
PTF

DWUMIESIĘCZNIK
POŚWIĘCONY
UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY
FIZYCZNEJ

POSTĘPY FIZYKI

TOM 29
ZESZYT 5
1978

ZARZĄD

Prezes

Prof. dr ZDZISŁAW WILHELMI

Wiceprezesa

Prof. dr ANDRZEJ HRYNKIEWICZ

Prof. dr BOHDAN KARCEWSKI

Sekretarz Generalny

Doc. dr PIOTR DECOWSKI

Skarbnik

Doc. dr ADAM KUJAWSKI

Członkowie Zarządu

Prof. dr AUGUST CHEŁKOWSKI

Prof. dr JERZY CZERWONKO

Prof. dr JAN STANKOWSKI

Prof. dr JANUSZ ZAKRZEWSKI

oraz redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI — „Postępy Fizyki”

Prof. dr WIESŁAW CZYŻ — „Acta Physica Polonica”

Doc. dr TOMASZ HOFMOKL — „Delta”

Prof. dr ROMAN INGARDEN — „Reports on Mathematical Physics”

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW TOWARZYSTWA

Prof. dr hab. EUDOKIA OSTASZEWICZ (*Białystok*)

Doc. dr MIKOŁAJ ROZWADOWSKI (*Bydgoszcz*)

Doc. dr STEFAN SZYMURA (*Częstochowa*)

Doc. dr BRONISŁAW JACHYM (*Gdańsk*)

Dr ANDRZEJ SYCZ (*Głiwice*)

Dr JÓZEF KUŹMIŃSKI (*Katowice*)

Doc. dr hab. WITOLD PRECHT (*Koszalin*)

Doc. dr KAROL KROP (*Kraków*)

Prof. dr hab. STANISŁAW SZPIKOWSKI (*Lublin*)

Doc. dr JERZY JATCZAK (*Łódź*)

Prof. dr hab. APOLONIA WRZESIŃSKA (*Opole*)

Doc. dr hab. JERZY PIETRZAK (*Poznań*)

Doc. dr hab. ALEKSANDER SZYMAŃSKI (*Rzeszów*)

Doc. dr TADEUSZ REWAJ (*Szczecin*)

Doc. dr hab. STANISŁAW ŁĘGOWSKI (*Toruń*)

Prof. dr MACIEJ SUFFCZYŃSKI (*Warszawa*)

Prof. dr hab. KAZIMIERZ WOJCIECHOWSKI (*Wrocław*)

ADRES ZARZĄDU

00-681 WARSZAWA, ul. Hoża 99

P O L S K I E T O W A R Z Y S T W O F I Z Y C Z N E

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ

TOM 29, ZESZYT 5

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE
1978

RADA REDAKCYJNA

Przewodniczący — Szczepan Szczeniowski, czł. rzecz. PAN,
Członkowie — Władysław Kapuściński, Ludwik Natanson,
Leonard Sosnowski, czł. rzecz. PAN, Przemysław Zieliński

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny — Adam Sobiczewski
Członkowie Redakcji — Barbara Wojtowicz, Marek Szczekowski

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

Korespondenci Oddziałów PTF

mgr *Irena Lasocka* (Białystok)
doc. dr hab. *Witold Waclawek* (Częstochowa)
dr *Stanisław Zachara* (Gdańsk)
doc. dr hab. *Józef Szpilecki* (Gliwice)
dr *Janusz Frąckowiak* (Katowice)
dr *Anna Kapuściak* (Kraków)
mgr *Józef Pomorski* (Lublin)
doc. dr hab. *Leszek Wojtczak* (Łódź)
doc. dr *Mieczysław Piróg* (Opole)
doc. dr hab. *Andrzej Graja* (Poznań)
mgr *Alina Lakner-Malowicz* (Szczecin)
dr *Hanna Męczynska* (Toruń)
doc. dr hab. *Aniela Wolska* (Warszawa)
dr *Bernard Jancewicz* (Wrocław)

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

Nakład 2897 + 103 egz. Ark. wyd. 6,75. Ark. druk. 5¹²/₁₆ + 2 wkl. Papier druk. sat. kl. IV. 70 × 110, 65 g. Oddano do składania w czerwcu 1978. Podpisano do druku w październiku 1978. Druk ukończono w październiku 1978.
Zam. 533/78. E-9. Cena zł 15.—

Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, Manifestu Lipcowego 13

Andrzej Hrynkiewicz

Instytut Fizyki Jądrowej
Kraków

Rola fizyki we współczesnym świecie *

Role of Physics in the Contemporary World

Abstract: Role of physics in the contemporary world is discussed. Relations between: physics and other natural sciences, physics and technology, physics and society are considered.

Panowie Prezesi, Panie i Panowie,

Gdybym nie wierzył głęboko w szczególną rolę fizyki we współczesnym świecie, nie podjąłbym się wygłoszenia dzisiejszego referatu. Chciałbym w nim Państwu pokazać, że moje przekonanie o szczególnej roli fizyki oparte jest jednak na obiektywnych przesłankach. Mam zamiar poruszyć trzy zagadnienia, które nazwałbym skrótowo: fizyka i inne nauki przyrodnicze, fizyka i technika oraz fizyka i społeczeństwo. Temat jest oczywiście bardzo obszerny i będę musiał ograniczyć się jedynie do rzucenia szeregu myśli, z których tylko nieznaczne uda mi się trochę rozwinąć lub zilustrować.

Fizyka i inne nauki przyrodnicze

Fizyka jest najbardziej podstawową nauką przyrodniczą, zajmującą się najgłębiej pojętymi badaniami struktury i dynamiki materii, oraz form jej oddziaływania. Fizyk sprowadza do elementarnych procesów ogromną złożoność zjawisk występujących w przyrodzie, poszukuje ich wytłumaczenia i formułuje ogólne, uniwersalne prawa rządzące otaczającym nas światem. Dlatego też fizyka stanowi fundament rozwoju innych nauk przyrodniczych, co znalazło wyraz chociażby w takich nazwach jak chemia fizyczna, biofizyka, astrofizyka lub geofizyka.

* Referat wygłoszony na Sesji Zgromadzenia Ogólnego Oddziału PAN w Krakowie w dniu 27 stycznia 1978 r.

Ale również wszystkie inne dyscypliny przyrodnicze korzystają coraz powszechniej z fizycznych metod badawczych i ze skonstruowanych przez fizyków urządzeń pomiarowych, które stają się coraz bardziej czułe i dokładne. Czułość przyrządów fizycznych wynika na przykład stąd, że zastosowanie metody detekcji promieniowania jądrowego pozwala śledzić poszczególne atomy w badanej próbce. Dokładność pomiarów względnych zmian pewnych wielkości fizycznych osiąga dziś wartość 10^{-15} , co odpowiadałoby pomiarom zmian odległości Ziemia—Słońce z dokładnością ułamka milimetra.

Zastosowanie często bardzo wyrafinowanych metod fizycznych lub skomplikowanych przyrządów, w innych niż fizyka dziedzinach, wymaga bezpośredniego udziału fizyków. Bez udziału fizyka trudno jest przedstawicielowi innej dyscypliny naukowej wybrać najbardziej właściwą metodę fizyczną, zainstalować odpowiedni przyrząd pomiarowy i zinterpretować otrzymane wyniki.

Pośród bardzo licznych zastosowań metod fizycznych w medycynie chciałbym przytoczyć trzy przykłady. Pierwszym z nich jest zastosowanie urządzenia SQUID (Superconductivity Quantum Interference Device) do magnetokardiografii i magnetoencefalografii. SQUID oparty jest na zjawisku Josephsona, dotyczącym przepływu superprądu przez złącza dwóch nadprzewodników rozdzielonych warstwą izolującą. Pozwala on na pomiary zmian pola magnetycznego rzędu 10^{-9} Gs, podczas gdy amplituda zmian pola w pobliżu pracującego serca wynosi 5×10^{-7} Gs.

Drugi przykład dotyczy zastosowania metody magnetycznego rezonansu jądrowego do otrzymania szczególnego typu „obrazów” żywej tkanki¹, przedstawiających np. rozkład gęstości wodoru o różnym stopniu związania. Przyпуска się, że w niedalekiej przyszłości można będzie tą metodą otrzymywać „obrazy” gęstości spinowej i rozkłady czasów relaksacji, co w świetle faktu, że czas relaksacji spinowej protonów w komórkach nowotworowych jest znacznie dłuższy niż w komórkach normalnych, może dostarczyć niezastąpionej metody wykrywania i wczesnej lokalizacji zmian nowotworowych.

Trzecim wreszcie przykładem jest terapia nowotworów przy pomocy wiązek cząstek naładowanych: protonów i mezonów π z wielkich akceleratorów fizyki jądrowej. W odróżnieniu od promieni γ lub promieni X, które niszczą nie tylko położony wewnątrz organizmu nowotwór, ale także zdrową tkankę znajdującą się przed nim i za nim, cząstki naładowane wysokiej energii działają silnie niszcząco tylko w małym obszarze, przy końcu zasięgu. Stosując cząstki różnego rodzaju i zmieniając ich energię, można tak dobrać warunki naświetlenia, aby spowodować zniszczenie samego nowotworu bez dużego uszkodzenia sąsiednich tkanek.

Z przytoczonych przykładów widać, że wprowadzenie nowych metod fizycznych do innych dyscyplin wymaga na ogół obsługiwania bardzo złożonej aparatury i głębokiej znajomości fizyki, toteż proces „ufizyczniania” nauk przy-

¹ Por. artykuł M. Suffczyńskiego, *Postępy Fizyki* 29, 245 (1978) (Przyp. Red.).

rodniczych predestynuje fizyka do spełniania roli łącznika interdyscyplinarnego.

Podobnie jak inne nauki, fizyka przeżywała różne okresy w historii swego rozwoju. Oparła się szczęśliwie ingerencji ideologii. Próby dyskredytacji teorii względności i kwestionowania podstaw mechaniki kwantowej nie zahamowały jej rozwoju. Inaczej stało się niestety w biologii, gdzie dyskusje ideologiczne sparaliżowały na wiele lat rozwój genetyki i biologii molekularnej. W historii fizyki były okresy niewiary w dalszy rozwój. Max Planck opowiadał, że w czasie gdy był młodym adeptem fizyki, starszy kolega współczuł mu, że wybrał tak nieciekawą dziedzinę pracy. W fizyce, mówił, wszystko co ważne i ciekawe zostało już odkryte, a twoja rola sprowadzi się do odkurzania przyrządów zbudowanych poprzednio, przez innych. Jak wiadomo, sam Planck stał się na przełomie XIX i XX stulecia twórcą nowego rozdziału fizyki, a w pierwszej połowie XX wieku fizyka przeżyła wspaniały, niespotykany dotychczas rozkwit. Zostały dokonane nowe wielkie syntezy. Teoria względności połączyła pojęcie masy i energii oraz czasu, przestrzeni i grawitacji, a mechanika kwantowa stanowiła piękną syntezę falowego i korpuskularnego obrazu materii. Nowe, zaskakujące informacje o materii przyniosły kontynuowane po dzień dzisiejszy badania jąder atomowych i struktury cząstek elementarnych. Mimo tych olbrzymich sukcesów współczesnej fizyki, nasuwa się paradoksalna, na pierwszy rzut oka, analogia między obecną wiedzą o przyrodzie a jej stanem w starożytności. W czasach Arystotelesa za podstawowe składniki otaczającego świata uważano 4 elementy: ziemię, wodę, powietrze i ogień. Nie wiadziło jednak na czym one polegają i jakie między nimi istnieją związki. Obecnie całą złożoność świata tłumaczymy przy pomocy czterech oddziaływań: silnego, słabego, elektromagnetycznego i grawitacyjnego i znów nie wiemy jaka jest ich natura i czy można je jakoś powiązać ze sobą. Projekt nowego wielkiego akceleratora w ZSRR o kołowym torze cząstek długości około 20 km, jak również realizowany już projekt akceleratora ISABELLE w USA, opracowywane są z myślą o odkryciu tak zwanego pośredniego bozonu i sprowadzeniu do wspólnego mianownika oddziaływania słabego i elektromagnetycznego. Nowe wielkie akceleratory pozwolą prawdopodobnie odpowiedzieć również na pytanie, czy partony lub kwarki są najmniejszymi cegiełkami materii i czy możemy je otrzymać w stanie niezwiązany. Większość fizyków jest zdania, że natrafimy na „dno” w zgłębianiu tajników struktury materii, tj. że istnieje kres podzielności cząstek, które jeszcze niedawno uważaliśmy za elementarne, a które okazały się złożone z bardziej fundamentalnych składników.

Warunkiem powodzenia tak olbrzymich przedsięwzięć naukowych jest szeroka współpraca międzynarodowa i oczywiście związana z tym jawność wyników badań. Wszystkie nowe wyniki badań podstawowych w dziedzinie fizyki są publikowane w czasopismach o światowym zasięgu, przekazywane drogą korespondencyjną, a często komunikowane w rozmowach telefonicznych natychmiast po ich otrzymaniu. Nikt nie mógłby sobie pozwolić na dublowanie kosztownych eksperymentów. Przy wielkich urządzeniach badawczych

pracują wielonarodowe ekipy uczonych. Powstają międzynarodowe instytuty naukowe takie jak CERN w Genewie lub ZIBJ w Dubnej. Rośnie liczba konferencji międzynarodowych, które stanowią forum spotkań uczonych z różnych krajów, pozwalają na szybką wymianę informacji i przedyskutowanie wyników badań w gronie specjalistów. Międzynarodowa współpraca w dziedzinie badań podstawowych odgrywa wielką rolę w wytworzeniu atmosfery wzajemnego zrozumienia i poszanowania. Uczeni przyczyniają się do odprężenia w stosunkach międzynarodowych i torują drogę innym kontaktom.

Fizyka i technika

Do XIX wieku wynalazki techniczne wyprzedzały na ogół badania naukowe. Pierwsze wielkie wynalazki ludzkości jak koło lub dźwignia, konstrukcje wiatraków, okrętów i różnych urządzeń mechanicznych nie były oparte na wynikach badań. To była technika „przednaukowa”. Nawet maszyny cieplne powstały przed termodynamiką i dopiero chęć wytłumaczenia ich działania stała się bodźcem rozważań, które doprowadziły do sformułowania zasad termodynamiki. Jednakże dziś, nikt przy zdrowych zmysłach nie będzie budować turbiny, statku lub samolotu bez oparcia o szczegółowe teoretyczne badania z zakresu termodynamiki, hydrodynamiki czy aerodynamiki.

Od czasu gdy fizyka zajęła się badaniem mikroświata, gdy przestała być nauką opartą na intuicyjnym rozumowaniu, gdy modele makroskopowe zaczęły zawodzić, cały rozwój techniki jest uwarunkowany rozwojem nauki. U źródeł wszystkich wynalazków są badania i odkrycia naukowe. Zacytuję kilka przykładów z artykułu H. B. G. Casimira, prezesa Europejskiego Towarzystwa Fizycznego:

- energia jądrowa jest wynikiem prac badawczych Skłodowskiej-Curie, Rutherforda, Fermiego i wielu innych,
- przemysł elektroniczny wywodzi się z odkrycia elektronu przez Thomsona i Lorentza,
- fale elektromagnetyczne odkrył Hertz w oparciu o równania Maxwella,
- tranzystory wzięły początek z kwantowej teorii ciał stałych,
- lasery są rezultatem badań Basowa, Prochorowa i Townesa nad wymuszoną emisją promieniowania, której teorię opracował Einstein.

Takie przykłady można mnożyć, ale ich wspólną cechą jest fakt, że wielkie przewroty w technice wywodzą się z badań podstawowych, a nie zostały dokonane na zamówienie ministrów, biznesmenów i menedżerów przemysłu, którym chodziło o nowe źródła energii, o nowe technologie przemysłowe czy nowe środki transportu i komunikacji. Badacz naukowy nie zdaje sobie przeważnie sprawy, jakie znaczenie praktyczne będzie miało dokonane przez niego odkrycie. Powszechnie znane jest opowiadanie o Michale Faradayu, którego laboratorium, wkrótce po odkryciu zjawiska indukcji elektromagnetycznej, zwiedzał jeden z członków Rządu Zjednoczonego Królestwa. Na pytanie, jakie praktyczne znaczenie ma dokonane przez niego odkrycie, Faraday od-

powiedział: „nie wiem, ale jestem przekonany, że Pana następcy będą za to ściągali podatki”.

Oprócz bezpośredniego wykorzystania odkryć naukowych, technika korzysta z opracowanych przez fizyków metod i zbudowanych przez nich urządzeń pomiarowych. Fizycy w toku pracy badawczej natrafiają na problemy techniczne, które dotychczas nie zostały rozwiązane i wobec tego rozwiązują je sami. Właśnie fizycy, dążąc do uzyskania nowych wyników naukowych, niejako „po drodze” rozwiązywali szereg problemów technicznych z zakresu otrzymywania superczystych materiałów, techniki wysokich napięć, techniki wysokiej próżni, techniki niskich temperatur, elektroniki, kontroli i automatyzacji. Warto też przypomnieć, że cała komputeryzacja wywodzi się z elektroniki fizyki jądrowej. I właśnie te, jak gdyby „uboczne produkty” badań podstawowych, mogą i powinny być w możliwie krótkim czasie wykorzystane przez gospodarkę narodową.

Bezpośrednie, szybkie zastosowanie praktyczne odkryć fizyki jest możliwe tylko w krajach, w których różnica poziomu badań naukowych i poziomu technologii jest mała. Tak się dzieje w Japonii lub Stanach Zjednoczonych. Doskonałym przykładem jest istniejąca od 1880 r. firma Bell Telephone Company, odpowiedzialna za cały niemal rozwój telekomunikacji w Stanach Zjednoczonych. W jej laboratoriach naukowo-badawczych pracuje ponad 2000 uczonych ze stopniem doktora. Tam została odkryta natura falowa elektronów, tranzystory i pęcherzyki magnetyczne, tam rozpoczęto budowę laserów i wielkich magnesów nadprzewodzących, tam też powstała radioastronomia i telekomunikacja optyczna. Pracownicy Laboratoriów Bella otrzymali kilka nagród Nobla w dziedzinie fizyki i olbrzymią liczbę medali i odznaczeń za działalność naukową. I tam właśnie wszystkie odkrycia zostają na miejscu i niemal natychmiast stosowane w praktyce.

W Polsce odstęp między fizycznymi badaniami podstawowymi, które w kilku ośrodkach w kraju są na wysokim światowym poziomie, a na ogół przestarzałymi technologiami jest bardzo duży. W tej sytuacji wyniki badań polskich fizyków wzbogacają światowy zasób wiedzy, z którego mogą czerpać wszyscy, ale nie znajdują bezpośredniego zastosowania praktycznego w kraju. Stawianie z tego powodu zarzutu uczonym jest niesłuszne. Natomiast całkiem możliwe i bardzo cenne jest wykorzystywanie praktyczne tego, co nazwałem „produktem ubocznym” badań podstawowych, to znaczy metod i urządzeń pomiarowych oraz nowych rozwiązań technicznych. Moim zdaniem, bardzo pożyteczne byłoby stworzenie w Polsce instytucji doradztwa naukowego. Gdyby wybitny fizyk eksperymentator, zajmujący się na co dzień badaniami podstawowymi, spędzał w zakładzie przemysłowym tylko jeden dzień w miesiącu i zaznajamiał się na miejscu z występującymi tam problemami technicznymi, to jestem przekonany, że mógłby zaproponować wiele ważnych i interesujących rozwiązań praktycznych.

