rozległe dziedziny geofizyki: od zagadnień promieniowania słonecznego, meteorologii i klimatologii, poprzez hydrologię do fizyki litosfery (m.in. badania strumienia ciepłego, magnetyzmu ziemskiego i sejsmologii). Podczas swojej 35-letniej aktywności naukowej opublikował ok. 250 prac. Wśród książek, podręczników, skryptów i artykułów ważne miejsce zajmowała działalność popularyzująca geofizykę, obejmująca ponad 100 artykułów. Wydana przed wojną jego książka *Ziemia*, bardzo interesująco napisana i świetna pod względem dydaktycznym, używana była w szkołach średnich jako pomocniczy podręcznik geografii, której kurs obejmował wówczas podstawy geologii i geofizyki.

Edward Stenz zmarł po długiej i ciężkiej chorobie 21 lutego 1956 r. w Sztokholmie.

W dniu 22 stycznia 1997 r. przypadła setna rocznica jego urodzin. Z tej okazji w Instytucie Geofizyki UW odbyło się w dniu 17 stycznia uroczyste, wspólne seminarium Zakładu Fizyki Litosfery i Zakładu Fizyki Atmosfery. W programie znalazło się pięć wystąpień dotyczących naukowej działalności i wspomnień o nim. Zostaną one opublikowane w *Przeglądzie Geofizycznym*.

Marek Grad

Setna rocznica odkrycia elektronu

Dnia 30 kwietnia 1897 r. Joseph John Thomson wygłosił w brytyjskim Instytucie Królewskim wykład streszczający wy-

niki badań nad korpuskułami naładowanymi ujemnie. Thomson prowadził pomiary przewodnictwa elektrycznego w gazach rozrzedzonych.

Prekursorami badań przewodnictwa elektrycznego w gazach rozrzedzonych byli: Heinrich Geissler (1815–1879), wybitny szklarz na Uniwersytecie w Bonn – wtopił on metalowe elektrody do rury szklanej (1857), zbudował też pompę rtęciową (1863), która pozwalała otrzymywać próżnię o ciśnieniu resztkowym gazu rzędu 10^{-6} mm Hg; Julius Plücker (1801–1868), który w Bonn obserwował widma gazów i par (1865); Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803–1877), który na międzynarodowej wystawie przemysłu w Paryżu w 1855 r. pokazał znacznie ulepszoną konstrukcję cewki indukcyjnej; Johann Wilhelm Hittorf (1824–1914), który w Monasterze mierzył przewodnictwo elektryczne gazów (1869–83); Eugen Goldstein (1850–1930), który w Berlinie wprowadził nazwę „promienie katodowe” (1876); Sir William Crookes (1832–1913), który demonstrował (1879) prostoliniowe rozchodzenie się promieni katodowych. Johnstone Stone, fizyk irlandzki, na podstawie pomiarów wysnuł wniosek, że podczas elektrolizy określony kwant elektryczności, zawsze taki sam, przechodzi przy każdym zerwaniu wiązania chemicznego. W 1892 r. zaproponował nazwę dla tego kwantu elektryczności: „elektron”. Jean Baptiste Perrin (1870–1942) w ramach swojej pracy doktorskiej w 1895 r. umieścił kolektor wewnątrz rury próżniowej i stwierdził, iż promienie katodowe składają się z ujemnie naładowanych cząstek.

Joseph John Thomson, urodzony dnia 18 grudnia 1856 r. w Cheatham, przedmieściu Manchesteru, pobierał nauki w Owens College. Studiował chemię i otrzymał tytuł inżyniera. W 1876 r. po zdaniu eg-

zaminu Tripos otrzymał stypendium i został przyjęty do Trinity College w Cambridge. Tu rozpoczął badania nad wyładowaniami elektrycznymi w gazach rozrzedzonych. W 1884 r. został kierownikiem Cavendish Laboratory.

Walter Kaufmann w Berlinie zmieniając gazy w rurze do wyładowań dowiódł w kwietniu 1897 r., że iloraz e/m ładunku i masy cząstek promieni katodowych nie zależy od rodzaju resztek gazu pozostającego w rurze. Emil Wiechert (1861–1928) na Uniwersytecie w Królewcu dnia 7 stycznia 1897 r. zreferował wyniki pomiarów ilorazu e/m dla cząstek promieni katodowych (elektronów). Odchyłał promienie katodowe w polu magnetycznym, natomiast prędkość cząstek wyznaczał z częstości oscylatora Hertza. Udało mu się oszacować dolną granicę ilorazu m/e ; stwierdził, że jego wartość wynosi około jednej dwutyśycznej odpowiedniej wartości dla jonu wodoru znanej z elektrolizy. Pomiar odchylenia promieni katodowych w rurze próżniowej prowadzone były przez wielu fizyków pod koniec XIX w.

Pomiary odchylenia w polu magnetycznym, prowadzone przez różnych badaczy, dawały zgodne wyniki. Odchylenie w polu elektrycznym początkowo przysparzało wiele kłopotów. Istotną trudność w pomiarach stanowiło otrzymanie i utrzymanie próżni w rurze szklanej. Resztki gazu, zjonizowanego przez promienie katodowe, neutralizowały pole elektryczne między okładkami, mające odchyłać promienie.

J.J. Thomson prowadził wyładowania przez szereg dni bez dopuszczania gazu do rury; usuwał pozostałości gazu ze ścian i utrzymywał próżnię na tyle dobrą, że pole elektryczne odchyślało promienie katodowe. W stałym jednorodnym polu magnetycznym cząstka o ładunku e i masie m krąży po okręgu o promieniu $a = mveH$.

Zrównoważenie siły w poprzecznym polu elektrycznym o natężeniu E z siłą Hev w polu magnetycznym następuje, gdy prędkość cząstki $v = E/H$. Pomiar promienia a kołowego toru cząstki i równoczesne wyznaczenie natężenia pola elektrycznego pozwalało znaleźć wartości v oraz ilorazu e/m .

Następnie Thomson wprowadził do puszkii Faradaya, zbierającej promienie katodowe, termoparę i mierzył energię kinetyczną cząstek $mv^2/2e$, przypadającą na jedną cząstkę o ładunku e . W ten sposób otrzymał wartość ilorazu m/e ujemnie naładowanych korpuskuł promieni katodowych i stwierdził, że jest ona rzędu jednej tysięcznej wartości znanej dla jonu wodoru.

Thomson zmieniał elektrody aluminiowe na platynowe oraz ołowiane i wykazał, że promienie katodowe nie zależą od materiału katody. Składają się z cząstek mających charakter uniwersalny; nazywał je korpuskułami. Korpuskuła niesie jednostkę ujemnej elektryczności. Swoje wyniki J.J. Thomson opublikował najpierw w formie skrótu w *Electrician* 38, 838 (1897) i w *Nature* 55, 453 (1896-97), oraz pełny tekst: „Cathode rays” w *Phil. Mag.* 44, 293, 313 (1897).

Późniejsze pomiary opadania kropli niosących ładunek elektryczny cząstek zjonizowanych w komorze Wilsona z zesyconą parą wodną zostały wykorzystane przez J.J. Thomsona do wyznaczenia wartości ładunku elektronu e . Wartość ładunku e korpuskuł, otrzymana z pomiarów opadania kropli pary wodnej w komorze, była równa wartości ładunku jonu wodoru w elektrolizie. Wobec tego fakt, iż iloraz e/m jest przeszło tysiąc razy większy niż dla atomu wodoru, spowodowany jest nie dużą wartością e , lecz małą wartością m .

Prace nad promieniami emitowanymi przez substancje radioaktywne prowadzone

były od czasu, gdy po obserwacjach H. Becquerela, M. Skłodowska-Curie i P. Curie w Paryżu, oraz chemik F. Giesel (1852–1927) wydzielili materiały o wysokiej promieniotwórczości. W ciągu paru lat pomiary prowadzone przez J. Geitela w Wolfenbüttel oraz przez S. Mayera i E. von Schweidlera w Wiedniu doprowadziły do identyfikacji promieniowania beta z promieniowaniem katodowym.