Na specjalną uwagę zasługuje rola fizyki w świecie stojącym przed widmem kryzysu energetycznego. Wyczerpanie konwencjonalnych paliw ko-

palnych, które wydobywamy obecnie milion razy szybciej niż powstawały, jest nieuniknione. Można się jedynie spierać, czy nastąpi to za 20 czy za 200 lat. W każdym razie okresu, w którym energetyka jądrowa będzie jedynym sposobem zażegnania katastrofy, nie da się uniknąć. Toteż konieczny jest rozwój nowych typów reaktorów energetycznych: powielających i wysokotemperaturowych. W reaktorach powielających, z wielkich zasobów nierozszczepialnego ^{238}U i ^{232}Th będzie produkowane paliwo jądrowe w postaci ^{239}Pu i ^{233}U , a reaktory wysokotemperaturowe będą źródłem energii cieplnej szczególnie cennej dla wielu ważnych procesów technologicznych. Z myślą o dalszej perspektywie zaspokajania głodu energetycznego muszą być kontynuowane prace nad wykorzystaniem syntezy termojądrowej. Należy również prowadzić dalsze badania nad efektywnym i opłacalnym wykorzystaniem innych źródeł energii, jak energia słoneczna i geotermiczna czy też energia wiatru, prądów morskich lub przyływów morza. We wszystkich tych zadaniach fizycy mogą i powinni odegrać rolę wiodącą.

Ale kryzys energetyczny zmusza nas nie tylko do poszukiwania nowych źródeł energii, lecz także do wynajdywania dróg jej oszczędzania. Chodzi tu o opracowanie mniej energochłonnych technologii, o podnoszenie wydajności konwersji i transportu energii oraz o ograniczenie strat przez stosowanie odpowiednich materiałów izolacyjnych, zmian architektury budynków, wykorzystanie energii traconej przy hamowaniu i t.d. Stanowi to dla fizyków olbrzymie pole działania. A także, wymaga wprowadzenia pewnych zmian w sposobie kształcenia fizyków. W programie studiów muszą być bardziej opanowane takie działy jak termodynamika, hydro- i aerodynamika czy nauka o tarcu, które są obecnie traktowane trochę po macoszemu, a które wobec zadań stojących przed fizykami nabierają szczególnie dużego znaczenia.

Fizyka i społeczeństwo

Każda nauka ma wartości kulturotwórcze. Jednak badania podstawowe w dziedzinie fizyki, wywołane naturalnym dążeniem człowieka do zaspokojenia ciekawości jak jest skonstruowany otaczający nas świat i jakie prawa nim rządzą, mają szczególne znaczenie światopoglądowe. Wielkie odkrycia, a przede wszystkim wielkie syntezy w fizyce wywarły potężny wpływ na rozwój filozofii.

Badania podstawowe są jedną z postaci działalności intelektualnej człowieka i jako takie nie wymagają uzasadnienia praktycznymi względami. Można powiedzieć, że znaczenie praktyczne badań fizycznych jest dodatkowym argumentem stymulującym uczonych do ich podejmowania i prowadzenia.

Stale rosnąca rola nauki we wszystkich niemal dziedzinach życia wywołuje w społeczeństwie reakcję w postaci głosów krytyki pod adresem uczonych i ich badań. Pojawiają się głosy kwestionujące konieczność tak szybkiego rozwoju nauki i pytania, czy uzasadnione są ponoszone na naukę nakłady finansowe. Rzeczywiście, tempo rozwoju nauki jest obecnie bardzo wysokie. Jeżeli

palnych, które wydobywamy obecnie milion razy szybciej niż powstawały, jest nieuniknione. Można się jedynie spierać, czy nastąpi to za 20 czy za 200 lat. W każdym razie okresu, w którym energetyka jądrowa będzie jedynym sposobem zażegnania katastrofy, nie da się uniknąć. Toteż konieczny jest rozwój nowych typów reaktorów energetycznych: powielających i wysokotemperaturowych. W reaktorach powielających, z wielkich zasobów nierozszczepialnego ^{238}U i ^{232}Th będzie produkowane paliwo jądrowe w postaci ^{239}Pu i ^{233}U , a reaktory wysokotemperaturowe będą źródłem energii cieplnej szczególnie cennej dla wielu ważnych procesów technologicznych. Z myślą o dalszej perspektywie zaspokajania głodu energetycznego muszą być kontynuowane prace nad wykorzystaniem syntezy termojądrowej. Należy również prowadzić dalsze badania nad efektywnym i opłacalnym wykorzystaniem innych źródeł energii, jak energia słoneczna i geotermiczna czy też energia wiatru, prądów morskich lub przyptyków morza. We wszystkich tych zadaniach fizycy mogą i powinni odegrać rolę wiodącą.

Ale kryzys energetyczny zmusza nas nie tylko do poszukiwania nowych źródeł energii, lecz także do wynajdywania dróg jej oszczędzania. Chodzi tu o opracowanie mniej energochłonnych technologii, o podnoszenie wydajności konwersji i transportu energii oraz o ograniczenie strat przez stosowanie odpowiednich materiałów izolacyjnych, zmian architektury budynków, wykorzystanie energii traconej przy hamowaniu itd. Stanowi to dla fizyków olbrzymie pole działania. A także, wymaga wprowadzenia pewnych zmian w sposobie kształcenia fizyków. W programie studiów muszą być bardziej opanowane takie działy jak termodynamika, hydro- i aerodynamika czy nauka o tarcu, które są obecnie traktowane trochę po macoszemu, a które wobec zadań stojących przed fizykami nabierają szczególnie dużego znaczenia.

Fizyka i społeczeństwo

Każda nauka ma wartości kulturotwórcze. Jednak badania podstawowe w dziedzinie fizyki, wywołane naturalnym dążeniem człowieka do zaspokojenia ciekawości jak jest skonstruowany otaczający nas świat i jakie prawa nim rządzą, mają szczególne znaczenie światopoglądowe. Wielkie odkrycia, a przede wszystkim wielkie syntezy w fizyce wywarły potężny wpływ na rozwój filozofii.

Badania podstawowe są jedną z postaci działalności intelektualnej człowieka i jako takie nie wymagają uzasadnienia praktycznymi względami. Można powiedzieć, że znaczenie praktyczne badań fizycznych jest dodatkowym argumentem stymulującym uczonych do ich podejmowania i prowadzenia.

Stale rosnąca rola nauki we wszystkich niemal dziedzinach życia wywołuje w społeczeństwie reakcję w postaci głosów krytyki pod adresem uczonych i ich badań. Pojawiają się głosy kwestionujące konieczność tak szybkiego rozwoju nauki i pytania, czy uzasadnione są ponoszone na naukę nakłady finansowe. Rzeczywiście, tempo rozwoju nauki jest obecnie bardzo wysokie. Jeżeli

miarą tego rozwoju jest wzrost liczby pracowników naukowych, publikowanych prac i wydawanych czasopism, to podwojenie produkcji naukowej następuje w ciągu 10—11 lat. Takie tempo rozwoju nie może się utrzymać, gdyż porównanie go ze wzrostem zaludnienia, które podwaja się mniej więcej co 30 lat, prowadziłoby do absurdalnego wniosku, że za kilkadziesiąt lat każdy mieszkaniec kuli ziemskiej będzie pracownikiem naukowym. Musi więc nastąpić nasycenie, którego oznaki już obecnie obserwujemy, i osiągnięcie stanu, w którym rozwój nauki będzie się odbywać w tempie wzrostu dochodu narodowego, a nakłady na naukę będą stanowiły procent tego dochodu. Często słyszy się zdanie, że fizyka jest szczególnie kosztowna. Rzeczywiście wymaga chyba większych nakładów niż inne nauki, chociaż koszt budowy i wyposażenia nowoczesnego centrum radioastronomii, a nawet ośrodka badań biologicznych jest porównywalny z kosztem wielkich akceleratorów fizyki. Badania podstawowe, pozornie bardzo drogie, nie wydają się takimi, jeżeli ponoszone na nie wydatki porównamy z budżetem wielkich mocarstw, a w szczególności z częścią tego budżetu przeznaczoną na zbrojenia. Oszacowano, że koszt wszystkich badań podstawowych z fizyki od Archimedesesa po dzień dzisiejszy nie przekroczył 40 mld obecnych dolarów, co stanowi mniej więcej wartość dwutygodniowej produkcji Stanów Zjednoczonych lub wysokość ponoszonych tam w ciągu kilku miesięcy wydatków na zbrojenia.

Ponieważ jednak na badania naukowe, a w szczególności na fizykę przeznaczone są zauważalne fundusze, fizycy nie mogą unikać dialogu ze społeczeństwem. Niezwykle ważną rzeczą jest mądra popularyzacja wyników badań naukowych. Musimy robić stały wysiłek, żeby przekonać społeczeństwo o tym, że nauka służy ludzkości, że niesłuszne są głosy jakoby właśnie nauka była przyczyną wszelkiego zła. Wzrost zaludnienia, wywołane przez człowieka zmiany środowiska naturalnego, wyczerpywanie się surowców, powodują, że nie ma odwrotu z drogi, na której znalazła się ludzkość i tylko nauka może usunąć lub złagodzić konsekwencje obranej drogi i zmniejszyć cenę jaką płacimy za postęp. Warto w tym miejscu zacytować słowa Profesora V. Weisskopfa, byłego dyrektora CERN-u, z jego książki *Fizyka dwudziestego wieku*: „Nauka nie może się rozwijać, jeżeli nie jest uprawiana z myślą o czystej wiedzy i o zgłębianiu tajników przyrody, ale nie może przeżyć, jeżeli jej wyniki nie będą mądrze i intensywnie wykorzystywane dla dobra ludzkości”.

Bezsprzeczne sukcesy fizyki XX wieku wytworzyły w fizykach rodzaj kompleksu wyższości. Fizycy muszą się wyzbyć pewnej dozy zarozumiałości i poddać kontroli społecznej. Niezbędna dla rozwoju nauki wolność myśli i pełna swoboda dyskusji nie oznaczają swobody w przeprowadzaniu dowolnych eksperymentów. Wiemy, że odkrycia naukowe mogą stanowić zagrożenie. Powszechnie znanymi przykładami są energia jądrowa i inżynieria genetyczna. Dziś jednak ryzyko ukryte w wynikach naukowych jest dobrze uświadamiane, ewentualne źródła zagrożenia są szczegółowo badane i środki zaradcze są wprowadzane zawczasu.

Emocje związane z nieuniknionym, według mnie, przechodzeniem na ener-

getykę jądrową, są w znacznym stopniu wywołane kompleksem Hiroshimy. Oczywiście reaktory energetyczne, mimo kilkustopniowych systemów awaryjnych, a także składowanie odpadów promieniotwórczych stanowią pewne ryzyko, ale jestem przekonany na podstawie bardzo szczegółowych raportów opracowanych w różnych krajach, że niebezpieczeństwo z tym związane jest bez porównania mniejsze od tego, jakie się kryje w wielu innych stworzonych przez ludzi źródłach zagrożenia. Katastrofy lotnicze, zerwanie tam, awarie w kopalniach i w wielkich zakładach chemicznych są znacznie poważniejszymi niebezpieczeństwami czyhającymi na człowieka, a zatrucie i zapylenie środowiska związane z konwencjonalną energetyką i przemysłem przynoszą nieobliczalne szkody zdrowiu ludzkiemu i zabytkom kultury. Nie mówię o skutkach, niezależnych od człowieka naturalnych kataklizmów, takich jak trzęsienia ziemi, powodzie lub cyklony. Nauka dostarczyła nowych broni: chemicznej, jądrowej i biologicznej. Niedopuszczenie do ich użycia — zachowanie pokoju jest bez wątpienia najważniejszym zadaniem ludzkości. Nie możemy zepsuć tego unikalnego eksperymentu przyrody jakim jest życie.

Na zakończenie mojego wystąpienia chciałbym powiedzieć, że w czasie, kiedy naczelnym hasłem jest gospodarność i poprawa wydajności pracy, jedyną drogą mądrego wykorzystania potencjału polskich uczonych jest stworzenie wokół nauki właściwego klimatu moralnego i zapewnienie spokojnej, twórczej atmosfery pracy.

Andrzej Turows

Instytut Badań Jądrowych
Warszawa

Zastosowania akceleratorów w pozajądrowych badaniach fizycznych

Applications of Ion Accelerators in Physical Research Outside Nuclear Physics

Abstract: Present state of ion accelerators applications in the physical research outside nuclear physics is reviewed. The main fields of this kind of research are atomic collisions, ion implantation and microanalysis of surfaces of solids.

Modern trends in the development of new uses of ion accelerators are also outlined.

1. Wstęp

Akceleratory cząstek naładowanych kojarzą się zazwyczaj z fizyką jądra atomowego, a zwłaszcza z potężnymi urządzeniami stosowanymi do badań w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych. Tymczasem większość z istniejących akceleratorów to niewielkie urządzenia pozwalające na przyspieszanie cząstek w zakresie energii 0,05—3 MeV. Domena ich zastosowań leży już od kilku lat poza fizyką jądrową. Złożyło się na to kilka przyczyn. Niewątpliwie jedną z najważniejszych było poważne wyczerpanie się z końcem lat sześćdziesiątych programu badań podstawowych w dziedzinie fizyki jądrowej niskich energii, który był do tej pory realizowany przy pomocy takich urządzeń. Wiele ośrodków stanęło wówczas przed alternatywą likwidacji nie bardzo już potrzebnych akceleratorów albo znalezienia nowej problematyki badawczej, która wykorzystując akceleratory, aparaturę towarzyszącą i techniki pomiarowe fizyki jądrowej leżałaby w zupełnie innej dziedzinie. Właśnie ta druga możliwość wyszła niejako naprzeciw poszukiwaniom nowych metod badawczych, pozwalających na rozszerzenie zakresu badań podstawowych (spektroskopia atomowa, fizyka zderzeń atomowych, fizyka ciała stałego) lub stanowiących podstawę dla nowych metod analizy tak potrzebnych dynamicznie rozwijającym się nowoczesnym gałęziom technologii (technologia półprzewod-

ników, metalurgia cienkich warstw i in.). Warto zwrócić uwagę, że w tym właśnie czasie sytuacja w dziedzinie technik pomiarowych uległa radykalnej poprawie. Nastąpiło to z chwilą pojawienia się, mniej więcej przed piętnastu laty, półprzewodnikowych detektorów promieniowania jonizującego i rozwoju elektronicznych metod przetwarzania ich sygnałów. Te właśnie czynniki w połączeniu z wielokanałowymi analizatorami amplitudy impulsów, a ostatnio także minikomputerami pracującymi „on line” pozwoliły na daleko idące uproszczenie, przyspieszenie i obniżenie kosztów eksperymentów prowadzonych przy użyciu akceleratorów. Należy również pamiętać, że w tym samym czasie ma miejsce gwałtowny wzrost mocy obliczeniowej coraz to nowszych generacji komputerów umożliwiające realizację niezwykle skomplikowanych obliczeń teoretycznych, których rezultaty stymulują z kolei nowe badania eksperymentalne.

Mariaż technik par excellence jądrowych z pozajądrową problematyką badawczą spowodował ukształtowanie się zupełnie nowego typu badacza. Kim bowiem jest eksperymentator wykorzystujący reakcje jądrowe do badania procesów fizykochemicznych w cienkich warstwach metalicznych? Fizykiem jądrowym, analitykiem, metalurgiem? Musi być po kolei specjalistą w każdej z tych dziedzin. Tak więc niezmiernie charakterystycznym skutkiem poszerzenia kręgu użytkowników akceleratorów jest daleko posunięta interdyscyplinarność prowadzonych badań. Przejawia się ona zarówno w aspektach ściśle naukowych (przykładowo badania zniszczeń radiacyjnych w ciałach stałych wymagają znajomości procesów przekazu energii, którą uzyskuje się w wyniku badania procesów zderzeń atomowych), jak i technicznych (wykorzystanie techniki akceleracji, technologii bardzo wysokiej próżni, metod optycznych, jądrowych itp.).

Z punktu widzenia fizyki wykorzystywanych zjawisk mamy zawsze do czynienia z różnymi aspektami oddziaływania cząstka naładowana—materia. W zależności od problemu badawczego zmieniają się jedynie rodzaje i energie bombardujących cząstek, charakter ośrodka, z którym następuje oddziaływanie i metody detekcji produktów oddziaływania. Tak więc badania podstawowe dotyczące fizyki procesów oddziaływania cząstka—materia leżą u podstaw wszelkich prac wykorzystujących akceleratory jako narzędzia badawcze. Mamy tu do czynienia ze swoistym sprzężeniem zwrotnym: z jednej strony badania wykorzystujące akceleratory stymulują rozwój badań nad procesami oddziaływania cząstka—materia, z drugiej zaś lepsze poznanie tych zagadnień otwiera nowe możliwości zastosowań, które z kolei wymagają dalszego pogłębiania uzyskanej wiedzy.

Reasumując podkreślimy, że dziedziny nauki, które będą omówione szczegółowo w dalszej części tego artykułu, będąc nierozłącznie związane z wykorzystaniem akceleratorów, posiadają szereg wspólnych cech:

— należą one do podstawowych kierunków współczesnej fizyki, a w nieco mniejszym stopniu także i do innych nauk takich jak: chemia, geologia, biologia a nawet archeologia,

- posiadają charakter interdyscyplinarny i wyróżniają się szczególnymi związkami z fizyką jądrową,
- stanowią podstawę rozległych prac aplikacyjnych,
- narodziły się i rozwijają niezwykle dynamicznie w ostatnim dziesięcioleciu.

Przegląd zastosowań ograniczymy jedynie do zagadnień związanych z wykorzystaniem akceleratorów przyspieszających ciężkie cząstki naładowane (poczynając od jonów wodoru aż do uranu) w dość arbitralnie ustalonym przedziale energii 1 keV/nukleon do 10 MeV/nukleon. W tym przedziale energetycznym można znaleźć przytłaczającą większość najciekawszych prac, aczkolwiek znane są przypadki zastosowań w zakresie niższych i bardzo wysokich energii. Szczególnie ten ostatni wydaje się niezwykle obiecujący, jednakże ze względu na unikalny charakter urządzeń i wysoki koszt ich eksploatacji są one w tej chwili niemal wyłącznie używane dla potrzeb fizyki jądrowej i cząstek elementarnych. Ze względu na ograniczoność miejsca i kompetencje autora pominięto zagadnienia związane z wykorzystaniem akceleratorów elektronów oraz akceleratorów pracujących jako generatory neutronów.

2. Oddziaływania atomowe

Oddziaływanie padającego jonu z pojedynczym atomem bombardowanego ośrodka stanowi elementarny akt oddziaływania cząstka—materia. Poznanie praw rządzących tymi zjawiskami jest więc niezbędne dla zrozumienia całości problemu.

Klasyczna spektroskopia atomowa, której domeną jest badanie struktury poziomów elektronowych izolowanych atomów, była do niedawna dziedziną w dużym stopniu skostniałą, bazującą na metodach opracowanych w latach 20. i 30. bieżącego stulecia. Dopiero pojawienie się nowych urządzeń, takich jak lasery lub zwrócenie uwagi na możliwość wykorzystania akceleratorów spowodowało prawdziwy renesans badań w tej dziedzinie.

Mniej więcej około r. 1965 powstała nowa technika znana pod nazwą „beam-foil spectroscopy”. Polega ona na wytwarzaniu stanów wzbudzonych w strumieniu przyspieszonych jonów, a następnie na rejestracji ich ewolucji. Akcelerator jest więc tutaj podstawową częścią źródła spektroskopowego nowego typu. Należy podkreślić, że unikalną cechą takich eksperymentów jest możliwość badania poziomów elektronowych atomów wielokrotnie zjonizowanych.

W tym samym okresie nastąpił szybki rozwój fizyki zderzeń ciężkich cząstek zachodzących przy niskich energiach, tj. znacznie poniżej bariery kulombowskiej jąder atomowych. Tutaj również akceleratory są nieodzownym narzędziem badawczym, a zapożyczone z techniki jądrowej metody koincydencyjne umożliwiają precyzyjne pomiary różniczkowych przekrojów czynnych niezbędnych dla weryfikacji różnych modeli teoretycznych.

Oddziaływanie strumienia cząstek z ośrodkiem skondensowanym (najczęściej jest to ciało stałe) powoduje występowanie kaskady zderzeń, których skutki

nie mogą być na ogół przewidywane jedynie na podstawie znajomości charakterystyk zderzeń izolowanych atomów (zderzenia binarne). Istotną rolę odgrywają tu bowiem zjawiska kolektywne wiążące się ze strukturą bombardowanego ośrodka. Warto zwrócić uwagę, że w przypadku ośrodków skondensowanych szczególnie znaczenie posiadają zmiany ich własności fizycznych i chemicznych, zachodzące pod wpływem napromieniowania.