J.J. Thomson opublikował monografię *Conduction of Electricity Through Gases* (1913), o której Lord Rayleigh pisał: „Książka Thomsona jest wielkim wydarzeniem w dziejach laboratorium w Cambridge”. Monografię *Notes on Recent Researches in Electricity and Magnetism* Rayleigh określał jako „trzeci tom Maxwella”, odnosząc się do dwutomowej monografii Maxwella *Electricity and Magnetism*. J.J. Thomson wyprowadził tam m.in. wzór na pęd cząstki naładowanej w zależności od jej prędkości. Przy wyższych energiach kinetycznych elektronu Thomson stwierdził różną od liniowej zależność pędu od prędkości (wielomian w potęgach v/c) i doszedł do wniosku, że przy zbliżaniu się prędkości cząstki do prędkości światła pęd cząstki wzrasta do nieskończoności, wobec tego prędkość cząstki nie może przekroczyć prędkości światła. Ponadto Thomson doszedł do wniosku, że masa spoczywającej korpuskuły o promieniu a jest równa $2e^2/3a$. Później ocenił, że promień korpuskuły a jest rzędu 10^{-13} cm. Swoje badania J.J. Thomson opisał w autobiograficznej książce *Recollections and Reflections* (1936).

Przekrój czynny na nierelatywistyczne rozpraszanie elektronu przez fotony wyraża się przy niskiej ich energii wzorem Thomsona. Zrozumienie podstawowych własności elektronu przyniosło relatywistyczne równanie Diraca (1928). Enrico Fermi i P.A.M. Dirac znaleźli odpowiadającą

zasadzie wykluczania Pauliego statystykę „fermionów”. Wymagana przez równanie Diraca antycząstka – pozyton – została odkryta przez C.D. Andersona (1932), który wkrótce odkrył wraz z S.H. Neddermayerem „mezotron” (1937), nazwany potem mionem. M.L. Perl ze współpracownikami odkrył w anihilacji par pozyton-elektron lepton tau (1975). Unifikację oddziaływań elektromagnetycznych i słabych, dających rozpad beta, przyniósł model standardowy Glashowa, Weinberga i Salama. Elektron, mion i tau, razem ze swymi neutrinami, stanowią rodzinę leptonów. Elektron wyróżnia się wśród leptonów swą najmniejszą masą i nieograniczonym czasem życia. Współczesne wartości parametrów elektronu, dopasowane metodą najmniejszych kwadratów, podane są w *Rev. Mod. Phys.* 59, 1121 (1987). Wartości parametrów pozostałych leptonów podaje się co dwa lata w przeglądzie własności cząstek (patrz *Phys. Rev. D* 54, 1 (1996)).

Syn J.J. Thomsona, George Paget Thomson (1892–1975), kontynuował badania swego ojca. Wraz z A. Reidem badał dyfrakcję fal elektronowych w foliach metalicznych oraz koloidalnych. Wyniki opublikował wspólnie z Williamem Cochranem w monografii *Theory and Practice of Electron Diffraction* (1939).

J.J. Thomson otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki w 1906 r., a G.P. Thomson wraz z Clintonem Davissonem otrzymali taką nagrodę w 1937 r.

Maciej Suffczyński

Filantrop roku

Rosyjskie Stowarzyszenie Popierania Nauki i Wykształcenia wybrało Borysa Bierezowskiego „filantropem roku 1996” w uznaniu pomocy, jakiej udzielił nauce rosyjskiej.

Borys Bierezowski jest zastępcą sekretarza Rady Bezpieczeństwa Rosji, był odpowiedzialny za negocjacje z Czeczenią, ostatnio odznaczył się pomysłem uzbrojenia Kozaków. Jest też człowiekiem interesu i uważany jest za najbogatszego człowieka w Rosji. W ubiegłym roku ofiarował równowartość 1.3 mln USD na fundusz konferencyjny, co pozwoliło 1530 rosyjskim naukowcom wziąć udział w konferencjach naukowych organizowanych za granicą.