2.1. Poziomy energetyczne izolowanych atomów

Pokażną część najnowszych osiągnięć eksperymentalnych w dziedzinie fizyki atomowej można przypisać wykorzystaniu akceleratorów niskich energii. Ten zespół metod zwany „spektroskopia strumienia jonów” polega na wytwarzaniu stanów wzbudzonych w strumieniu przyśpieszanych jonów. Ewolucje tych stanów zachodzących w warunkach próżniowych można rejestrować przy pomocy detekcji emitowanych elektronów lub kwantów promieniowania rentgenowskiego. Wzbudzanie strumienia jonów następuje najczęściej na drodze jego oddziaływania z tarczą gazową (beam-gas) lub cienką folią (beam-foil).

W wyniku procesów zderzeniowych padający jon może utracić lub wychwycić jeden lub kilka elektronów. Powstający w ten sposób rozkład krótności jonizacji zależy przede wszystkim od prędkości jonów. Tak więc przez odpowiedni dobór energii padających jonów można otrzymać wszystkie stany ładunkowe, poczynając od atomu obojętnego, a skończywszy na atomie wodoropodobnym (jądro atomowe i jeden elektron). Zastosowanie tarczy gazowej lub folii prowadzi do wzbudzeń nieselektywnych: wielkość energii przekazywanej w procesie zderzeń nieelastycznych jest wystarczająca do wzbudzenia dowolnych poziomów energetycznych jonu.

Tak więc tablice linii widmowych, jeszcze bardzo niekompletne z uwagi na brak danych dla dużej liczby atomów różnych pierwiastków w stanie ładunkowym powyżej $3+$, mogą być w ten sposób uzupełniane w wyniku serii stosunkowo prostych eksperymentów. Otrzymane dane są bardzo użyteczne dla interpretacji widm gorącej plazmy, co ma szczególnie ważne znaczenie dla astrofizyki.

Specyficzny charakter oddziaływania strumienia jonów z ciałem stałym — wzbudzanie metodą „beam-foil” — uprzywilejowuje obsadzanie stanów, ogólnie rzecz biorąc, niewystępujących w klasycznych źródłach spektroskopowych. Dotyczy to przede wszystkim poziomów wysokowzbudzonych odpowiadających bardzo dużym wartościom liczb kwantowych n i l , jak również poziomów powstałych w wyniku jednoczesnego wzbudzenia dwóch lub więcej elektronów.

Poziomy odpowiadające wysokim wzbudzeniom pojedynczego elektronu nazywane są poziomami „wodoropodobnymi” lub rydbergowskimi w tym sensie, że orbita elektronu kształtowana jest pod wpływem potencjału posiadającego symetrię bardzo bliską sferycznej. Ze względu na duże rozmiary wspom-

nianej orbity, co bardzo silnie zwiększa prawdopodobieństwo deekscytacji, stany tego rodzaju mogą występować w sposób trwały jedynie w ośrodkach o niewielkiej gęstości takich, jak na przykład ośrodek międzygwiazdny lub niektóre mgławice.

Wykrycie poziomów podwójnie wzbudzonych, obserwowanych w źródłach typu „beam-foil”, wywołało ponowne zainteresowanie analizą teoretyczną tego typu konfiguracji. Warto dodać, że dokonane niedawno z pokładu raket kosmicznych obserwacje widma promieniowania słonecznego pozwoliły na stwierdzenie występowania tego typu poziomów w koronie słonecznej.

Technika „beam-foil” pozwala również na stosunkowo proste pomiary radiacyjnych czasów życia, które w połączeniu z pomiarami intensywności pozwalają na wyznaczanie prawdopodobieństw przejść i sił oscylatorów. Znajomość tych wielkości jest bardzo ważna z punktu widzenia ich zastosowań w astrofizyce (wyznaczanie zawartości różnych pierwiastków), fizyce plazmy (diagnostyka gorącej plazmy) i fizyce laserów.

Uzyskane dotychczas rezultaty pozwoliły na lepszą interpretację widm promieniowania słonecznego i doprowadziły do poważnych korekt wyznaczonych wcześniej zawartości takich pierwiastków jak żelazo, tytan i magnez.

Dalsze perspektywy zastosowań akceleratorów w fizyce atomowej wiążą się z zastosowaniem metod spektroskopii dużej zdolności rozdzielczej do badania struktury subtelnej i nadsubtelnej jonów wieloładunkowych, jak również z wykorzystaniem techniki laserowej do wytwarzania stanów wzbudzonych w strumieniu jonów.

W odróżnieniu od metody „beam-foil” ta ostatnia pozwala na selektywne wzbudzenie wybranych poziomów.

2.2. Mechanizm zderzeń atomowych

Akceleratory są niejako „naturalnymi” urządzeniami służącymi do badania zderzeń atomowych, tj. procesów dynamicznych zachodzących w chwili mniej lub bardziej gwałtownego przenikania się chmur elektronowych zbliżających się atomów. W przeciwieństwie do fizyki jądrowej oddziaływanie elementarne jest tutaj doskonale znane. Jest to oddziaływanie kulombowskie i jedynie liczba jednocześnie oddziaływających cząstek wyznacza granice analizy teoretycznej. Stąd też wielkie znaczenie komputerów o dużej mocy obliczeniowej dla rozwoju teorii zderzeń atomowych.

Przełomowym momentem w technice pomiarowej było wprowadzenie detektorów półprzewodnikowych (Si(Li), a ostatnio wykonanych z germanu o bardzo wysokiej czystości) pozwalających na niedyspersyjną analizę, z dużą wydajnością i wysoką zdolnością rozdzielczą, promieniowania rentgenowskiego o energii powyżej 1 keV.

Analiza procesu zderzenia w funkcji energii padających jonów prowadzi do dwóch różnych modeli opartych na odmiennych mechanizmach tego zderzenia.

W zakresie dużych energii, gdy prędkość cząstki przewyższa prędkości orbitalne elektronów atomowych, zderzenie ma charakter oddziaływania binarnego pomiędzy cząstką a elektronem. Przy znacznie mniejszych prędkościach zderzenia mają mniej gwałtowny charakter. Ekranowanie jądra przez chmurę elektronową jest na tyle skuteczne, że oddziaływanie pomiędzy elektronami atomowymi odgrywa dominującą rolę. Jeśli prędkości elektronów przewyższają znacznie prędkości zderzających się atomów, można przyjąć, że następuje adiabatyczne odkształcanie orbit elektronowych, a obie cząstki tworzą quasi-molekułę.

Pierwszy ze wspomnianych modeli odgrywa szczególnie ważną rolę w dziedzinie wzbudzeń niskoleżących poziomów atomowych i teorii strat energii szybkich cząstek naładowanych. Natomiast analiza zderzeń atomowych w zakresie niskich energii pozwala na badanie struktury poziomów atomowych, wydajności fluorescencji itp. Do najciekawszych odkryć w obszarze stosowności modelu molekularnego należy zaliczyć prążki satelitarne w widmie rentgenowskim, odpowiadające różnym stanom ładunkowym emitującego jonu oraz niecharakterystyczne promieniowanie rentgenowskie emitowane w czasie trwania zderzenia dwóch atomów, a więc będące promieniowaniem quasi-molekuły. To ostatnie zjawisko stwarza niezwykle ciekawą możliwość symulacji struktury elektronowej pierwiastka superciężkiego o $Z = 132$. Eksperyment taki został już pomyślnie zrealizowany na drodze zderzeń jonów jodu z tarczą wykonaną ze złota.

2.3. Oddziaływanie z ośrodkiem skondensowanym

Z punktu widzenia oddziaływania cząstka naładowana—materia przejście od układu izolowanych atomów do ośrodka skondensowanego powoduje pojawienie się szeregu nowych problemów, takich jak:

- wzrost znaczenia zderzeń wielokrotnych spowodowany dużą gęstością atomów tarczy,
- preferencyjne wzbudzanie poziomów energetycznych powstających w wyniku oddziaływania z elektronami znajdującymi się na zewnętrznych powłokach,
- wysokie prawdopodobieństwo oddziaływania pomiędzy atomami znajdującymi się w stanach wzbudzonych, będące wynikiem niewielkich odległości pomiędzy kolejnymi wzbudzeniami powstałymi wzdłuż drogi cząstki.

Bombardowanie ciała stałego przy pomocy jonów lub atomów neutralnych o energiach kilku kiloelektronowoltów powoduje wybijanie poszczególnych atomów lub grup atomowych, jonów monoatomowych lub wieloatomowych o ładunku zarówno dodatnim, jak i ujemnym, a także jonów wieloładunkowych. Zjawiskom tym towarzyszy zawsze emisja elektronów i fotonów.

Zwyczajowo klasyfikuje się omawiane zjawiska w sposób następujący: rozpylanie materiału tarczy (sputtering), emisja wtórna jonów, fotonów, elektronów i w końcu rozpraszanie wstecz padających jonów. Jest oczywiste, że

różne aspekty zachodzących zjawisk są ze sobą ściśle związane. Tym niemniej dla ułatwienia prezentacji zachowamy dokonany podział.

Należy podkreślić, że wszystkie te zjawiska są w chwili obecnej szeroko wykorzystywane w różnorodnych technikach mikroanalitycznych, takich jak: spektroskopia jonów emisji wtórnej, spektroskopia elektronów Augera z wykorzystaniem erozji jonowej, mikroskopia jonowa i sondy jonowe, urządzenia analityczne oparte na elastycznym rozpraszaniu wstecz, detektory jonów niskich energii itp. Każdy krok naprzód w kierunku lepszego poznania podstawowych praw, rządzących wymienionymi wyżej zjawiskami, przyczynia się bezpośrednio do udoskonalenia tych technik. Jest to jedna z przyczyn stałego zainteresowania badaniami podstawowymi w dziedzinie oddziaływania jonów niskich energii.

Obecny stan naszej wiedzy na temat reakcji ośrodka skondensowanego na bombardowanie szybkimi, tj. o energii powyżej 100 keV/nukleon, cząstkami naładowanymi jest nieporównanie niższy od znajomości skutków oddziaływania ośrodka na penetrującą cząstkę. Wynika to z faktu, że informacje na temat zachowania się napromieniowanego ośrodka są na ogół bardzo pośrednie i trudne do dokładnej analizy. Do chwili obecnej zasadnicze kierunki badań zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w wyniku przechodzenia cząstek naładowanych przez ośrodek skondensowany koncentrowały się wokół efektów mniej lub bardziej trwałych lub możliwych do bezpośredniej obserwacji. Należy jednak pamiętać, że tego rodzaju zjawiska są jedynie ostatecznym rezultatem, na który składa się cały skomplikowany zespół przejściowych procesów elementarnych wywołanych pierwotnymi zderzeniami cząstek z materią. Poznanie tych właśnie zjawisk elementarnych jest ostatecznym celem prowadzonych badań.

Ponieważ poszczególne procesy tego typu przebiegają bardzo często zbyt szybko, aby można było śledzić je przy pomocy aktualnie istniejącej aparatury eksperymentalnej, zarówno ich natura, jak i wzajemne zależności są ciągle jeszcze w bardzo małym stopniu poznane.

Informacje eksperymentalne w omawianej dziedzinie uzyskuje się przede wszystkim na drodze szczegółowej analizy wpływu właściwości ośrodka (widmo wzbudzeń...) i padających cząstek (prędkość, stan ładunkowy,...) na wielkości charakterystyczne (wydajność, kinetyka...) różnych procesów fizycznych i chemicznych, które są przedmiotem prowadzonych obserwacji. Należy podkreślić, że spośród zachodzących zjawisk szczególnie interesujące wydają się te, które mogą być źródłem sygnałów fizycznych, charakteryzujących ośrodek, takich jak: emisja fotonów, tworzenie nośników ładunku itp., a które z kolei mogą być wykorzystywane do detekcji różnego rodzaju promieniowania.

Jak już wspomniano wyżej, zagadnienia związane z wpływem ośrodka na padającą cząstkę są znacznie lepiej poznane, co niewątpliwie wiąże się z prostszą techniką pomiarową.

Szybki jon przechodzący przez ciało stałe oddziałuje z elektronami ato-

nowymi, atomami ośrodka traktowanymi jako całość, a w pewnych przypadkach także i z jądrami atomowymi. W wyniku tych oddziaływań następuje spowalnianie cząstki, zakrzywienie jej trajektorii na skutek rozpraszania wielokrotnego, a czasami także zmiana jej stanu ładunkowego i wzbudzenia atomowego. W ciele stałym o strukturze bezpostaciowej badania teoretyczne sprowadzają się do analizy kolejnych zderzeń jon-atom, które są całkowicie niezależne jedne od drugich. Tego rodzaju podejście zaniedbuje całkowicie efekty oddziaływania pomiędzy atomami ośrodka. Jednym z przejawów takiego oddziaływania są odmienne struktury elektronowe atomów ciała stałego i ośrodków gazowych, jak się powszechnie sądzi, są odpowiedzialne za różnice w zjawiskach zachodzących podczas przechodzenia przez te ośrodki ciężkich cząstek naładowanych. Prace w tej dziedzinie nie wykroczyły jednak poza fazę wstępną.

Odrębnym zagadnieniem są zagadnienia związane z przechodzeniem przez ośrodki o strukturze krystalicznej. Skorelowane akty rozpraszania na atomach uszeregowanych w łańcuchy lub płaszczyzny krystalograficzne mogą nadać trajektorii cząstki charakter quasi-oscyłacyjny. Tego rodzaju zjawisko kierunkowe noszące nazwę kanałowania zmienia całkowicie prawa przechodzenia jonów przez monokrystaliczne ciała stałe. W ciałach stałych o strukturze polikrystalicznej obserwuje się statystyczną superpozycję efektów pochodzących od poszczególnych ziaren.

3. Modyfikacje własności ciał stałych wywołane bombardowaniem jonowym

Działanie promieniowania jonizującego może zmieniać w istotny sposób własności ciał stałych. Zjawisko to znane jest już od początku XX stulecia, jednakże dopiero z chwilą uruchomienia pierwszego reaktora jądrowego rozpoczął się szybki rozwój tej dyscypliny naukowej. Mimo iż badania nad skutkami napromieniowania są bardzo bliskie problemom technologicznym, posiadają one również niebagatelne znaczenie w dziedzinie badań podstawowych. Zachodzące pod wpływem napromieniowania zmiany własności mogą być spowodowane zakłóceniami struktury krystalicznej, będącymi wynikiem zderzeń padających cząstek z atomami tarczy bądź reakcjami jądrowymi, lub wreszcie obu tymi czynnikami jednocześnie. Zjawiska te najwygodniej jest analizować z punktu widzenia powstawania defektów sieci krystalicznej. Wymieńmy je zgodnie z uszeregowaniem według stopnia złożoności: defekty punktowe (luki, atomy międzywęzłowe, atomy domieszek), liniowe (dyslokacje), dwuwymiarowe (błędy ułożenia z lub bez segregacji domieszek, granice ziaren), trójwymiarowe (pory, pęcherzyki gazu, wtrącenia...). Powstawanie tego rodzaju defektów sieci można również wywołać w ciele stałym na drodze podwyższania temperatury lub przez deformację plastyczną. Badania własności plastycznych i termodynamicznych defektów punktowych zostały zainicjowane w latach trzydziestych, a więc w tym samym czasie, kiedy narodził się pogląd o ścisłych związkach deformacji plastycznej kryształów z obecnością dyslo-

kacji. Od tego czasu stało się oczywiste, że defekty sieci krystalicznej wpływają w decydujący sposób na własności optyczne, elektryczne, sprężyste, czy też plastyczne ciał stałych.

Znaczenie bombardowania jonowego jako metody badawczej wynika z faktu że pozwala ono na tworzenie wszystkich możliwych rodzajów defektów, co jest niemożliwe przy pomocy innych metod. Prawa termodynamiki nie pozwalają bowiem na tworzenie w kryształach znacznych ilości defektów punktowych posiadających dużą energię powstawania (atomy międzywęzłowe powstałe w wyniku przemieszczania atomów-sieci) lub rozpuszczania (domieszki). Implantacja jonów * pozwala na tworzenie takich struktur z doskonałą powtarzalnością. Procesy deformacji plastycznej prowadzą w wyniku jednoczesnego tworzenia defektów punktowych, liniowych i powierzchniowych do niezmiernie złożonych konfiguracji eksperymentalnych, często dających niejednoznaczne wyniki. Natomiast łatwość kontroli warunków eksperymentalnych w czasie implantacji pozwala na uzyskiwanie prostych konfiguracji lepiej nadających się do analizy ilościowej. Nie więc dziwnego, że równolegle do badań technologicznych rozwijają się liczne prace o charakterze bardziej podstawowym.

Bombardowanie jonami lub elektronami jest wykorzystywane w badaniach aplikacyjnych do wytwarzania dużych zniszczeń sieci w stosunkowo krótkim czasie lub wytwarzania wysokich chwilowych gęstości defektów. Tak więc jest to szybka metoda badawcza pozwalająca na poznanie własności materiałów, które będą narażone na działanie promieniowania jonizującego. W ten sposób można badać ewolucję struktury materiałów, zmiany fazowe, kruchość, płynięcie, pęcznienie itp. W pewnych przypadkach zakłócenia wprowadzone przez bombardowanie mogą być wykorzystywane bezpośrednio. Między innymi są to: lokalne modyfikacje współczynnika załamania w optoelektronice lub przyspieszone reakcje w fazie stałej. Implantacja jonów, która znalazła już liczne zastosowania technologiczne w przemyśle półprzewodnikowym w odniesieniu do elementów krzemowych i wydaje się bardzo obiecująca w zastosowaniu do związków półprzewodnikowych, staje się obecnie przedmiotem badań pod kątem jej wykorzystania do modyfikacji własności powierzchniowych metali lub wytwarzania związków „egzotycznych”, których nie można uzyskać przy pomocy innych technik. Można także wykorzystywać pewne zjawiska towarzyszące „implantacji naturalnej”. Przykładem może być tutaj wiatr słoneczny lub promieniowanie kosmiczne, dzięki którym następuje implantacja atomów gazów szlachetnych w meteorytach lub materiałach księżycowych, co pozwala na określanie ich wieku.

* Termin „implantacja jonów” jest na ogół używany dla określenia bombardowania jonowego, którego ostatecznym celem jest wprowadzenie atomów o określonych własnościach chemicznych (na przykład w celu domieszkiowania półprzewodników). Należy jednak pamiętać, że różne skutki bombardowania jonowego nakładają się nawzajem na siebie, jako że implantowane atomy oddziałują z defektami sieci powstałymi w trakcie bombardowania.

3.1. Zmiany własności powierzchniowych metali przy pomocy implantacji jonów

W zakresie, w jakim implantacja jonów wpływa na stan fizykochemiczny pierwszych warstw atomowych ciała stałego (w ogólnym przypadku są to warstwy leżące na głębokości poniżej 1 mikrometra), może ona modyfikować własności, w których powierzchnia ciała stałego odgrywa decydującą rolę. Są to: ścieralność, podatność na korozję i utlenianie, właściwości elektrochemiczne. Istnieją również wielkie szanse na to, że implantacja jonów pozwoli na rozwiązanie ważnego problemu technologicznego, jakim jest przyczepność warstw powierzchniowych osadzanych na określonym podłożu. Można się bowiem spodziewać, że dzięki zastąpieniu procesu osadzania modyfikacjami własności powierzchni uda się pogodzić pożądane własności fizyczne lub chemiczne warstwy powierzchniowej ze stabilnością, wytrzymałością lub własnościami elektrycznymi podłoża.

Implantacja jonów o różnych własnościach chemicznych, zwłaszcza w stalach, spowodowała uzyskanie w pewnych przypadkach bardzo duże obniżenie, niemal o czynnik 10, współczynnika ścieralności (implantacja pierwiastków „piankowych” typu cyny). Wydaje się, że w wyniku implantacji wielokrotnych mogą powstawać na powierzchni związki smarujące (na przykład MoS_2). Utlenianie różnych metali (Ti, Zr, stале, Al) ulega również zmianie na skutek implantacji jonów różnych pierwiastków. W przypadku domieszek rozpuszczalnych uzyskuje się na ogół poznane już efekty. Implantacja pierwiastków nierozpuszczalnych powoduje zwiększanie lub obniżanie, czasami bardzo radykalne, szybkości utleniania. Zmiany te utrzymują się nawet, gdy grubość utlenionego podłoża przewyższa kilkadziesiąt razy głębokość implantacji. W bardziej ogólnym aspekcie zagadnienie to dotyczy spowodowanych implantacją jonów zmian szybkości ataku chemicznego i korozji.