Nature 385, nr 6611 (1997)

B. W.

Thomas S. Kuhn (1922 – 1996)

Dnia 17 czerwca 1996 r. zmarł na raka znany historyk i filozof nauki Thomas S. Kuhn. Studiował on fizykę na Uniwersytecie Harvarda, gdzie uzyskał doktorat w 1949 r. Po kilku latach zajmowania się fizyką i matematyką poświęcił się historii, a następnie filozofii nauki. Wykładał historię nauki na Uniwersytecie Harvarda, Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley i Uniwersytecie w Princeton. W 1979 r. został profesorem filozofii MIT w Cambridge (Massachusetts), gdzie pozostał aż do emerytury w 1991 r.

Napisał wiele artykułów i cztery książki, z których największą sławę zdobyła *Struktura rewolucji naukowych*, wydana w 1962 r. przez Chicago University Press. Monografia ta miała wiele wydań i tłumaczeń; tłumaczenie polskie Heleny Ostromięckiej ukazało się w 1968 r. nakładem PWN. Dowodził w niej, że rozwój nauki nie ma charakteru procesu ciągłego, w którym teorie są stopniowo ulepszone pod wpływem wyników doświadczeń. Tak dzieje się tylko do wyczerpania możliwości opisu nowych faktów doświadczalnych przez dotychczasową teorię. Prowadzi to do

poszukiwania nowych metod opisu zjawisk i zbudowania nowej teorii, co ma charakter „rewolucji naukowej”, gdyż polega na odrzuceniu podstaw teorii dotychczasowej. Kuhn wprowadził pojęcie paradygmatu – zbioru pojęć i założeń właściwych dla określonej teorii. Rewolucja naukowa polega na odrzuceniu jednego paradygmatu i zastąpieniu go innym.

Kuhn twierdził, że paradygmaty nie mogą być ze sobą porównywane, gdyż korzystają z różnych zbiorów pojęć i związków między nimi. Nie można więc według niego np. mówić, że mechanika klasyczna jest zawarta w mechanice relatywistycznej jako przypadek graniczny. Według Kuhna są to zupełnie inne teorie, wychodzące z różnych założeń i korzystające z różnych pojęć. Mechanika relatywistyczna jest „lepiej” w tym sensie, że opisuje bogatszy zbiór faktów doświadczalnych, lecz jej przyjęcie oznacza odrzucenie mechaniki klasycznej.

W późniejszych pracach Kuhn starał się ulepszyć i uściślić swój model rozwoju nauki oraz poprzeć go kolejnymi studiami z historii fizyki (m.in. w monografii *Teoria ciała doskonale czarnego i nieciągłość kwantowa, 1894–1912*, Oxford University Press 1978), jednak żadna z nich nie była już tak „rewolucyjna” jak *Struktura rewolucji naukowych*. Pozostaje ona dziełem jego życia i choć nie wszyscy historycy i filozofowie nauki zgadzają się z postawionymi w niej tezami, to niewątpliwie wywarła ona olbrzymi wpływ na rozwój filozofii nauki w obecnym stuleciu. Dla każdego, kto ją czytał (choćby przymusowo przed egzaminem z filozofii), była źródłem wielkiej satysfakcji i inspiracją do głębokich przemyśleń.

Phys. Today 49, nr 12 (1996)

M. Ł.

KALENDARZ IMPREZ

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

1997

24 – 25 kwietnia 1997, Łódź

Promieniowanie – historia i współczesność

Politechnika Łódzka i Fundacja Badań Radiacyjnych; dr Stanisław Galant, FBR, Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź, tel.: (42) 313197 lub (42) 313172, fax: (42) 360246.

Z: 5.4.97, O: 155 zł (wraz z noclegiem).

10 – 17 maja 1997, Zakopane

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

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

Z: 30.4.97, P, U: 100, O: 600 zł, ang.