Modyfikacje właściwości katalitycznych w wyniku implantacji jonów otworzyły nową dziedzinę badań o wielkiej przyszłości. Mimo licznych prac poświęconych temu zagadnieniu, publikacje omawiające uzyskane wyniki należą do rzadkości ze względu na możliwość bezpośrednich zastosowań przemysłowych. Można przewidywać, że badania będą zmierzać w dwóch podstawowych kierunkach. W pierwszym rzędzie będą one dotyczyły bombardowania (w szczególności w wysokich temperaturach) metali aktywnych (Pt, Pd, Ni...) przy użyciu dużych dawek jonów, co powinno pozwolić na tworzenie bardzo blisko powierzchni jamek, których wymiary powinny być w sposób dość dobrze kontrolowany (10^2 do 10^4 Å) dopasowane do rozmiarów licznych molekuł. Tego rodzaju zjawisko geometryczne może mieć poważny wpływ na katalizę, zwłaszcza w odniesieniu do węglowodorów. Drugi kierunek badań dotyczy odporności i kosztu elementów katalitycznych. Metale wchodzące w skład tego typu elementów są często bardzo kosztowne. Implantacja mogłaby pozwolić na realizację elementów złożonych, w których jedynie część zewnętrzna, aktywna i bardzo cienka byłaby utworzona z koniecznych materiałów. Natomiast część

wewnętrzna mogłaby być wykonana z materiałów mniej „szlachetnych” i być może bardziej odpornych na atak chemiczny ośrodka reaktywnego. We wszystkich takich zastosowaniach konieczne są bardzo duże dawki implantowanych jonów, a energie implantacji powinny zmieniać się w bardzo szerokim przedziale. Technikę tę można zatem wykorzystywać jedynie w bardzo kosztownych zastosowaniach.

3.2. Zastosowania implantacji jonów w technologii półprzewodników

Prace w dziedzinie implantacji jonów, po piętnastu latach badań laboratoryjnych, weszły już w fazę produkcyjną. Dotyczy to przede wszystkim zastosowań do realizacji elementów półprzewodnikowych opartych na podłożu krzemowym. Dokonujący się równolegle postęp w konstrukcji implantatorów jonów przyspieszył zastosowanie tej techniki w skali przemysłowej. Przejście implantacji jonów z laboratorium na taśmę produkcyjną dokonało się przede wszystkim w dziedzinie wytwarzania obwodów scalonych opartych na tranzystorach MOS. W tym szczególnym przypadku wykorzystanie tej techniki było spowodowane nieskomplikowanymi warunkami implantacji, nie zmieniającymi całości procesu technologicznego, co niewątpliwie było przyczyną bardzo szybkiej akceptacji tej metody przez przemysł. W chwili obecnej wydaje się, że implantacja jonów przewyciężyła już pewną rezerwę, którą można było wyczuć w stosunku do niej. Jesteśmy obecnie świadkami wręcz światowej mody na tę technikę. Zastosowania nie ograniczają się już do technologii MOS, lecz występują również w dziedzinie tranzystorów bipolarnych, diod lawinowych, detektorów promieniowania jądowego, ogniw słonecznych itp. W ten sposób większość producentów elementów półprzewodnikowych jest już w posiadaniu implantatorów produkcyjnych. Należą do nich nawet ci, którzy przedtem nie prowadzili badań w tej dziedzinie.

Spośród licznych zastosowań implantacji jonów w technologii elementów krzemowych omówimy trzy posiadające największe znaczenie. Są to: obwody scalone o dużej skali integracji, kontrolowane domieszkowanie i tranzystory bipolarne.

Najważniejszym z aktualnych zastosowań przemysłowych implantacji jonów jest produkcja obwodów scalonych opartych na tranzystorach MOS. Te elementy charakteryzujące się stosunkowo prostą technologią i wielką różnorodnością zastosowań nadają się szczególnie do integracji w układach o dużym stopniu złożoności. Są one produkowane w łatwy sposób przy użyciu technik dyfuzji. Tym niemniej techniki te nie pozwalają na osiągnięcie teoretycznie przewidywanych wielkości takich parametrów jak: szybkość, która jest ograniczona obecnością pojemności pasożytniczych spowodowanych niedokładnością uszeregowania masek dla dyfuzji, napięcie progowe, które może być regulowane jedynie w niewielkim zakresie, co jest niewątpliwie czynnikiem ograniczającym ewentualne zastosowania. Dzięki zastosowaniu implan-

tacji jonów można przezwyciężyć wspomniane trudności: uszeregowanie elektrod (źródło, bramka, dren) jest zapewnione automatycznie bez konieczności uciekania się do pomocy masek. Oprócz tego z uwagi na dokładność, jednorodność i powtarzalność domieszkowania dobieranie napięcia progowego staje się praktycznie niezależne od charakterystyk tlenku i może być dokonywane z dużą dokładnością. Niezależnie od tego wydajność produkcji ulega zwiększeniu, co z kolei powoduje zmniejszenie kosztów. W podobny sposób zostały uwieńczone powodzeniem prace nad wytwarzaniem przy pomocy implantacji jonów układów MOS na podłożu krzemowym, osadzonym uprzednio na materiale izolacyjnym. Taka struktura podłoża pozwala na uzyskiwanie dużych współczynników wzmocnienia i wielkiej szybkości działania.

Technika wprowadzania domieszek na drodze implantacji jonów wykorzystuje możliwość precyzyjnego kontrolowania rodzaju i ilości domieszki dla realizacji procesu będącego wstępnym etapem domieszkowania. Zastępuje ona wstępne osadzanie chemiczne, które w metodzie konwencjonalnej było realizowane poprzez dyfuzję klasyczną lub dyfuzję ciało stałe-ciało stałe. Po implantacji, próbki poddawane są obróbce termicznej, w wyniku której zachodzi redystrybucja domieszek. Metoda ta rozwinęła się błyskawicznie, co było niewątpliwie spowodowane jej znaczeniem technologicznym (jest to metoda nieskomplikowana, domieszkowanie jest proste i powtarzalne). Oprócz tego należy zwrócić uwagę na dwa fakty: po pierwsze w trakcie wygrzewania ma miejsce nie tylko dyfuzja domieszek, lecz także odbudowa zniszczonej sieci krystalicznej; po drugie zastosowanie omawianej metody zmienia tylko nieznacznie istniejące procesy technologiczne i mało wpływa na zakorzenione przyzwyczajenia.

Technika ta jest wykorzystywana w skali przemysłowej do wytwarzania struktur wyspowych typu p w krzemie typu n , posiadających kluczowe znaczenie w technologiach tranzystorów komplementarnych MOS, tranzystorów bipolarnych bardzo wielkiej częstotliwości o cienkiej bazie (wstępne osadzanie dla bazy i emitera) oraz dla uzyskania bardzo małych rozrzutów współczynnika wzmocnienia (poniżej 10%).

Wytwarzanie tranzystorów bipolarnych przy pomocy implantacji jonów rozpoczęło się z pewnym opóźnieniem w stosunku do struktur MOS. Powodów należy szukać w ich specyfice. Są to bowiem urządzenia wykorzystujące nośniki mniejszościowe, a co za tym idzie bardzo czule na jakość struktury krystalicznej krzemu. Oprócz tego są to elementy silnie domieszkowane, co ciągle jeszcze jest trudne do uzyskania przy użyciu aktualnie istniejących implantatorów. Trzeba było zaczekać z ich realizacją aż do momentu, kiedy badania podstawowe poświęcone wygrzewaniu i restauracji czasu życia nośników w warstwach implantowanych pozwoliły na osiągnięcie zadowalających rezultatów.

Inne problemy napotymane w trakcie wytwarzania tranzystorów bipolarnych przy pomocy implantacji jonów są ściśle związane z warunkami implantacji. Należy do nich zaliczyć: uzyskiwanie jednorodnych strumieni jonów o dużym natężeniu, dokładna kontrola energii dla dobierania głębokości

implantacji. Aktualnie uzyskiwane rozrzuty jednorodności domieszkowania nie przekraczają 2%, co daje implantacji jonów wyraźną przewagę nad dyfuzją termiczną. Jest to główną przyczyną upowszechnienia implantacji jonów do wytwarzania szybkich układów bipolarnych o dużej skali integracji, dla których osiągnięcie dużych wydajności produkcji wymaga przeprowadzania bardzo dokładnej kontroli każdej z operacji (w pewnych przypadkach sięgających siedmiu kolejnych implantacji).

3.3. Modyfikacje charakterystyk transportu atomowego

Wiądomo już od dawna, że pod wpływem napromieniowania następuje przyspieszenie dyfuzji (wzmoczona dyfuzja). Wzrost szybkości dyfuzji jest zasadniczo związany ze zwiększeniem liczby defektów punktowych podczas napromieniowania. Oprócz tego wiadomo już obecnie, że niepromieniowanie może również zwiększać ruchliwość istniejących defektów (wzbudzona dyfuzja). Takie przyspieszenie można zaobserwować jedynie wówczas, gdy wpływ dyfuzji termicznej jest zaniedbywalny. Stwierdzenie istnienia tego zjawiska wymaga zatem przeprowadzenia pomiarów bardzo małych współczynników dyfuzji (mniejszych od 10^{-14} cm² sek⁻¹). Z tego też powodu aż do ostatniego dziesięciolecia zjawisko to było przede wszystkim badane na drodze pomiarów kinetyki odbudowy struktury stopów. W dziedzinie półprzewodników techniki pomiarowe właściwe dla tego rodzaju materiałów pozwoliły na wykonywanie eksperymentów dotyczących dyfuzji klasycznej począwszy od lat 1960. Dopiero jednak powstanie nowych technik analitycznych takich, jak: mikroanaliza jądrowa i jonowa czy spektroskopia elektronów Auger pozwoliły na bezpośredni pomiar zmian współczynnika dyfuzji pod wpływem napromieniowania we wszystkich ciałach stałych. Znajomość tych zmian jest niezbędna dla praktycznego wykorzystania zjawiska wzmoczonej dyfuzji w cienkowarstwowych procesach metalurgicznych, implantacji jonów itp.

4. Metody mikroanalizy powierzchni ciała stałego

Obserwacje oddziaływania fotonów, elektronów, neutronów i ciężkich cząstek naładowanych z materią, a ściślej mówiąc z tarczami o dobrze znanych własnościach, pozwoliły na sformułowanie praw rządzących tymi procesami. W ten sposób zostały odkryte i zbadane zjawiska dyfrakcji, emisji promieniowania rentgenowskiego, rozpraszania elastycznego cząstek naładowanych, reakcje jądrowe, kanałowanie itp. Mikroanaliza przy pomocy strumienia cząstek polega na odwróceniu tego problemu: jeśli znane są prawa oddziaływania cząstek z materią można, obserwując skutki wywołane bombardowaniem tarczy o nieznanym składzie przy pomocy strumienia cząstek o dobrze określonych parametrach, uzyskać informacje o badanej próbce. Strumienie cząstek i akceleratorzy, które je wytwarzają, nie są wykorzystywane w tym przypadku w celu wywołania zjawiska będącego przedmiotem obserwacji. Wprost przeciwnie

to tarcze, „próbki”, a więc substancje, w których zachodziły różne, uprzednio wywołane zjawiska, są obiektem badań eksperymentatorów. Strumienie cząstek odgrywają tutaj jedynie rolę narzędzia badawczego. Często jednak na pewnych etapach rozwoju poszczególnych metod napotyka się procesy przebiegające w odwrotnym kierunku. Ma to miejsce wówczas, gdy pewne zjawiska podstawowe nie są jeszcze dokładnie poznane. Wtedy właśnie mikroanalizyści muszą przeprowadzać szczegółowe badania dla swych własnych potrzeb. Jesteśmy więc świadkami nieustannego sprzężenia pomiędzy aspektami podstawowymi i praktycznymi procesów oddziaływania cząstka—materia będącego źródłem ich wzajemnego wzbogacania. Konsekwencją tego jest fakt, że bardzo często ci sami badacze wykonują oba typy eksperymentów, w tych samych laboratoriach i przy pomocy tej samej aparatury. Uświadomienie sobie tego aspektu ma zasadnicze znaczenie dla doceniania problemów praktycznych, które pojawiają się w związku z omawianymi badaniami.

Strumień jonów oddziaływając z materią może być przyczyną trzech rodzajów zdarzeń. Są to: emisja jonów wtórnych, rozpraszanie elastyczne i emisja nowych cząstek lub fotonów. Procesy prowadzące do emisji nowych cząstek lub fotonów mogą być wynikiem oddziaływania na poziomie atomowym (wzbudzenie promieniowania rentgenowskiego, emisja elektronów Auger) lub jądrowym (reakcje jądrowe z natychmiastową emisją cząstek naładowanych lub kwantów γ ; jak również prowadzące do powstania promieniotwórczego jądra końcowego).

Emisja jonów wtórnych i rozpraszanie wstecz jonów niskich energii (rzędu keV) zachodzi przede wszystkim w wyniku oddziaływania z pierwszymi warstwami atomowymi tarcz, inne rodzaje metod, w miarę wzrostu energii bombardujących cząstek, mogą służyć do badania coraz to głębszych warstw. Zazwyczaj głębokości, które można badać są rzędu mikrometra. W każdym razie analiza dotyczy w sposób selektywny jedynie powierzchni ciał stałych, co można uważać zarówno za zaletę (istotne zmniejszenie wpływu podłoża), jak i wadę (ograniczona objętość analizowanego materiału). Tak więc omawiane techniki są szczególnie dobrze przystosowane do badania zjawisk zachodzących w pobliżu powierzchni i w cienkich warstwach.

Poprzeczna zdolność rozdzielcza metod akceleratorowych jest określona przez średnicę wiązki i praktycznie nie przekracza jednego mikrometra.

Zakres wykorzystywanych energii jest określony, poza głębokością obszaru i zdolnością rozdzielczą istniejących detektorów, przez wielkości przekrojów czynnych wykorzystywanych oddziaływań. Z wyjątkiem rozpraszania elastycznego przekroje czynne innych rodzajów oddziaływania osiągają wystarczająco duże wartości dopiero przy energiach padających cząstek rzędu MeV. Tak więc techniki te nie wymagają na ogół stosowania dużych akceleratorów. Typowym urządzeniem akceleratorowych metod mikroanalizy jest 2-3 MeV-owy akcelerator typu Van de Graaffa. Wyjątkiem są metody wykorzystujące aktywację przy pomocy ciężkich cząstek naładowanych. Ze względu na wysokie progi energetyczne większości stosowanych reakcji bardzo często niezbędne

jest wykorzystywanie dużych akceleratorów przyspieszających cząstki do energii kilkudziesięciu i więcej MeV. Wykorzystywana aparatura jest, włączając w to również techniki detekcji i obróbki informacji, typowa dla fizyki jądrowej niskich energii. Z tego też powodu większość grup pracujących przy pomocy tego typu urządzeń powstało w „obozie” fizyki jądrowej i ciągle ma w swoim składzie wielu, chociażby tylko z wykształcenia, fizyków jądrowych.

Rozróżnianie poszczególnych izotopów jest możliwe jedynie przy użyciu reakcji jądrowych lub spektrometrii masowej jonów wtórnych. Rozróżnialność sąsiednich izobarów przy pomocy rozpraszania elastycznego jest możliwa jedynie w obszarze lekkich pierwiastków o masach poniżej 20. Jeśli chodzi natomiast o oddziaływania atomowe (promieniowanie rentgenowskie, elektrony Auger), to efekty izotopowe są zbyt słabe, aby mogły być użyteczne w zastosowaniach praktycznych.

Metody, które są czułe jedynie na skład pierwiastków (lub izotopowy) badanych tarcz mogą zapewniać wielką dokładność bezwzględną rezultatów i są łatwe do kalibracji. Do tej grupy należą oddziaływania jądrowe, wzbudzanie promieniowania rentgenowskiego głęboko leżących poziomów atomowych i rozpraszanie elastyczne wysokiej energii (z wyłączeniem zjawiska kanałowania). Należy podkreślić, że podstawowym warunkiem dla uzyskiwania wyników bezwzględnych jest posiadanie próbek wzorcowych o wysokiej dokładności. Wytwarzanie takich wzorców jest ułatwione dzięki niewrażliwości omawianych metod na wiązania chemiczne.

Techniki pomiarowe oparte na wykorzystaniu emisji jonów wtórnych i rozpraszania wstecznego niskoenergetycznych jonów są w przeciwieństwie do wspomnianych wyżej metod bardzo wrażliwe na strukturę fizyko-chemiczną. Jest to poważną przeszkodą w uzyskiwaniu wyników ilościowych, ale może być cenne dla bardziej subtelnej analizy niż badanie jedynie składu globalnego. Bardzo często niezwykle użyteczne jest łączenie metod opartych na wykorzystaniu oddziaływań jądrowych, które dostarczają wiarygodnych informacji odnośnie do składu pierwiastkowego próbek, z innymi technikami pozwalającymi na określanie struktury (mikroskopia elektronowa, dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego itp.) lub stanu chemicznego (NMR — Nuclear Magnetic Resonance, EPR — Electron Paramagnetic Resonance, spektroskopia promieniowania podczerwonego itp.). Niestety, te ostatnie bardzo często nie posiadają wystarczająco dużej czułości niezbędnej w badaniach bardzo cienkich warstw. W tym przypadku jako techniki komplementarne bardzo pożyteczne są: spektroskopia elektronów Auger, ESCA — Electron Spectroscopy for Chemical Analysis, LEED — Low Energy Electron Diffraction.

Ostatnią z ważnych własności charakterystycznych omawianych technik jest ich zdolność do wyznaczania rozkładów (profilu) koncentracji w funkcji głębokości. Techniki dostarczające informacji jedynie o kilku pierwszych warstwach mogą być również wykorzystywane do wyznaczania profili koncentracji pod warunkiem połączenia ich ze stopniowym usuwaniem kolejnych warstw — na przykład przy pomocy erozji jonowej. W przeciwieństwie do tej niszczącej

metody rozpraszanie elastyczne cząstek wysokich energii i bezpośrednia rejestracja produktów reakcji jądrowych umożliwia określanie w sposób nie niszczący i w jednym akcie pomiarowym (poprzez analizę widm energetycznych rejestrowanych cząstek) rozkładów koncentracji z głębokościową zdolnością rozdzielczą rzędu 100 Å.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na problem lokalizacji położenia defektów w monokryształach (atomy wybite i domieszki) lub bardziej ogólnie na badanie jakości warstw powierzchniowych krystalicznych ciał stałych. Kanałowanie cząstek jest tutaj szczególnie przydatną metodą. Technika ta wykorzystuje omówione wyżej zasady mikroanalizy przy pomocy rozpraszania elastycznego i reakcji jądrowych i wymaga stosowania tych samych urządzeń.

Zastosowania wspomnianych technik są bardzo różnorodne. Podkreślmy, bez wnikania w szczegóły, że czułości bezwzględne mogą osiągać wielkości niezwykle: 10^{-4} monowarstwy atomowej, co jest równoważne 10^{11} atomów/cm² na powierzchni rzędu 1 mm². Tak więc analiza zawartości śladowych i zanieczyszczeń powierzchniowych jest bardzo prosta i szybka. Dziedziny zastosowań obejmują fizykę ciała stałego, krytalografię, katalizę, elektrochemię, mineralogię, biologię..., a więc wszystkie dziedziny, w których decydującą rolę odgrywają procesy transportu atomowego i dyfuzji termicznej, defektów w ciałach stałych, formowania i właściwości cienkich warstw (izolacyjnych, metalicznych, epitaksjalnych itp.), absorpcji powierzchniowej, badania zawartości śladowych, studia nad fazami heterogennymi (granice ziaren, przekroje biologiczne lub geologiczne itp.). Wspomniane zastosowania odnoszą się w równym stopniu do badań podstawowych, co do stosowanych.