11 – 18 maja 1997, Łądek Zdrój

13. Międzynarodowa Szkoła Biofizyki Transportu Membranowego

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

12 – 16 maja 1997, Jurata

13th FASE Symposium on Hydroacoustics and Ultrasonics

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

O: 200 USD, ang.

12 – 16 maja 1997, Kazimierz Dolny

Int. Conf. on Ophthalmometry and Optometry

Polska Sekcja SPIE i Inst. Optyki Stosowanej; mgr Mariusz Szyjer, IOS, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa, tel.: (22) 184497, fax: (22) 133265, adr.el.: iosto@atos.warman.com.pl.

Z: 15.3.97, P, ang.

22 – 24 maja 1997, Kazimierz Dolny

XII Szkoła Optoelektroniki: fotowoltaika – ogniwa słoneczne i detektory podczerwieni

Inst. Fizyki PW i Inst. Fizyki Technicznej WAT; prof. Rajmund Bacewicz, IF PW, Chodkiewicza 8, 02-525 Warszawa, tel.: (22) 6608227 lub 499831, fax: (22) 6282171, adr.el.: fotowolt@if.pw.edu.pl.

Z: 15.4.97, P.

25 – 28 maja 1997, Warszawa

4th European Conf. on Engineering and Medicine

European Society for Engineering and Medicine, Inst. Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, Międzynarodowe Centrum Biocybernetyki; prof. Maciej Nałęcz, IBiIB PAN, Księcia Trojdena 4, 02-109 Warszawa, tel.: (22) 6597200, fax: (22) 6597030, adr.el.: esem97@ibib.waw.pl
P, ang.

2 – 5 czerwca 1997, Lublin

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

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

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

5 – 7 czerwca 1997, Wrocław

Int. Conf. on Scanning Probe Microscopy as a Microsystem

Inst. Technologii Elektronowej PWR i Oddział Wrocławski PAN; dr Teodor Gotszalk, ITE PWR, Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław, tel.: (71) 3203202, fax: (71) 213504, adr.el.: spm@ite.pwr.wroc.pl lub tgot@ite.pwr.wroc.pl.

P, ang.

7 – 8 czerwca 1997, Ustroń-Jaszowiec

Przedszkole Fizyki Półprzewodników

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

9 – 13 czerwca 1997, Ustroń-Jaszowiec

XXVI Int. School on Physics of Semiconducting Compounds

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

U: 250.

8 – 12 czerwca 1997, Puszczykowo k. Poznania

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

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

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

10 – 12 czerwca 1997, Jarnołtówek-Opole

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

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

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

17 – 24 czerwca 1997, Jaszowiec

Int. Conf. Quantum Optics IV

Inst. Fizyki PAN i Centrum Fizyki Teoretycznej PAN; dr hab. Leszek Sirko, IF PAN, al. Lotników 32, 02-668 Warszawa, tel.: (22) 437001 w. 3385, fax: (22) 430926, adr.el.: qo4@ifpan.edu.pl.
O: 400 USD, P, ang.

15 – 18 lipca 1997, Poznań

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

Inst. Fizyki PP i Uniw. w Hamburgu, patronat PTF; dr Ryszard Czajka, IF PP, Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: (61) 782749 lub 782326, fax: (61) 782324, adr.el.: sps97@pozna1v.put.poznan.pl.
Z: 1.12.96, A: 1.12.96, P, O: 220 USD, ang.

3 – 8 sierpnia 1997, Warszawa

XVIII Int. Conf. on Photochemistry

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

6 – 12 września 1997, Szklarska Poręba

2nd Int. Conf. on Cryocrystals and Quantum Crystals

Inst. Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, Inst. Chemii Fizycznej i Teoretycznej PWr; dr A. Jeżowski, INTiBS PAN, skr. poczt. 937, 50-950 Wrocław 2, tel.: (71) 35021 lub 443206, fax: (71) 441029, adr.el.: an.je@highscreen.int.pan.wroc.pl.
U: 120.

15 – 18 września 1997, Katowice

XXXIV Zjazd Fizyków Polskich

Oddział Katowicki PTF, Inst. Fizyki UŚI, Inst. Fizyki i Chemii Metali UŚI, Inst. Fizyki PŚI, Zakł. Fizyki Ciała Stałego PAN w Zabrze; prof. Jerzy Warczewski, IF UŚI, Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice, tel./fax: (32) 588431, adr.el.: zfp@us.edu.pl.

Z: 31.5.97, O: 130 zł, dla członków PTF 100 zł, nauczyciele szkół podstawowych i średnich, studenci, uczniowie 50 zł (opłata obejmuje wyżywienie).

15 – 18 września 1997, Warszawa

2nd Int. Colloquium on Micro-tribology

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

19 – 23 września 1997, Polanica-Zdrój

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

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

O: 500 USD, ang.

21 – 24 września 1997, Warszawa

11th European Conf. on Solid-State Transducers (Euroensors XI)

Politechnika Warszawaska; prof. Zbigniew Bróska, Wydział Chemii PW, Noakowskiego 3, 00-665 Warszawa, adr.el.: eurosens@ch.pw.edu.pl.

ang.

21 – 24 października 1997, Warszawa

Int. Conf. on Photoconversion: Science and Technologies

Sekcja Polska SPIE i Inst. Optyki Stosowanej; mgr Mariusz Szyjer, IOS, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa, tel.: (22) 184497, fax: (22) 133265, adr.el.: iosto@atos.warman.com.pl.
P, ang.

1998

23 – 27 lipca 1998, Toruń

The Jabłoński Centennial Conference on Luminescence and Photophysics

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

NOWE KSIĄŻKI

- Carl Sagan, *Kosmos*, z jęz. angielskiego tłum. Maria Duch, Bronisław Rudak; Wyd. Zysk i S-ka, Poznań 1997, s. 311, cena 20.50 zł.
- Andrzej Szwedowski, *Materiałoznawstwo optyczne i optoelektroniczne*, WNT, Warszawa 1996, s. 222, cena 15.00 zł.
- Włodzimierz Kusch, *Wszechświat w koncepcjach astrofizyki*, nakładem autora, Warszawa 1996, s. 221, cena 24.40 zł.
- *Trzecia kultura*, red. John Brockman, z jęz. angielskiego tłum. Piotr Amsterdamski, Justyna i Marek Jannaszowie, Marcin Ryszkiewicz, Michał Tempczyk, Witold Turo-polski; Wyd. CIS, Warszawa 1996, s. 534, cena 42.00 zł.
- David L. Goodstein, Judith R. Goodstein, *Zaginiony wykład Feynmana*, z jęz. angielskiego tłum. Ewa Łokas, Bogumił Bieniok; Wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, s. 159, cena 18.50 zł.
- H.-O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe, *Granice chaosu. Fraktale, część I*, wyd. II poprawione, z jęz. angielskiego tłum. K. Pietruska-Pałuba, K. Winkowska-Nowak; PWN, Warszawa 1997, s. 543 + dyskietka.

K O N K U R S

na dewizę i emblemat Polskiego Towarzystwa Fizycznego

Zarząd Główny PTF ogłasza konkurs otwarty na dewizę i emblemat Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Przedmiotem konkursu jest projekt znaku graficznego, który obrazowałby cele, zadania i idee Towarzystwa, oraz hasło-dewiza spełniająca te same zadania, sformułowana w języku łacińskim. Treści zawarte w tych składnikach powinny być takie, żeby mogły być zaakceptowane przez każdego fizyka bez względu na jego specjalność.

Taki znak i dewiza będą następnie stanowiły elementy pieczęci okrągłej PTF i odznaki, którą będą mogli nosić członkowie PTF.

Ramowy wzór pieczęci i odznaki, częściowo już wypełniony obligatoryjnymi tekstami dotyczącymi PTF, przedstawiamy poniżej.