Reasumując wypada stwierdzić, że w tej bardzo młodej dziedzinie mikroanalizy, dysponujemy obecnie zespołem technik należącym do najdoskonalszych z obecnie istniejących metod analitycznych. Nie więc dziwnego, że w ciągu ostatnich kilku lat jej zastosowania rozwijały się bardzo dynamicznie.

Występujące w dalszej perspektywie problemy można podzielić na dwie kategorie: badania związane z postępem metod mikroanalitycznych i z postępem odnośnie do zastosowań tych technik i ich rozszerzania na nowe dyscypliny i dziedziny. Należy podkreślić w tym miejscu, że przede wszystkim zastosowania określają użyteczność danej metody i określonego typu akceleratora. Jest rzeczą oczywistą, że analityk dokona w każdym przypadku wyboru najprostszej z możliwych metod, które wymagają korzystania, przy tych samych charakterystykach, z możliwie małych urządzeń. Wybór taki jest często sprawą bardzo delikatną. Charakterystyki metod, na dobrą sprawę, nigdy nie są identyczne. Eksperymentator musi zatem dokonać analizy takich parametrów pomiarów jak: dokładność, precyzja, szybkość itp. W praktyce bardzo rzadko zdarza się, że jakaś konkretna metoda pozwala na całkowite rozwiązanie wybranego problemu. Nawet jeśli tak jest, poszukuje się innej, konkurencyjnej techniki, aby uzyskać potwierdzenie rezultatów otrzymanych przy użyciu pierwszej metody.

Literatura

W przedstawionym tutaj wykazie literatury ograniczono się do prac o charakterze przeglądowym poświęconym szczegółowej dyskusji zagadnień omówionych w niniejszym artykule.

ZDERZENIA ATOMOWE

1. I. Martinson, A. Gaupp, Beam-Foil Spectroscopy, *Physics Reports* 15C, nr 3 (1974).
2. J. D. Garcia, R. J. Fortner, T. M. Kavanagh, Inner Shell Vacancy Production in Atomic Collisions, *Rev. Mod. Phys.* 45, 111 (1973).
3. *Atomic Collisions in Solids*, pod red. S. Datz, Plenum Press, New York 1975.
4. *Atomic Collisions in Solids*, pod red. W. F. Saris, W. van der Weg, North-Holland Publ. Co., Amsterdam 1976.

MODYFIKACJE CIAŁ STAŁYCH POD WPLYWEM NAPROMIENIOWANIA

1. W. Rosiński, *Implantacja Jonów*, PWN, Warszawa 1976.
2. L. T. Chadderton, *Radiation Damage in Crystals*, Academic Press, London 1965.
3. G. Dornaley, J. A. Freeman, R. S. Nelson, J. Stephens, *Ion Implantation*, North-Holland Publ. Co., Amsterdam 1973.
4. *Radiation Damage Processes in Materials*, pod red. C. H. S. Dupuy, Noordhoff, Leyde 1975.

METODY MIKROANALIZY POWIERZCHNI CIAŁA STAŁEGO

1. A. Tuross, Jądrowa mikroanaliza warstw powierzchniowych, *Postępy Fizyki* 25, 419 (1974).
2. J. Kajfosz, Analiza pierwiastków śladowych przy pomocy charakterystycznego promieniowania X wzbudzanego przez cząstki naładowane, *Postępy Fizyki* 25, 159 (1974).
3. *New Uses of Low Energy Ion Accelerators*, pod red. J. F. Ziegler, Plenum Press, New York 1975.
4. J. F. Ziegler, Material Analysis with Ion Beams, *Physics Today* 29, 52 (1976).
5. H. Liebl, Ion Probe Microanalysis, *J. Phys.* 8, 797 (1975).
6. E. Taglauer, W. Heiland, Surface Analysis with Low Energy Ion Scattering, *Appl. Phys.* 9, 261 (1976).
7. *Channeling*, pod red. D. V. Morgan, J. Wiley and Sons, New York 1974.

Jerzy Bartke

Institut Fizyki Jądrowej
Kraków

Oddziaływania cząstek wirtualnych

Interactions of Virtual Particles

Abstract: Experimental results on interactions of virtual particles with real ones are reviewed. Elastic, inelastic, and annihilation processes are discussed.

1. Wstęp

Cząstkami wirtualnymi nazywamy cząstki występujące w takich stanach, w których nie są spełnione pewne określone warunki fizyczne słuszne dla stanów rzeczywistych. W szczególności chodzi tu o podstawowy związek między energią E , pędem P i masą spoczynkową m cząstki*

$$E^2 = P^2 + m^2. \quad (1.1)$$

W ujęciu relatywistycznie niezmienniczym wprowadza się pojęcie czterowektora utworzonego ze składowych pędu oraz energii cząstki

$$p = (P_x, P_y, P_z, iE) = (P, iE). \quad (1.2)$$

Kwadrat tego czterowektora wynosi

$$p^2 = P^2 - E^2, \quad (1.3)$$

a więc dla cząstek rzeczywistych, spełniających związek (1.1), równy jest po prostu kwadratowi masy spoczynkowej cząstki (z przeciwnym znakiem)

$$p^2 = -m^2. \quad (1.4)$$

Mówi się często, że cząstka rzeczywista znajduje się „na powłoce masy” (*on mass shell*), ponieważ związek (1.4) można traktować jako równanie powłoki

* Będziemy używać układu jednostek, w którym prędkość światła w próżni równa jest jedności ($c = 1$).

kulistej w pewnej przestrzeni czterowymiarowej. Dla stanów wirtualnych wyżej wymienione związki nie są spełnione. Mówi się, że cząstka znajduje się poza powłoką masy (*off mass shell*). Istnienie takich stanów umożliwiające jest przez zasadę nieokreśloności, w myśl której układ może przebywać w stanie o energii określonej z dokładnością ΔE przez czas $\tau \approx \frac{\hbar}{\Delta E}$, zatem w bardzo krótkich odstępach czasu mogą wystąpić bardzo nawet duże fluktuacje energii.

Pojęcie stanów wirtualnych używane jest często w teorii rozpraszania cząstek. Np. proces rozpraszania nukleonu na nukleonie można opisać w następujący sposób. W miarę zbliżania się nukleonów do siebie rośnie prawdopodobieństwo emisji przez jeden z nich mezonu π . Oczywiście może to być jedynie mezon wirtualny, gdyż emisja rzeczywistego mezonu przez swobodny nukleon jest wzbroniona przez prawa zachowania. Mezon ten może być pochłonięty przez drugi nukleon (także proces wirtualny!), po czym nukleony oddalają się od siebie i oddziaływanie między nimi zanika. W ten sposób akt oddziaływania opisany jest poprzez wymianę jednej (lub więcej) cząstek wirtualnych. Cząstki takie mogą pojawiać się jedynie w stanach pośrednich i na symbolizujących procesy oddziaływania tzw. diagramach feynmanowskich odpowiadać im będą zawsze linie wewnętrzne diagramu.

Za cząstki wirtualne można także uważać wszystkie cząstki przebywające w stanach związanych. W stanach takich cząstki tworzące układ mają łączną masę mniejszą od sumy mas składników o wielkość zwaną energią wiązania. Cząstki nie znajdują się zatem na powłoce masy. Jeżeli wiązanie jest słabe, tzn. energia wiązania jest znacznie mniejsza od sumy mas spoczynkowych cząstek tworzących dany układ, cząstki będą znajdować się bardzo blisko powłoki masy i zachowanie się ich będzie niewiele odbiegać od zachowania się cząstek rzeczywistych. Taka sytuacja występuje w atomach, a do pewnego stopnia także i w jądrach atomowych, gdzie przypadająca na jeden nukleon energia wiązania nie przekracza jednego procenta masy spoczynkowej nukleonu. W fizyce wysokich energii mamy jednak czasem do czynienia z cząstkami leżącymi daleko od powłoki masy („silnie wirtualnymi”). Powstają pytania jak traktować takie cząstki i jak będą one oddziaływać z cząstkami rzeczywistymi. Niniejszy artykuł poświęcony jest omówieniu wyników doświadczeń poświęconych badaniu oddziaływań z udziałem cząstek wirtualnych.

2. Rozpraszanie mezonów wirtualnych

Problem doświadczalnego badania oddziaływań cząstek wirtualnych wynika z związku z oddziaływaniem $\pi-\pi$. Mezony π są, jak wiadomo, kwantami pola sił jądrowych. Oddziaływanie między nukleonami zachodzi w myśl zaproponowanego jeszcze w 1935 r. przez Yukawę schematu

$$N \rightleftharpoons N + \pi, \quad (2.1)$$

w którym nukleon ulega wirtualnej dysocjacji na nukleon i mezon π . Przyjmując oddziaływanie nukleon- π za podstawowe można konstruować teorię opartą na lagranżianie będącym iloczynem prądu barionowego i pola mezonowego: $(\bar{\psi}0\psi)\varphi$. Nawet w tym podejściu należy jednak spodziewać się silnego oddziaływania między dwoma mezonami π . Oddziaływanie π - π wystąpi poprzez wirtualny proces dysocjacji mezonu π na parę nukleon-antynukleon

$$\pi \rightleftharpoons N + \bar{N} \quad (2.2)$$

i będzie tego samego rzędu wielkości co oddziaływanie N - π (zauważmy, że schemat (2.2) można otrzymać ze schematu (2.1) przez formalne „przeniesienie” jednego z nukleonów na drugą stronę równania, występujące w obu procesach stałe sprzężenia będą więc takie same).

Dawno już zdano sobie sprawę z tego, że może się okazać, iż oprócz oddziaływania poprzez stan pośredni $N\bar{N}$ między mezonami π może istnieć także oddziaływanie bezpośrednie. Takie oddziaływanie wpłynęłoby z kolei, poprzez efekty wyższego rzędu, na oddziaływanie π - N i dlatego zbadanie oddziaływania π - π jest bardzo ważne i interesujące. Realizacja bezpośredniego eksperymentu rozproszeniowego π - π nie jest możliwa, bo nie da się zrobić „tarczy” z cząstek tak krótkożyciowych jak mezony π (średni czas życia 2.6×10^{-8} s). Można jedynie myśleć o jakiejś metodzie pośredniej, np. o eksperymencie, w którym w stanie końcowym występują dwa mezony π i o badaniu różnego rodzaju korelacji między tymi mezonami.

Najprostszy taki proces to produkcja jednego mezonu π w zderzeniu πN

$$\pi N \rightarrow N' \pi \pi \quad (2.3)$$

W procesach tego typu można badać układ $\pi\pi$ w różnych stanach ładunkowych, a zatem i w różnych stanach izospinu

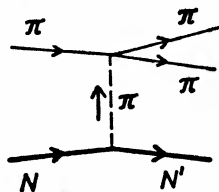
$$Q = I_3 = 0, \quad I \geq 0 \quad (\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n, \quad \pi^+ n \rightarrow \pi^+ \pi^- p)$$

$$Q = I_3 = \pm 1, \quad I \geq 1 \quad (\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^0 p, \quad \pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^0 p)$$

$$Q = I_3 = \pm 2, \quad I = 2 \quad (\pi^- n \rightarrow \pi^- \pi^- p, \quad \pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^+ n),$$

gdzie Q jest ładunkiem, a I_3 — trzecią składową izospinu. Wymieniliśmy powyżej tylko kanały reakcji (2.3), w których w stanie końcowym występuje co najwyżej jedna cząstka neutralna, gdyż reakcje z dwoma lub więcej cząstkami neutralnymi w stanie końcowym są doświadczalnie bardzo trudne do wydzielenia.

Charakterystyki reakcji (2.3) sugerują, że można ją opisać przy pomocy tzw. modelu wymiany jednomezonowej [1] (rys. 1). Diagram ten symbolizuje,



Rys. 1. Diagram wymiany jednomezonowej dla procesu $\pi N \rightarrow N' \pi \pi$

że w dolnym wierzchołku zachodzi wirtualna dysocjacja $N \rightarrow N' + \pi$, a w górnym wierzchołku zachodzi rozproszenie tego wirtualnego mezonu na mezonie padającym

$$\pi\pi \rightarrow \pi\pi. \quad (2.4)$$

Amplituda tej reakcji może być zapisana jako funkcja trzech niezmienników

$$A = A(M, u, t), \quad (2.5)$$

gdzie

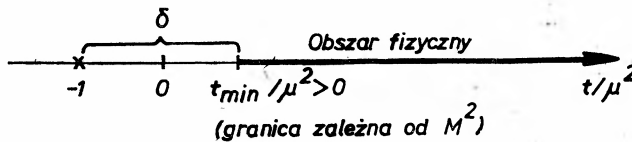
$$M^2 = (p_1 + p_2)^2 \quad (2.6)$$

$$u = (p_0 - p_2)^2 \quad (2.7)$$

$$t = (P_i - P_f)^2. \quad (2.8)$$

Przez p_0, p_1, p_2 oznaczyliśmy odpowiednio czteropędy mezonu padającego i mezonów wyprodukowanych, a przez P_i i P_f czteropędy nukleonu przed i po zderzeniu.

Wielkość M odpowiada pełnej energii dwóch wyemitowanych mezonów π w układzie ich środka masy. Jeżeli interesuje nas zależność przekroju czynnego rozproszenia $\pi\pi \rightarrow \pi\pi$ jedynie w funkcji tej energii, to musimy przeliczyć po zmiennej u , która związana jest z podziałem energii między wytworzonymi mezonami, oraz dokonać przejścia na powłokę masy dla wymiennego mezonu. Kwadrat czteropędu tego mezonu jest bowiem równy $p_E^2 = t > 0$, podczas gdy dla rzeczywistego swobodnego mezonu kwadrat czteropędu powinien być równy kwadratowi jego masy spoczynkowej wziętemu ze znakiem ujemnym: $p^2 = -\mu^2$. Wartość ta nie jest osiągalna w doświadczeniu opartym na badaniu reakcji (2.3) i można starać się dochodzić do niej jedynie przez ekstrapolację z tzw. obszaru fizycznego — rys. 2. Zaznaczony na rysunku punkt



Rys. 2. Obszar fizyczny i położenie bieguna na osi t dla procesu $\pi N \rightarrow N' \pi\pi$

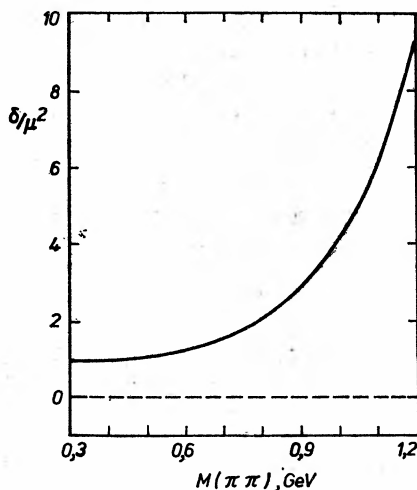
$t/\mu^2 = -1$ odpowiada właśnie mezonowi na powłoce masy (w punkcie tym amplituda rozproszenia posiada bęgun). Szerokość przerwy δ , przez którą trzeba ekstrapolować amplitudę, wzrasta ze wzrostem M^2 , jak to pokazuje rys. 3.

Chew i Low [3], którzy opracowywali model wymiany jednomezonowej, wyprowadzili następujący wzór na przekrój czynny rozproszenia $\pi\pi$:

$$\sigma_{\pi\pi}(M) = \lim_{t \rightarrow -\mu^2} \frac{2\pi k_{\text{LAB}}^2 \mu^2 (t + \mu^2)^2}{f^2 t M (M^2/4 - \mu^2)^{1/2}} \frac{d^2\sigma}{dt dM^2}, \quad (2.9)$$

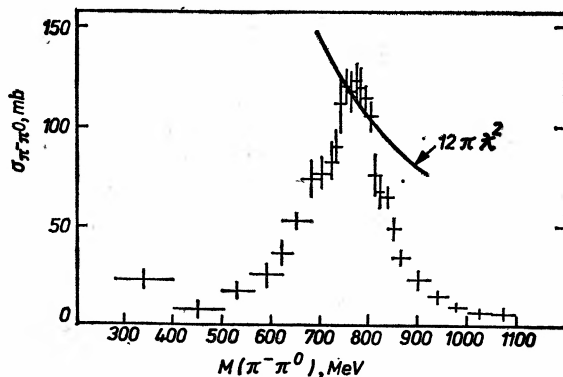
gdzie $f^2 = 0.08$ — stała sprzężenia pion-nukleon, k_{LAB} — pęd padającego mezonu π w układzie laboratoryjnym, $\frac{d^2\sigma}{dt dM^2}$ — różniczkowy przekrój czynny ba-

danej reakcji (2.3). Dla wybranego przedziału M^2 należy więc dokonać ekstrapolacji zależności od t do $t = -\mu^2$. Metoda ekstrapolacji może być w zasadzie dowolna: liniowa, lub przy pomocy wielomianu wyższego stopnia.



Rys. 3. Szerokość „przerwy”, przez którą trzeba ekstrapolować amplitudę reakcji $\pi N \rightarrow N'\pi\pi$ w funkcji $M(\pi\pi)$ (z pracy [2])

Taką metodę analizy danych stosowało wielu autorów. Carmony i Van de Walle [4] badali reakcje $\pi^+p \rightarrow \pi^+\pi^0p$ i $\pi^-p \rightarrow \pi^-\pi^0p$ przy pędzie padających mezonów 1.25 GeV/c. Stwierdzili oni, że przekrój czynny na rozproszenie $\pi\pi$ wykazuje maksimum dla wartości $M^2 \approx 27 \mu^2$, co odpowiada $M \approx (700 \div 750)$ MeV. Baton, Laurens i Reignier [5] analizowali reakcję $\pi^-p \rightarrow \pi^-\pi^0p$ przy $k_{\text{LAB}} = 2.77$ GeV/c. Spośród 180000 oddziaływań zarejestrowanych w komorze pęcherzykowej wodorowej wybrano do analizy 7666 przypadków tej reakcji. Otrzymane wyniki przedstawia rys. 4. Widać maksimum przy $M = (750 \div 760)$ MeV. Przekrój czynny w maksimum przekracza nieznacznie wartość

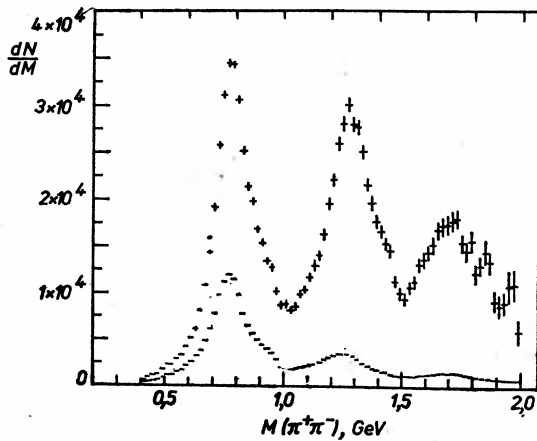


Rys. 4. Przekrój czynny na rozproszenie $\pi-\pi$ (z pracy [5])

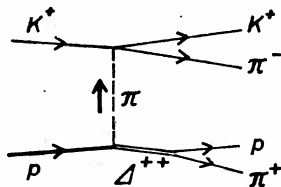
przewidzianą dla rezonansu fali P : $\sigma_l = 4\pi(2l+1)\lambda^2$, co dla $l=1$ daje $\sigma = 12\pi\lambda^2$. Wydaje się zatem rozsądne założyć, że między dwoma mezonami π występuje przy tej energii stan rezonansowy o kręcie orbitalnym (a więc i całkowitym, bo mezony π nie posiadają spinu własnego) równym jedności. Hipotezę tę sprawdzono później bezpośrednio, badając rozkład kątowy mezonów π w ich układzie środka masy.

Już w tych wczesnych pracach zauważono, że wyniki mało zależą od sposobu ekstrapolacji do $t = -\mu^2$ (liniowa lub paraboliczna), a bez stosowania ekstrapolacji otrzymuje się jakościowo ten sam obraz, choć znacznie mniejsze wartości $\sigma_{\pi\pi}$.

W nowszych pracach analizuje się oddziaływanie $\pi\pi$ metodą rozkładu na fale cząstkowe (*partial wave analysis*). W szczególności należy tu wymienić eksperyment przy $k_{\text{LAB}} = 17.2 \text{ GeV}/c$, w którym badano reakcję $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-n$. Współpracujące grupy z CERN-u i Instytutu im. Maxa Plancka z Monachium uzyskały przeszło 300 000 przypadków tej reakcji używając spektrometru z komorami iskrowymi [6]. Autorzy stwierdzają, że używając jedynie przypadków z małym przekazem czteropędu $|t| < 0.15 \text{ GeV}^2$ otrzymuje się wprost takie same wyniki, jak ekstrapolując do $t = -\mu^2$. [7] Wymieniany mezon można zatem traktować jako rzeczywisty i kształt rezonansu w $\sigma_{\pi\pi}$ można otrzymać dopasowując po prostu krzywą Breit-Wignera do rozkładu masy układu $\pi\pi$. Rys. 5 przedstawia rozkład $M_{\pi\pi}$ z tego eksperymentu. W rozkładzie



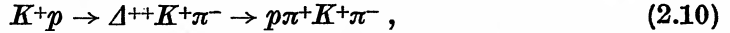
Rys. 5. Rozkłady masy niezmienniczej układu $\pi-\pi$ (z pracy [6])



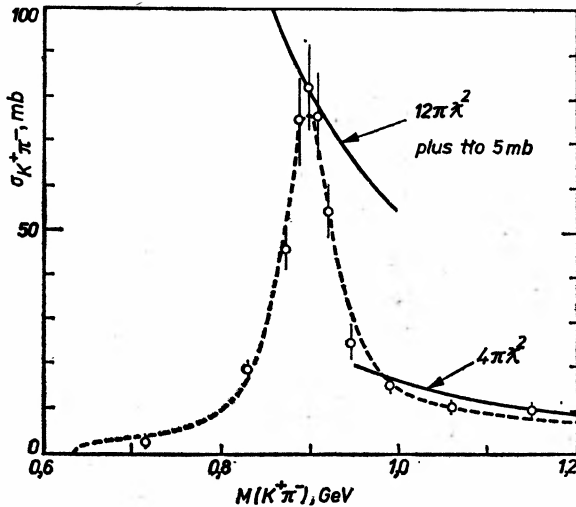
Rys. 6. Diagram wymiany jednomezonowej dla procesu $K^+p \rightarrow \Delta^{++}K^+\pi^-$

tym widoczne są oprócz rezonansu $\rho(M = 770 \text{ MeV})$ także wyższe rezonanse mezonowe: $f(M = 1270 \text{ MeV})$ i $g(M = 1690 \text{ MeV})$, = dla najwyższych wartości mas zaznacza się już wpływ rezonansu $h(M = 2040 \text{ MeV})$, leżącego poza badanym zakresem mas. Analiza rozkładu kąтового metodą fal cząstkowych pozwala określić spin tych rezonansów: jeden dla ρ , dwa dla f i trzy dla g , rezonanse występują bowiem tylko w odpowiednich falach cząstkowych.

Metodę ekstrapolacji Chew-Lowa zastosowano także do badania oddziaływania $K\pi$ [8]. W reakcji



badanej w komorach pęcherzykowych przy pędach 5 i 9 GeV/c, wyznaczano $\sigma_{K^+\pi^-}$ zakładając, że reakcja ta zachodzi poprzez wymianę mezonu π — rys. 6. Okazało się, że w przebiegu przekroju czynnego na rozproszenie $K\pi \rightarrow K\pi$ jako funkcji energii występuje również silne maksimum, odpowiadające rezonansowi $K^*(892)$ o spinie 1 — rys. 7. Parametry tego rezonansu otrzymuje się w granicach błędu takie same przy użyciu ekstrapolacji liniowej i kwadratowej.

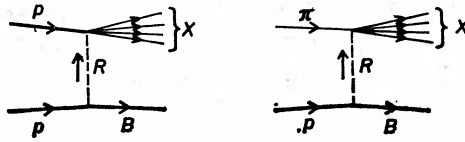


Rys. 7. Przekrój czynny na rozproszenie $K\pi$ (z pracy [8])

3. Nieelastyczne oddziaływania mezonów wirtualnych

Dotychczas zajmowaliśmy się procesami rozpraszania elastycznego $\pi\pi \rightarrow \pi\pi$ i $K\pi \rightarrow K\pi$. Oddziaływanie hadronów przy wysokich energiach prowadzi jednak w większości przypadków do produkcji nowych cząstek — głównie mezonów. Procesy wielorodnej produkcji w oddziaływaniach wirtualnych mezonów były przedmiotem kilku prac wykorzystujących dane z laboratorium im. Fermiego w USA. W szczególności badano reakcje $pp \rightarrow B + X + \pi p \rightarrow$

$\rightarrow B + X$ (B — barion, X — dowolny zespół cząstek) przy pędach w zakresie od 100 do 400 GeV/c w komorze pęcherzykowej. Odpowiednie diagramy wymiany przedstawia rys. 8. Jeżeli reakcja $pp \rightarrow B + X$ zachodzi poprzez wymianę



Rys. 8. Diagramy wymiany dla procesów $pp \rightarrow B + X$, $\pi p \rightarrow B + X$

jednomezonową, to badanie własności układu pozostałych cząstek X jako funkcji M^2 jest równoważne badaniu oddziaływania wymienianej cząstki „ R ” z protonem w funkcji s . Analogicznie, badając reakcję $\pi p \rightarrow B + X$ możemy uzyskać dane dotyczące oddziaływania wymienianej cząstki z padającym mezonem π . Erwin i współpracownicy [9] analizowali pod tym kątem widzenia następujące reakcje przy pędzie cząstek padających 100 GeV/c:

$$pp \rightarrow \Delta^{++} + X^0 \quad (\text{wymiana } \pi^-, \text{ oddziaływanie } \pi^- p) \quad (3.1)$$

$$\pi^+ p \rightarrow \Delta^{++} + X^0 \quad (\text{wymiana } \pi^-, \text{ oddziaływanie } \pi^- \pi^+) \quad (3.2)$$

$$pp \rightarrow \Lambda^0 + X^{++} \quad (\text{wymiana } K^+, \text{ oddziaływanie } K^+ p) \quad (3.3)$$

$$\pi^+ p \rightarrow \Lambda^0 + X^{++} \quad (\text{wymiana } K^+, \text{ oddziaływanie } K^+ \pi^+) \quad (3.4)$$

Wyniki dotyczące średnich krotności cząstek stanowiących układ X^0 lub X^{++} przedstawia rys. 9. Widać, że średnia krotność cząstek naładowanych produkowanych w rzeczywistych i wirtualnych oddziaływaniach πp jest taka sama

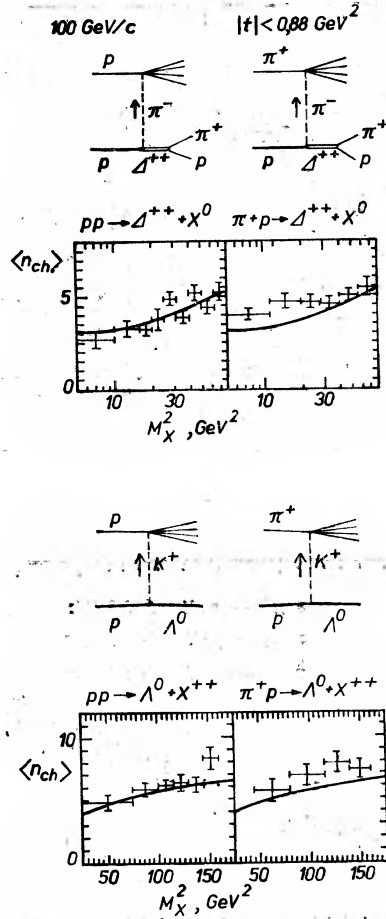
$$\langle n_{\text{ch}} \rangle_{\pi^- p \text{ off-shell}} = \langle n_{\text{ch}} \rangle_{\pi^- p \text{ on-shell}} \quad (3.5)$$

natomiast $\langle n_{\text{ch}} \rangle_{\pi^+ p}$ jest wyższe o ok. 0.6 od $\langle n_{\text{ch}} \rangle_{\pi^- p}$, a $\langle n_{\text{ch}} \rangle_{K^+ p}$ jest również nieco wyższe od $\langle n_{\text{ch}} \rangle_{\pi^+ p}$. W pracy Winkelmana [10] porównano reakcje $pp \rightarrow p + X$ i $\pi^- p \rightarrow p + X$ przy pędzie cząstek padających 205 GeV/c. Cząstką wymienianą dla niższych M^2 ($M^2 \lesssim 20 \text{ GeV}^2$) może tu być tzw. pomeron, dla wyższych M^2 wystąpią różne wymiany mezonowe (R). W reakcji $pp \rightarrow p + X$ będziemy mieli do czynienia z oddziaływaniem $R-p$, zaś w reakcji $\pi^- p \rightarrow p + X$ z oddziaływaniem $R-\pi$. Uzyskane wyniki dotyczące średnich krotności cząstek naładowanych pochodzących z tych procesów przedstawia rys. 10. Wszystkie te zależności mają bardzo podobny charakter. Dalszym krokiem naprzód jest użycie zamiast M^2 ($= s$) zmiennej nazwanej „energiją do dyspozycji” (*available energy*) określonej w następujący sposób:

$$E_a = \sqrt{s} - (m_1 + m_2) \quad \text{dla procesów typu „1” + „2”} \rightarrow \text{cokolwiek,}$$

$$E_a = M_X - m_\pi \quad \text{dla } \pi^- p \rightarrow p + X,$$

$$E_a = M_X - m_p \quad \text{dla } pp \rightarrow p + X.$$



Rys. 9. Średnie krotności cząstek naładowanych należących do układu „X” w procesach $pp \rightarrow B + X$ i $\pi p \rightarrow B + X$ w funkcji masy układu „X” przy pędzie $100 \text{ GeV}/c$ (z pracy [9]). Krzywe pokazują przebieg krotności dla procesów rzeczywistych.

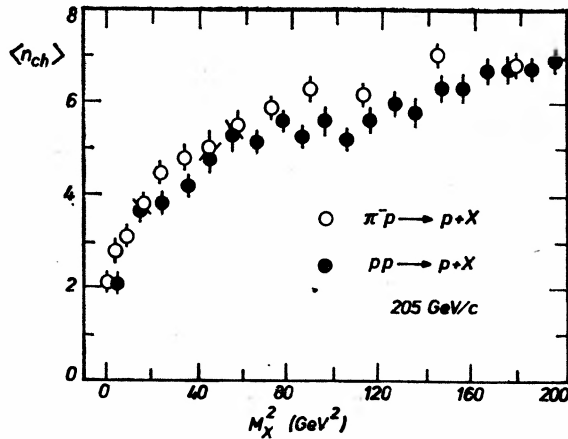
Dane Winkelmann'a przedstawione przy użyciu tej zmiennej wykazują uniwersalną zależność dla wszystkich badanych rodzajów oddziaływań. Ilustruje to rys. 11 wzięty z pracy [11]. Średnia krotność cząstek naładowanych w wyprodukowanym układzie X wzrasta logarymicznie ze wzrostem M^2 , ale nie jest czuła na naturę zderzających się cząstek. Zachodzi to także dla cząstek wirtualnych.

Rozkłady krotności są również podobne. Kształt rozkładu krotności charakteryzuje się podając jego momenty, a w pierwszym przybliżeniu — dyspersję, która określa szerokość rozkładu. Dyspersja określona jest wzorem

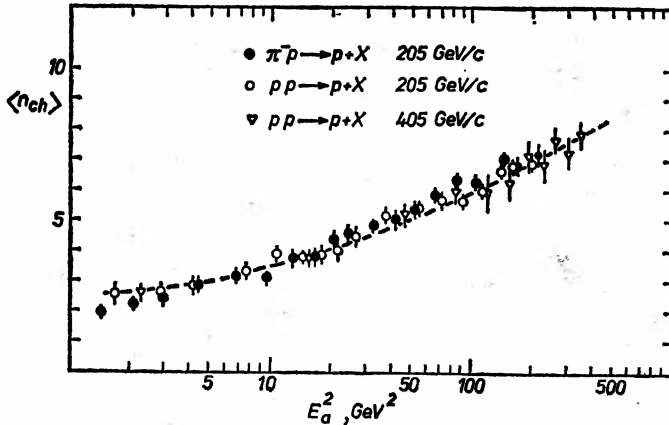
$$D = (\langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2)^{1/2} \quad (3.6)$$

Zamiast dyspersji używa się często parametru f_2 związanego z dyspersją relacją

$$f_2 = D^2 - \langle n \rangle. \quad (3.7)$$



Rys. 10. Średnie krotności cząstek naładowanych należących do układu „X” w procesach $\pi^- p \rightarrow p + X$ i $pp \rightarrow p + X$ przy pędzie $205 \text{ GeV}/c$ (z pracy [10])



Rys. 11. Średnie krotności cząstek naładowanych z różnych procesów nieelastycznych przedstawione w funkcji tzw. „energii do dyspozycji” (z pracy [11])

Ponieważ dla rozkładu Poissona $D^2 = \langle n \rangle$, zatem dodatnie wartości f_2 odpowiadają rozkładowi szerszym niż rozkład Poissona, a ujemne wartości f_2 odpowiadają rozkładowi węższym niż rozkład Poissona. Odpowiedni wykres zamieszczony jest w dalszej części artykułu (rys. 15).

4. Anihilacje cząstek wirtualnych

Anihilacje zajmują dość wyjątkowe miejsce wśród wszystkich oddziaływań nieelastycznych. W procesie anihilacji dwie zderzające się cząstki „znikają”, a w ich miejsce pojawiają się nowe cząstki. Najbardziej znanymi przykładami anihilacji są procesy $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$ (anihilacja pozytonu i elektronu z wy-

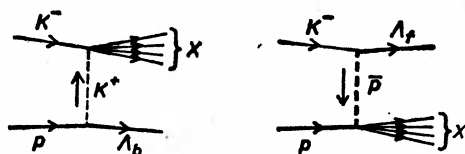
slaniem dwóch fotonów) i $\bar{p}p \rightarrow n\pi$ (anihilacja antyprotonu i protonu z emisją n mezonów π).

Anihilacje cząstek wirtualnych można badać np. w procesach

$$K^-p \rightarrow \Lambda_{\text{backw.}}^0 + X^0 \quad (4.1)$$

$$K^-p \rightarrow \Lambda_{\text{forw.}}^0 + X^0, \quad (4.2)$$

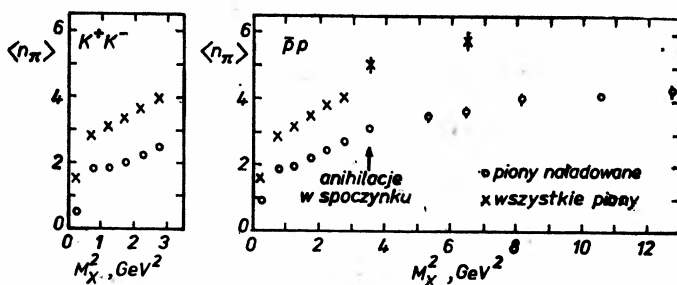
gdzie $\Lambda_{\text{backw.}}^0$, $\Lambda_{\text{forw.}}^0$ oznaczają hiperony Λ^0 emitowane odpowiednio ku tyłowi lub ku przodowi w układzie środka masy zderzających się cząstek. Jak wynika z przedstawionych na rys. 12 diagramów, w pierwszym przypadku mamy do



Rys. 12. Diagramy procesów wirtualnych anihilacji K^+K^- i $\bar{p}p$

czynienia z anihilacją wirtualnego mezonu K^+ z mezonem K^- : $K^+K^- \rightarrow X^0$, a w drugim przypadku z anihilacją wirtualnego antyprotonu z protonem: $\bar{p}p \rightarrow X^0$. Należy tu zwrócić uwagę na to, że właśnie ze względu na wirtualność jednej z oddziaływujących cząstek omawiane procesy pozwalają na badanie anihilacji poniżej progu, tzn. poniżej $\sqrt{s} = 2m_K$ dla pierwszego procesu i poniżej $\sqrt{s} = 2m_p$ dla drugiego procesu. Obszar ten jest niedostępny w zwykłych eksperymentach, gdzie minimalna energia w układzie dwóch anihilujących cząstek jest oczywiście równa sumie ich mas spoczynkowych.

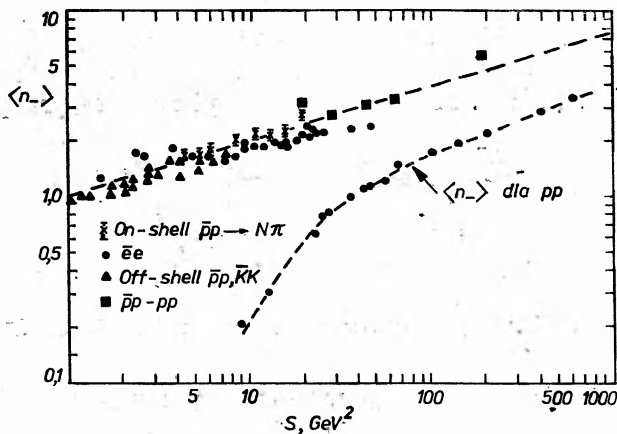
Procesy (4.1) i (4.2) były badane w dwóch eksperymentach w wodorowych komorach pecherzykowych przy pędzie wiązki mezonów K^+ 4.25 GeV/c [12] i 8.25 GeV/c [13]. Rysunki 13 i 14 pokazują wyniki dotyczące krotności pro-



Rys. 13. Średnie krotności mezonów π produkowanych w anihilacjach $\bar{K}K$ i $\bar{p}p$ (z pracy [12])

dukowanych cząstek. Z rys. 13 widać, że średnie krotności anihilacji poniżej progu można dobrze ekstrapolować do wartości przy progu (anihilacja w spoczynku), chociaż nachylenie zależności $\bar{n}(s)$ ulega chyba w tym punkcie pewnej zmianie. Średnie krotności w obu badanych typach anihilacji wirtualnych,

$\bar{p}p$ i $\bar{K}K$, są jednakowe. Rys. 14 pokazuje porównanie z innymi procesami anihilacyjnymi w szerszym zakresie energii. Zależności średniej krotności produkowanych cząstek od energii w wirtualnych anihilacjach $\bar{K}K$ i $\bar{p}p$, w rzeczywistych anihilacjach $\bar{p}p$, a także w procesach $e^+e^- \rightarrow n\pi$ są bardzo podobne i silnie odbiegają od zależności obserwowanej dla zderzeń pp . Podobny wnio-



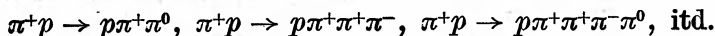
Rys. 14. Porównanie średnich krotności cząstek ujemnych produkowanych w różnych procesach (z pracy [14])

sek dotyczy kształtu rozkładów krotności. Jak to pokazuje rys. 15, parametr f_2 charakteryzujący szerokość rozkładu krotności, przyjmuje dla wirtualnych anihilacji w procesach (4.1) i (4.2) wartości ujemne charakterystyczne również dla rzeczywistych procesów anihilacyjnych.