Zgłoszenia do konkursu należy nadsyłać do Zarządu Głównego PTF do końca czerwca 1997 r. w trzech kopertach. Zgłaszany emblemat i dewizę należy umieścić w osobnych kopertach z godłem. W trzeciej kopercie z godłem należy umieścić dane osobowe zgłaszającego. Nie ogranicza się liczby projektów zgłaszanych przez jedną osobę. Można przystąpić do konkursu z projektem tylko samej dewizy lub samego emblematu.

Konkurs zostanie rozstrzygnięty przez komisję konkursową powołaną przez Zarząd Główny, który chciałby jego wyniki przedstawić podczas XXXIV Zjazdu Fizyków Polskich w Katowicach we wrześniu 1997 r.

Informacje dla autorów

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

- 1) Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Bardziej szczegółowe wskazówki co do ich charakteru przedstawione są w *Postęпах Fizyki* **24**, 701 (1973); **33**, 299 (1982). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.
- 2) Maszynopisy pracy (**oryginał i jedną pełną – z rysunkami, tabelami itd. – kopię**) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres (również komputerowy) do dalszej korespondencji.
- 3) Maszynopis winien być napisany **na arkuszach formatu A4 jednostronnie, z podwójną interlinią** (nie więcej niż 30 wierszy na stronie) i marginesem 3.5 cm z lewej strony.
- 4) Rysunki należy wykonać starannie na oddzielnych arkuszach w rozmiarze 2 do 4 razy większym niż mają być w druku. Napisy, ograniczone do minimum, winny być czytelne i tylko w języku polskim. Na odwrocie rysunku należy podać jego numer, nazwisko autora i pierwsze wyrazy tytułu pracy. Podpisy do rysunków, tabele (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.
- 5) Układ strony tytułowej (tytuł polski, angielski, streszczenie angielskie, ...), tekstu, odnośników literaturowych itd. powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły np. w tym numerze).
- 6) *Postępy Fizyki* są składane komputerowo. Aby skrócić cykl wydawniczy prosimy autorów przygotowujących swe artykuły na komputerach o nadsyłanie, **wraz z maszynopisami**, tekstów artykułów pocztą elektroniczną (nasz adres: postepy@fuw.edu.pl) lub na dyskietkach, najlepiej w TeX-u, w formacie MeX. Redakcja gwarantuje zwrot dyskietek natychmiast po skopiowaniu zapisów.
- 7) Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej.
- 8) Autor otrzymuje bezpłatnie 25 egz. odbitek pracy.
- 9) Maszynopisów prac nie zamówionych i nie zakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.

SPIS TREŚCI

S. Kryszewski – Sonoluminescencja: piekło w bąbelku	103
T. Ruf, M. Cardona, H.D. Fuchs – O masach i sprężynach: fizyka półprzewodników o czystym składzie izotopowym	121
RÓŻNE	
D. Shugar – Katedra Biofizyki UW a rozwój biologii molekularnej	139
M. Apostol – O stanie fizyki	145
WSPOMNIENIA – ROCZNICE	
J.A. Janik – Aspekty filozoficzne w twórczości naukowej Włodzimierza Kołosa	151
T. Dietl – Nevill Francis Mott (1905 – 1996)	159
NOWOŚCI NAUKOWE	
T. Suski – Azotki: nowa klasa półprzewodników dla optoelektroniki w zakresie światła niebieskiego	165
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	171
RECENZJE	177
KRONIKA	185

CONTENTS

S. Kryszewski – Sonoluminescence: an inferno in a bubble	103
T. Ruf, M. Cardona, H.D. Fuchs – On masses and springs: physics of isotopically pure semiconductors	121
MISCELLANEA	
D. Shugar – Biophysics Department of the University of Warsaw and development of molecular biology	139
M. Apostol – The state of physics	145
RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES	
J.A. Janik – Philosophical aspects of scientific activity of Włodzimierz Kołos	151
T. Dietl – Nevill Francis Mott (1905 – 1996)	159
SCIENTIFIC NEWS	
T. Suski – Nitrides: new semiconductor family for blue-light devices	165
MEETINGS AND CONFERENCES	171
REVIEWS	177
CHRONICLE	185