Próba zbadania anihilacji wirtualnych antyneutronów z protonami, $\bar{n}p \rightarrow$ piony, w procesie

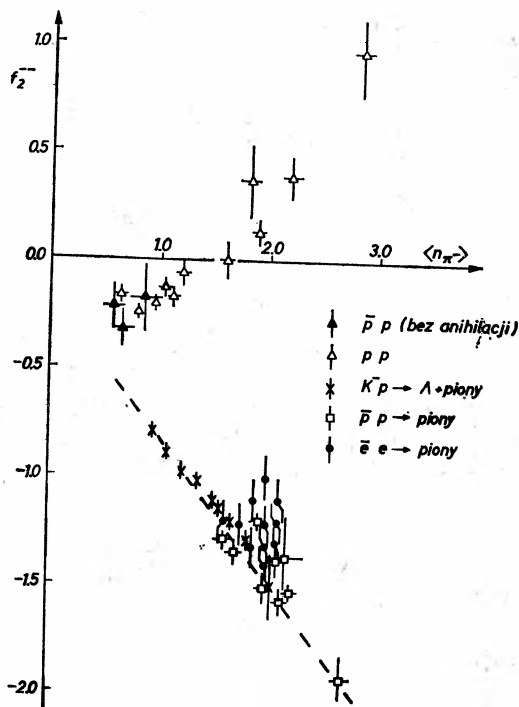


została podjęta przez autora niniejszego artykułu w pracy [15] wykonanej w ramach tzw. Współpracy Wysokich Energii (Aachen-Berlin-Bonn-CERN-Kraków-Heidelberg-Warszawa). Dane doświadczalne to ok. 90 000 oddziaływań mezonów π^+ o pędzie 8 GeV/c i ok. 400 000 oddziaływań mezonów π^+ o pędzie 16 GeV/c, zarejestrowanych w wodorowych komorach pęcherzykowych w CERN-ie. Ze względu na to, że identyfikacja protonu lecącego ku przodowi w układzie środka masy, a więc szybkiego w układzie laboratoryjnym, jest na ogół niepewna, wybrano jedynie tzw. przypadki fitowane, tj. odpowiadające kanałom reakcji z produkcją co najwyżej jednego mezonu π^0 . Są to, w kolejności wzrastającej liczby wyprodukowanych pionów, następujące kanały:



W kanałach tych nawet szybkie protony są dobrze identyfikowane poprzez ograniczenia kinematyczne wynikające z zasad zachowania pędu i energii.

Przypadków tego typu było w eksperymencie π^+p przy 8 GeV/c około 16000, a w eksperymencie π^+p przy 16 GeV/c około 106000. Tak wybrane przypadki przyjęto za reprezentatywne dla określonej całkowitej krotności pionów, po-

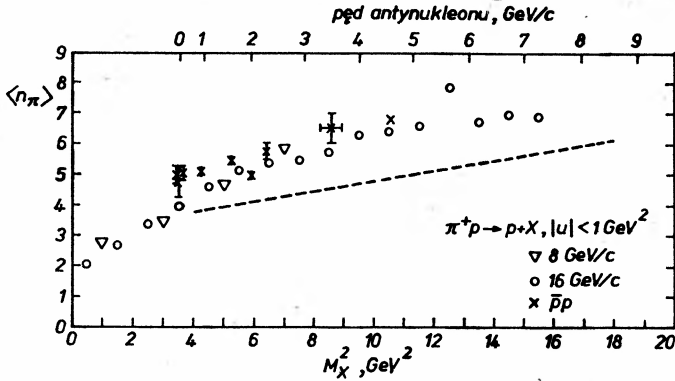


Rys. 15. Parametr f_2 charakteryzujący kształt rozkładu krotności w funkcji średniej krotności ujemnych mezonów (z pracy [14])

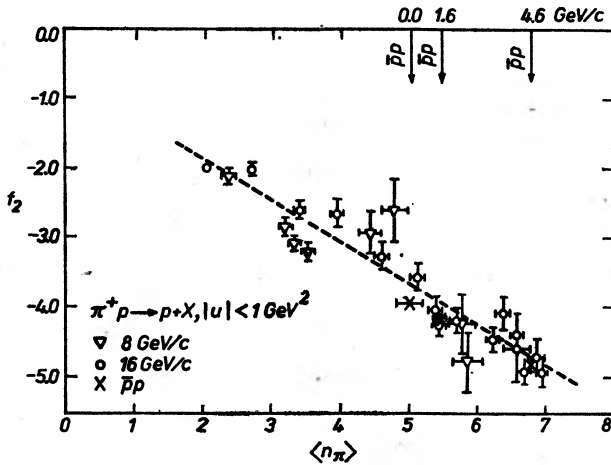
nieważ rozkład kątowy nukleonu nie powinien zależeć od konfiguracji ładunkowej wyprodukowanych pionów. Założono następnie, że w ramach danej całkowitej krotności prawdopodobieństwa różnych konfiguracji ładunkowych określone są przez tzw. wagi izospinowe, wynikające z modelu statystycznego [16]. Założenie to pozwala na otrzymanie informacji typu inkluzywnego, a w szczególności pełnego rozkładu krotności, na podstawie wybranych reprezentatywnych kanałów. Dla lepszej selekcji przypadków z wymianą barionową wybrano ostatecznie przypadki z protonem emitowanym „silnie ku przodowi” ($|u| < 1 \text{ GeV}^2$). Charakterystyki tej próbki porównywano z przypadkami z protonem emitowanym „silnie ku tyłowi” ($|t| < 1 \text{ GeV}^2$) reprezentującymi procesy z wymianą mezonową.

Otrzymana zależność średniej krotności pionów pochodzących z wirtualnych anihilacji przedstawiona jest na rys. 16. Linia przerywana przedstawia analogiczną zależność dla próbki z wymianą mezonową. Widać, że średnia krotność w wirtualnych anihilacjach jest wyraźnie wyższa niż w oddziaływaniach nie-anihilacyjnych i zgodna z krotnością obserwowaną w anihilacjach

rzeczywistych. Rozkład krotności wykazuje również charakterystyczną dla anihilacji małą szerokość (ujemne i malejące ze wzrostem krotności wartości parametru f_2) — rys. 17.



Rys. 16. Średnia krotność mezonów π produkowanych w procesach wirtualnej anihilacji $\bar{n}p$ w funkcji masy niezmienniczej układu pionów (z pracy [15]). Linia przerywana pokazuje podobną zależność dla procesów nie-anihilacyjnych



Rys. 17. Parametr f_2 w funkcji średniej krotności pionów dla procesu wirtualnej anihilacji $\bar{n}p$ (z pracy [15])

5. Podsumowanie

Dysponujemy już dosyć dużą ilością informacji doświadczalnych odnośnie oddziaływania cząstek wirtualnych z cząstkami rzeczywistymi, zarówno w zakresie rozproszenia elastycznego, jak też i oddziaływań nieelastycznych i anihilacji. Z danych tych wynika, że szereg charakterystyk tych oddziaływań nie różni się od odpowiednich charakterystyk oddziaływań cząstek rzeczywistych. Wniosek ten dotyczy w szczególności średnich krotności, kształtu rozkładu krotności i ich zależności od energii.

Poza tym procesy z udziałem cząstek wirtualnych pozwalają na badanie oddziaływań w obszarach kinematycznych niedostępnych w „zwykłych” eksperymentach (np. oddziaływanie antynukleon-nukleon poniżej progu anihilacji).

Literatura

- [1] C. Goebel, *Phys. Rev. Lett.* **1**, 337 (1958).
- [2] N. D. Pewitt, Thesis, Florida State University 1971.
- [3] G. F. Chew, F. E. Low, *Phys. Rev.* **113**, 1640 (1959).
- [4] D. D. Carmony, R. T. Van de Walle, *Phys. Rev.* **127**, 959 (1962).
- [5] J. P. Baton, G. Laurens, J. Reignier, *Nucl. Phys.* **B3**, 349 (1967).
- [6] G. Grayer et al., *Nucl. Phys.* **B75**, 189 (1975).
- [7] P. Estabrooks, A. D. Martin, *Nucl. Phys.* **B95**, 322 (1975).
- [8] D. Linglin, Thèse, Orsay 1969.
- [9] J. Erwin et al., *Phys. Rev.* **D16**, 553 (1977).
- [10] F. C. Winkelmann, *Phys. Lett.* **48B**, 273 (1974).
- [11] E. Albin, P. Capiluppi, C. Giacomelli, A. M. Rossi, *Nuovo Cimento* **32A**, 101 (1976).
- [12] Amsterdam — CERN — Nijmegen Collaboration, R. Blokzijl et al., *Nucl. Phys.* **B89**, 401 (1975).
- [13] Athens-Democritus-Liverpool-Vienna Collaboration, J. P. Fry et al., *Nucl. Phys.* **B95**, 365 (1975).
- [14] H. Muirhead, Materiały symposium na temat oddziaływań $\bar{N}N$, Loma Koli 1975, str. 300.
- [15] Aachen-Berlin-Bonn-CERN-Cracow-Heidelberg-Warsaw Collaboration, J. Bartke et al., *Nucl. Phys.* **B120**, 1 (1977).
- [16] F. Cerulus, *Nuovo Cimento Suppl.* **15**, 402 (1960); J. Bartke, O. Czyżewski, *Nucl. Phys.* **B5**, 582 (1968); J. Bartke, Raport IFJ No. 719/PH (1970).

W S P O M N I E N I A — R O C Z N I C E

Ponieważ drukujemy w *Postęпах* bardzo systematycznie artykuły o charakterze wspomnieniowym i rocznicowym, wydaje się naturalne wydzielenie ich w odrębnym dziale: *Wspomnienia — Rocznice*. Wprowadzamy właśnie ten dział, poczynając od obecnego zeszytu.

REDAKCJA

Marian Mięśowicz

Instytut Fizyki i Techniki Jądrowej AGH
Kraków

Wspomnienie o I Międzynarodowej Konferencji Promieni Kosmicznych w Krakowie (1947)*

[Reminiscences on 1st International Cosmic Ray Conference in Cracow 1947

Pierwsza z serii Międzynarodowych Konferencji Promieni Kosmicznych organizowanych przez Komisję Promieni Kosmicznych IUPAP odbywała się w Krakowie prawie 30 lat temu. Uważam to za duży zaszczyt, że organizatorzy obecnej XV Konferencji zaprosili mnie do podzielenia się wspomnieniami z I Konferencji w tę rocznicę.

Słynny odkrywca efektów geomagnetycznych, profesor J. Clay z Amsterdamu był w owym czasie przewodniczącym Komisji Promieni Kosmicznych, a Pierre Auger był jej sekretarzem. W konferencji wziął także udział profesor P. Fleury z Paryża, sekretarz generalny Unii Fizyki Czystej i Stosowanej.

* Referat wygłoszony dn. 14. VIII. 1977 r. na uroczystej sesji otwarcia XV Międzynarodowej Konferencji Promieni Kosmicznych zorganizowanej przez Międzynarodową Unię Fizyki Czystej i Stosowanej oraz Bułgarską Akademię Nauk w Plovdiv (Bulgaria) w 30-lecie konferencji krakowskiej.

Można powiedzieć, że krakowska konferencja miała miejsce w historycznym okresie czasu, kiedy w fizyce promieni kosmicznych zaczął się wyodrębniać nowy fundamentalny dział nauki, tj. fizyka cząstek elementarnych w jej znaczeniu dzisiejszym.



C. F. Powell wygłaszający swój historyczny referat. Fot. A. Hryniewicz

Uczestnicy tej konferencji nigdy nie zapomną historycznego wystąpienia, w którym Cecil Frank Powell wygłaszał swój referat zatytułowany w programie: *Evidence for the Existence of Mesons of Different Mass*. To było właśnie jedno z pierwszych doniesień o odkryciu mezonów π . Jest oczywiście zbędnym mówić do moich dzisiejszych słuchaczy cokolwiek więcej o znaczeniu tego odkrycia.

Ale także prof. Leprince-Ringuet w swoim wykładzie *Określenie i pomiary mas mezonów* przedstawił przykłady cząstek o masach około 1000 mas elektronowych. A więc także mezony K były prezentowane na krakowskiej konferencji.

Około 20 znakomitych fizyków z Anglii, Brazylii, Czechosłowacji, Holandii, Francji, Irlandii, Stanów Zjednoczonych, Węgier i Włoch przybyło do Krakowa. Więcej niż 50, przeważnie bardzo młodych, fizyków polskich brało udział w konferencji.

A tutaj jest lista fizyków, którzy przedstawili swe referaty na konferencji i ich tytuły.

I Międzynarodowa Konferencja IUPAP Promieni Kosmicznych Kraków, 6—11 października, 1947

Referaty

1. J. Clay, *Natężenie i widmo energii cząstek.*
2. B. Gross, *Teoria pomiarów absorpcji.*
3. C. F. Powell, *Ewidencja istnienia mezonów o różnych masach.*
4. W. Heitler, *O produkcji składowych promieniowania kosmicznego.*
5. J. A. Wheeler, *Niektóre konsekwencje elektromagnetycznego oddziaływania mezonów z jądrami.*
6. L. Leprince-Ringuet, *Określenie i pomiary mas mezonów.*
7. R. Maze i A. Fréon, *Badania wielkich pęków i pęków lokalnych w powietrzu do wysokości 7300 m.*
8. L. Janossy, *O naturze pęków przenikliwych.*
9. J. A. Montgomery, *Uwaga o analitycznych relacjach między gęstościami twardej i miękkiej składowej w pękach Augera.*
10. P. Blackett, *Fotografie pęków przenikliwych.*
11. A. Duperier, *Efekt temperatury a dzienne i roczne wariacje promieni kosmicznych.*
12. A. Duperrier, *Efekt księżycowy promieni kosmicznych.*
13. J. Clay, *Wybuchy a pęki przenikliwe.*
14. G. Bernardini, *O spinie mezonów.*
15. G. Bernardini, *O związku średniego czasu życia z masą mezonów.*
16. J. Barnothy i J. Ferro, *Neutralne produkty rozpadu mezonów na dużych głębokościach.*

Poza oficjalnym programem konferencji, P. Blackett wygłosił odczyt pt. *Pole magnetyczne ciał obracających się.*

Większość wymienionych wyżej fizyków to wielcy pionierzy badań nad promieniami kosmicznymi. Przed tym audytorium nie trzeba ich przedstawiać. Ale warto wspomnieć o kilku z nich. Mówiliśmy już o osobie Augera, Claya, Powella i Leprince-Ringueta. Lecz widzimy tam też nazwisko Heitlera (który przyjechał z Dublina), bardzo znanego ze swych słynnych prac dotyczących wiązań chemicznych i sławnego też ze swych prac nad oddziaływaniami elektromagnetycznymi oraz nad teorią kaskad. Wheeler był już wtedy szeroko znany ze swych prac wspólnych z Nielsem Bohrem nad teorią rozszczepienia, opartą na kropłowym modelu jądra. L. Janossy był dobrze znany ze swych pionierskich prac nad pękami przenikliwymi. Jednym z najbardziej poważnych uczestników konferencji był P. M. S. Blackett, dobrze znany ze swych licznych prac wykonanych komorą Wilsona, po raz pierwszy sterowaną licznikami.

Z listy tych referatów widać jak ważne problemy były tam poruszane. Głównie dotyczą one zagadnień, które w obecnej konferencji będą zebrane w sekcji „Oddziaływania Wysokich Energii”.

Szereg imprez o charakterze turystyczno-towarzyskim przyczyniło się do wytworzenia niezwykle przyjaznej atmosfery w czasie tej konferencji. Bardzo oryginalne było połączenie imprezy turystycznej z sesją naukową. Mam na myśli tutaj wycieczkę do starej, historycznej kopalni soli w Wieliczce. Tam, na głębokości ponad 100 m pod ziemią w wielkiej grocie, odbyła się jedna sesja konferencji, na której profesor i pani Barnothy z Budapesztu przedstawili swe wyniki na temat badań podziemnych promieni kosmicznych. P. P. Barnothy byli znanymi wówczas ekspertami w tej dziedzinie*.

Zasadnicze prace konferencji miały miejsce w budynkach starego Uniwersytetu Jagiellońskiego (Uniwersytet Jagielloński ma w tej chwili 614 lat). Uniwersytet ten był gospodarzem konferencji. Przewodniczącym lokalnego komitetu organizacyjnego był Jan Weysenhoff, profesor fizyki teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Był on członkiem IUPAP i idea urządzenia tej konferencji w Krakowie pochodziła od niego. Ja byłem sekretarzem lokalnego komitetu.

Nasz Uniwersytet jest dumny nie tylko ze swego wieku, ale także z tego, że Mikołaj Kopernik był jego studentem. Okazało się, że większość naszych znakomych gości nie wiedziała o tym. Zostało to odkryte w czasie zorganizowanej wycieczki po starych budynkach Uniwersytetu. Wtedy wśród naszych gości powstała spontanicznie idea urządzenia uroczystości na cześć Kopernika. Uroczystość ta odbyła się. Głównym jej inicjatorem był J. A. Wheeler. On też wygłosił piękne przemówienie o filozofii astronomii na bazie odkryć Kopernika. W czasie uroczystości przed pomnikiem Kopernika Blackett i Auger złożyli u stóp pomnika piękny wieniec kwiatów.

Komisja Promieni Kosmicznych odbyła w czasie konferencji kilka oficjalnych zebrań. Jedno z tych zebrań, o którym warto wspomnieć, poświęcone było dyskusji nad nazwami cząstek elementarnych. Oto uchwały tego zebra-
nia:

Uchwały dotyczące nazw cząstek elementarnych

Komisja Promieni Kosmicznych Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej na spotkaniu w Krakowie (9 paźdz. 1947):

1. Uznaje potrzebę uzgodnienia jednolitych nazw cząstek elementarnych.
2. Uznaje, że nie jest wskazane rekomendowanie jakiejś nazwy dopóki szersze użycie jej nie usprawiedliwia takiej rekomendacji.
3. Stwierdza, że termin nukleon znalazł już szerokie uznanie jako wspólna nazwa neutronu i protonu.
4. Rekomenduje zatem uznanie oficjalne terminu nukleon dla tych celów.
5. Zgłasza, że cząstki naładowane o masie pośredniej między masą elektronu a masą protonu

* Prace te były punktem wyjścia polskich badań nad promieniami kosmicznymi na dużych głębokościach.

- a) są ogólnie nazywane mezonami w Argentynie, Brazylii, Danii, Meksyku, Irlandii, Anglii, Holandii, Włoszech, Norwegii, Szwajcarii i ZSRR;
 - b) są nazywane mezotonami względnie mezonami przez porównywalne liczby badaczy w Stanach Zjednoczonych;
 - c) są we Francji czasem nazywane mesotronami, lecz częściej mezonami.
6. W chwili obecnej zatem nie rekomenduje nazwy dla cząstek o masie pośredniej, dopóki nie nastąpi większa zgodność w tej sprawie, lecz
 7. proponuje, zgodnie z jednolitym życzeniem uczestników tej konferencji, by we wszystkich artykułach krakowskiej konferencji używać terminu mezon.
 8. Uznaje ogólne używanie terminu elektron dla oznaczenia zarówno dodatnich, jak i ujemnych cząstek o masie elektronu.
 9. Jest z uznaniem dla terminów pozyton i negaton dla odróżnienia między dwoma znakami ładunku elektronu.
 10. Zaleca sekretarzowi tej konferencji zakomunikować te rezolucje wydawcom *Nature*, *The Physical Review*, *Le Journal de Physique* i Sekretarzowi Akademii Nauk ZSRR.

Podsumowując, można stwierdzić, że I Międzynarodowa Konferencja Promieni Kosmicznych w Krakowie zebrała najznakomitszych ekspertów w aktualnych wówczas dziedzinach promieni kosmicznych. Najważniejszymi i najciekawszymi były referaty, które zapoczątkowały to, co dzisiaj nazywamy fizyką cząstek elementarnych. Ale wówczas liczba znanych cząstek elementarnych była bardzo mała. Tylko trzy rodzaje hadronów, tj. protony, neutrony i mezon π , były znane i były już wówczas uważane za odpowiedzialne za silne oddziaływania. Ale w międzyczasie liczba hadronów wzrastała coraz bardziej, tak że trudno było je ciągle uważać za elementarne.

A może teraz znajdujemy się w podobnej sytuacji jak w czasie krakowskiej konferencji. Może właśnie teraz rozpoczynamy nowy okres w fizyce cząstek, gdzie wszystkie hadrony są rzeczywiście opisane przez niewielką liczbę struktur elementarnych. Mam tutaj na myśli oczywiście kwarki — naturalnie, jeżeli ich liczba nie będzie wzrastała zbyt silnie.

Na zakończenie, chciałbym przypomnieć znakomitą atmosferę i osobiste kontakty, które rozpoczęły się 30 lat temu w Krakowie. Cieszę się, że tę atmosferę, która stała się tradycyjną na kolejnych konferencjach promieni kosmicznych odczuwamy i teraz w Płowdiv, a tradycje przyjacielskich kontaktów całej wspólnoty fizyków promieni kosmicznych odczuwamy tak mocno dzięki naszym gościnnym Gospodarzom.

Józef Szpilecki

Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej
Gliwice

W 15 rocznicę śmierci Zygmunta Klemensiewicza*

On the 15th Anniversary of Zygmunt Klemensiewicz's Death

Abstract: A biography of Professor Z. Klemensiewicz, his scientific, pedagogic and other activities are sketched.

W bieżącym roku upływa 15 lat od śmierci prof. dra Zygmunta Aleksandra Klemensiewicza; upływa także 70 lat od czasu jego doktoratu i jednocześnie od czasu skonstruowania przez niego elektrody szklanej.

Wspomnienie niniejsze nawiązuje do poprzednich publikacji, dotyczących Profesora, w których szczegółowo zostały omówione jego prace [1—5]. Ograniczę je do najważniejszych faktów i dat. Na wstępie kilka danych biograficznych.

Prof. dr Z. A. Klemensiewicz, badacz o zainteresowaniach fizykalnych (w szczególności w dziedzinie promieniotwórczości i fizyki statystycznej) oraz elektrochemicznych, urodził się w Krakowie dn. 24. 4. 1886 r. Zmarł w Gliwicach 25. 3. 1963 r.

Karierę naukową rozpoczął pracą doktorską (wykonaną przed ukończeniem studiów) pt. „*Chlorek antymonawy jako roztwór jonizujący*” obronioną w Uniwersytecie Lwowskim w roku 1908 z oceną „*suma cum laude*” (dnia 6. 6. 1959 r. na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Śląskiej odbyło się odnowienie doktoratu, w 50 rocznicę promocji doktorskiej). Habilitował się w roku 1912 w Uniwersytecie Lwowskim na podstawie pracy *O powstawaniu jonów dodatnich na ogrzanych metalach*.

W latach 1908/9, wysłany na stypendium do Karlsruhe, do prof. F. Habera, skonstruował w rekordowo krótkim czasie elektrodę szklaną, do której teorię opracował prof. Haber, a Klemensiewicz opracował dokładną technologię

* Por. także artykuł Z. Bodnara, *Postępy Fizyki* 15, 1 (1964) (Przyp. Red.).

i szczegółowo przebadał doświadczalnie jej właściwości. Elektroda równoważna była w działaniu elektrodzie wodorowej, a pod pewnymi względami — lepsza. Już 28. 1. 1909 r. praca była referowana w Towarzystwie Chemicznym w Karlsruhe i w tymże roku została opublikowana wspólnie z profesorem Haberem z wyraźnym zaznaczeniem, że teorię opracował Haber [6]. Drugi staż naukowy odbył Profesor w latach 1913/14 u Marii Skłodowskiej-Curie w Instytucie Radowym w Sorbonie i to zapoczątkowało zainteresowanie dziedziną promieniotwórczości. Następnie pracował w Instytucie Pasteura w Paryżu u prof. Danyusza.

Jeśli chodzi o działalność naukowo-dydaktyczną, to mianowany w roku 1912 docentem prywatnym, prowadził wykłady z chemii fizycznej w Uniwersytecie Lwowskim. Od roku 1919 pracuje w Politechnice Lwowskiej. W roku 1919 zostaje mianowany zastępcą profesora, w roku 1920 profesorem nadzwyczajnym, a w roku 1923 profesorem zwyczajnym. Prowadził wykłady z fizyki na Wydziałach: Rolniczo-Leśnym, Komunikacyjnym, Architektury, Ogólnym i od 1937 na Wydziale Chemicznym i Mechanicznym. Był trzykrotnie dziekanem, delegatem do senatu, przewodniczącym Komisji Egzaminu Dyplomowego. Brał udział (1919) w organizacji Wydziału Rolniczo-Leśnego Politechniki Lwowskiej i (1922) Wydziału Ogólnego.

W czasie wojny 1939 roku przedostaje się ze Związku Radzieckiego przez Bliski Wschód do Londynu. Tu organizuje Politechnikę Polską, której był profesorem zwyczajnym i członkiem Rady Akademickiej Szkół Technicznych. Od roku 1947 był kierownikiem (z tytułem dziekana), a po reorganizacji i przemianowaniu na Polish University College, pracował w niej aż do zamknięcia uczelni w roku 1951. W roku 1945 był jednym z założycieli Międzynarodowej Unii Profesorów Szkół Akademickich i przez kilka lat był delegatem do jej władz.

Powrócił do kraju dnia 22.4. 1956 r. i tu zorganizował na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Śląskiej Katedrę Fizyki Jądrowej, przemianowaną następnie na Katedrę Fizyki B, oraz wspólnie z prof. drem Stanisławem Ochęduszką — Specjalizację Energetyki Jądrowej. W roku 1960 przeszedł na emeryturę.

Z 49 publikacji Profesora, 4 poświęcone są jego pracy doktorskiej, 3 — pracy habilitacyjnej; szereg prac poświęconych jest różnym zagadnieniom fizyki, fizykochemii i w szczególności promieniotwórczości. W ostatnim okresie, w czasie tułaczki wojennej i aż do ostatnich lat pracował nad zagadnieniem uogólnienia i uzasadnienia zasady Le Chateliera. Kilka publikacji poświęcił biografiami różnych osób (Tadeusz Godlewski, Wilhelm Konrad Röntgen, Czesław Reczyński, Leonardo da Vinci, Czesław Białobrzeski). Z opracowań monograficznych należy wymienić trzy [7, 8, 9], nawiązujące do fizyki statystycznej.

Trudno nie wspomnieć o szeregu dziedzin jego zainteresowań, w których był on pionierem i entuzjastą do ostatnich dni życia. Klemensiewicz był mianowicie jednym z czołowych taterników i jednym z pionierów turystyki zimowej i narciarstwa górskiego w Polsce, a głównie w Karpatach Wschodnich. W Ta-

trach dokonał wielu pierwszych przejść zarówno letnich, jak i zimowych. Należał także do najaktywniejszych alpinistów polskich (różne grupy Alp, góry Iranu, góry brytyjskie).

Przez wiele lat należał do czołowych działaczy w polskim taternictwie, turystyce i narciarstwie. Od 1906 r. był w zarządzie Sekcji Turystycznej Towarzystwa Tatrzańskiego, a w latach 1909—11 — jej prezesem. Należał do komitetu redakcyjnego *Taternika* od chwili jego założenia (1907), a w latach 1911—12 był jego redaktorem. Był także współzałożycielem Karpackiego Towarzystwa Narciarskiego i jego wieloletnim prezesem (1919—39) oraz długoletnim wiceprezesem Polskiego Związku Narciarskiego.

Wydął pierwszy polski podręcznik taternictwa pt. *Zasady taternictwa* (1913) oraz przewodniki po Karpatach Wschodnich. Zaliczał się również do najlepszych fotografów tatrzańskich i w ogóle górskich. W wielu publikacjach polskich i zagranicznych, a także na pocztówkach, ukazały się reprodukcje jego zdjęć. Profesor był odznaczony Krzyżem Oficerskim Orderu Polski Odrodzonej.

Literatura

- [1] J. Szpilecki, *Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, Energetyka* 11, 5 (1963).
- [2] J. Szpilecki, M. Konopacki, *Wiad. Chem.* 18, 137 (1964).
- [3] S. Brzozowski, J. Szpilecki, *Polski Słownik Bibliograficzny*, Ossolineum, Warszawa 1967, str. 336.
- [4] J. Szpilecki, *Wiad. Chem.* 20, 519 (1966).
- [5] J. Szpilecki, *Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, Energetyka* 48, 97 (1973).
- [6] F. Haber, Z. Klemensiewicz, *Z. Phys. Chem.* LXVII, 385.
- [7] Z. Klemensiewicz, *Kritische Grössen*, rozdz. w *Stählers Handbuch d. Arbeitsmethoden in d. anorg. Chemie*, Bd III, Berlin 1912, str. 193.
- [8] Z. Klemensiewicz, *Atomistyka materii, Fizyka i Chemia w Szkole*, t. III, Warszawa 1929, str. 15.
- [9] Z. Klemensiewicz, *W rojowisku cząsteczek*, *Bibl. fiz.* 6, Lwów 1938, str. 69.

R O Z M I O T W Y

Od pewnego czasu odczuwamy brak działu, w którym moglibyśmy zamieszczać rozmowy z fizykami i o sprawach fizyków. Dotyczyłyby one spraw zarówno ogólnych, jak i szczegółowych, interesujących Czytelników i przez nich właśnie sugerowanych do poruszenia. Na brak takiego działu zwracali nam także uwagę sami Czytelnicy.

Nowy dział — Rozmowy — rozpoczynamy rozmową z prof. J. A. Wheelerem, przeprowadzoną w Warszawie w 1976 r.

Bezpośredni wdzięczni Czytelnikom za dalsze uwagi i sugestie.

REDAKCYJA

O nauce
Z profesorem Johnem Archibaldem Wheelerem rozmawia Jiri Bičák*

The Art of Science
Professor John Archibald Wheeler Is Interviewed by Jiri Bičák

Abstract: This is an authorized interview given by Professor Wheeler for *Ceskoslovenský časopis pro fyziku A* during the conference on the methods of differential geometry in physics, held in Warsaw, June 1976.

W 1971 r. ukazała się książka *Magna bez magni* — John Archibald Wheeler, wydana „w hołdzie jednemu z czołowych pionierów fizyki jądrowej, wielkiemu nauczytelowi i myślicielowi” z okazji 60-lecia jego urodzin. Wśród autorów artykułów zamieszczonych w tej książce są R. P. Feynman, P. Jordan, L. M. Cha-fatinikow, R. Penrose, T. Regge, B. Teller, B. Wigner, J. B. Zeldowicz.

* Wywiad, opublikowany w *Ceskoslovenský časopis pro fyziku A* 28, Nr 4 (1978), został przetłumaczony za zgodą Jiriego Bičáka i Wydawcy (Nakladatelství Academia, Praha). Wywiad był przeprowadzony w Warszawie, w czerwcu 1976 r., podczas konferencji poświęconej metodom geometrii różniczkowej w fizyce i został autorzowany przez profesora Wheelera w styczniu 1977 r. Jiri Bičák pracuje w Instytucie Fizyki Matematycznej Uniwersytetu Karola w Pradze i zajmuje się ogólną teorią względności. [Translated with permission of Dr Jiri Bičák and of the Nakladatelství Academia, Praha — the publisher of the journal *Ceskoslovenský časopis pro fyziku A*]. (Przyp. Red.).

R O Z M O W Y

Od pewnego czasu odczuwamy brak działu, w którym moglibyśmy zamieszczać rozmowy z fizykami i o sprawach fizyków. Dotyczyłyby one spraw zarówno ogólnych, jak i szczegółowych, interesujących Czytelników i przez nich właśnie sugerowanych do poruszenia.

Na brak takiego działu zwracali nam także uwagę sami Czytelnicy.

Nowy dział — Rozmowy — rozpoczynamy rozmową z prof. J. A. Wheelerem, przeprowadzoną w Warszawie w 1976 r.

Będziemy wdzięczni Czytelnikom za dalsze uwagi i sugestie.

REDAKCJA

O nauce

Z profesorem Johnem Archibaldem Wheelerem rozmawia Jiří Bičák*

The Art of Science

Professor John Archibald Wheeler Is Interviewed by Jiří Bičák

Abstract: This is an authorized interview given by Professor Wheeler for *Československý časopis pro fyziku A* during the conference on the methods of differential geometry in physics, held in Warsaw, June 1976.

W 1971 r. ukazała się książka *Magia bez magii* — John Archibald Wheeler, wydana „w hołdzie jednemu z czołowych pionierów fizyki jądrowej, wielkiemu nauczycielowi i myślicielowi” z okazji 60-lecia jego urodzin. Wśród autorów artykułów zamieszczonych w tej książce są R. P. Feynman, P. Jordan, L. M. Chałatnikow, R. Penrose, T. Regge, E. Teller, E. Wigner, J. B. Zeldowicz.

* Wywiad, opublikowany w *Československý časopis pro fyziku A* 28, Nr 4 (1978), został przetłumaczony za zgodą Jiříego Bičáka i Wydawcy (Nakladatelství Academia, Praha). Wywiad był przeprowadzony w Warszawie, w czerwcu 1976 r., podczas konferencji poświęconej metodom geometrii różniczkowej w fizyce i został autoryzowany przez profesora Wheelera w styczniu 1977 r. Jiří Bičák pracuje w Instytucie Fizyki Matematycznej Uniwersytetu Karola w Pradze i zajmuje się ogólną teorią względności. [Translated with permission of Dr Jiří Bičák and of the Nakladatelství Academia, Praha — the publisher of the journal *Československý časopis pro fyziku A*]. (Przyp. Red.).

Profesor Wheeler fundamentalnymi pracami i licznymi nowymi ideami wzbogacił różne dziedziny fizyki współczesnej, w tym fizykę jądrową, fizykę cząstek elementarnych, ogólną teorię względności, astrofizykę i kosmologię. Był nauczycielem takich fizyków jak Richard Feynman, John Klauder, Charles Misner, Kip Thorne i wielu innych. Bliski kontakt z Nielsem Bohrem przed i podczas drugiej wojny światowej wywarł głęboki wpływ na jego życie. Po śmierci Alberta Einsteina w Princeton w 1955 r. profesor Wheeler stał się czołową osobistością w dziedzinie ogólnej teorii względności w Princeton i na całym świecie.

Profesor Wheeler jest członkiem licznych towarzystw naukowych (w 1966 r. był prezesem Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego), jest również laureatem wielu nagród i medali.

* *
* *

Panie Profesorze, w ciągu ostatnich dwudziestu lat zmienił Pan wyraźnie dziedzinę swoich głównych zainteresowań: mając na swym koncie wiele znaczących prac z fizyki jądrowej i pokrewnych działów zajął się Pan ogólną teorią względności i kosmologią, stworzył szkołę, rozwinął wiele nowych idei i poglądów, stał się czołową osobistością w skali światowej w zakresie ogólnej teorii względności. Czy mógłby Pan opowiedzieć, jakie były przyczyny i motywy tej zmiany zainteresowań?

Historycznie najpierw zajmowałem się próbami znalezienia prostego opisu sił między cząstkami zarówno w fizyce jądrowej, jak i w szerszym kontekście. Doprowadziło to do wspólnej z Feynmanem pracy o oddziaływaniu na odległość jako sposobie opisu sprzężenia elektromagnetycznego cząstek ze sobą. Kontynuując ten problem, zacząłem pracować nad znalezieniem równoważnego opisu w teorii grawitacji. W elektromagnetyzmie oddziaływanie na odległość oznacza, że dwie cząstki są sprzężone ze sobą bezpośrednio i nie ma potrzeby wprowadzać pola sił między nimi. W grawitacji oznaczałoby to możliwość opisu sprzężenia cząstek ze sobą bez wprowadzania czasu i przestrzeni między nimi. Jeśli elektromagnetyczne oddziaływanie na odległość usuwa pole spomiędzy cząstek, to grawitacyjne oddziaływanie na odległość winno usunąć spomiędzy nich czas i przestrzeń.

Zacząłem analizować to zagadnienie, ale wtedy moje życie uległo dużej zmianie w związku z tym, że zaangażowałem się w problemy obronności kraju. Gdy po trzech latach powróciłem do grawitacji, zacząłem wykładać teorię względności i zdałem sobie sprawę z wielu ważnych problemów teorii względności, zwłaszcza zaś zagadnienia zapadania-grawitacyjnego. Zainteresowałem się zagadnieniem znalezienia prostego modelu zapadania, w którym można by się uwolnić od wszelkich szczegółowych właściwości materii, jej równania stanu i gęstości — znalezienia modelu posługującego się bardzo prostym językiem. Wydawało mi się, że najprostszym do opisu przykładem zapadania

grawitacyjnego byłaby gwiazda zbudowana całkowicie z fotonów — całe przyciąganie grawitacyjne byłoby spowodowane tym, co dobrze rozumiemy. Doprowadziło to do idei „geonu”, obiektu składającego się całkowicie z promieniowania, ale z zewnątrz wyglądającego jak pewna koncentracja masy. Od tego okresu w 1953 r., gdy zacząłem po raz pierwszy uczyć ogólnej teorii względności, pracowałem oczywiście nad wieloma problemami, ale zawsze w centrum mojej uwagi znajdowało się zagadnienie zapadania grawitacyjnego, gdyż ono właśnie po raz pierwszy uzmysłowiło mi, że moje zainteresowania zwracają się ku nowej dziedzinie.

Może powstać pytanie, dlaczego warto zajmować się tą nową dziedziną. Przypominam sobie powrót samolotem z pierwszej próby z bombą wodorową na atolu Eniwetok na Oceanie Spokojnym. Przyleciałem wtedy do Honolulu, gdzie pozostałem kilka godzin, i w tym czasie nadeszła fala tsunami — nie miała ona nic wspólnego z bombą wodorową, lecz związana była z wielkim trzęsieniem ziemi na Kamczatce. Uświadomiłem sobie wtedy, jak małe są w tej dziedzinie możliwości człowieka. Nawet największy wybuch, jak kiedykolwiek został przeprowadzony przez Stany Zjednoczone i do którego prace projektowe były wykonane przez moją grupę w Princeton, współpracującą z Los Alamos, miał tysiąc razy mniejszą energię niż energia huraganu czy trzęsienia ziemi. I wtedy nie mogłem powstrzymać się od myślenia o znacznie większym Wielkim Wybuchu i o rozszerzaniu się Wszechświata; gdy się leci ponad niezmiernymi połaciami Oceanu Spokojnego, między niebem a wodą, człowiek czuje, że znajduje się gdzieś w przestrzeni między gwiazdami, tak jakby we Wszechświecie, i uświadamia sobie, jak wielkie tajemnice go otaczają. Zadaje sobie pytanie, jak mógłby dotrzeć do sedna tych tajemnic Wszechświata. Uważałem i nadal uważam, że zapadanie grawitacyjne stanowi najbardziej centralne miejsce do zgłębienia tych tajemnic.

Przypominam sobie, że Kip Thorne w swym artykule w „Magii bez magii” wspomina ten okres w 1962 r., gdy jako początkujący doktorant w Princeton wszedł po raz pierwszy do Pana pokoju, a Pan zaczął natychmiast omawiać liczne nierozwiązane aspekty zapadania grawitacyjnego. Napisał on: „John Wheeler sam i z uporem maniaka (mówiąc nieco niedelikatnie o tym, co robił tak wspaniale) pracował nad zapadaniem grawitacyjnym zanim znaleziono kwazary, pulsary, twierdzenia o osobliwości...”. Obecnie wiemy dobrze wszyscy, jak w ostatnich latach potoczyły się losy zagadnienia zapadania grawitacyjnego. Jaka jest dzisiaj Pana opinia w kierunkach przyszłych badań, jakiego rodzaju metody mogą mieć znaczenie przy rozwiązywaniu problemów zapadania grawitacyjnego? W szczególności, czy spodziewa się Pan, że podobnie jak we współczesnej fizyce jądrowej będą tu w najbliższej przyszłości dominować wyrafinowane metody numeryczne?

O problemie zapadania grawitacyjnego mamy dziś oczywiście ogromnie dużo informacji i również Pan odegrał czołową rolę w dyskusji zagadnienia pola wokół zapadniętego ciała. Mamy obecnie także piękne twierdzenia o tym, jak standardowe są warunki na zewnątrz zapadniętego ciała. Ale wydaje

mi się, że te wszystkie niejednorodności, zaburzenia, przepływy, turbulencje, całe pole magnetyczne i entropia, które pojawiają się w polu widzenia i skrywają się poza nim przy zapadaniu grawitacyjnym, pozostawiając piękne standardowe warunki na zewnątrz, muszą się w końcu ujawnić. Proces musi być nadzwyczaj interesujący, pełen gwałtownych zaburzeń i turbulencji. Mocno wierzę, że potrafimy znaleźć metody i znajdziemy je, musimy je znaleźć, aby zobaczyć, co tam się dzieje — czy będą to metody numeryczne, czy też będą korzystały z jakościowej teorii równań różniczkowych, czy będą mieszaniną obu, tylko przyszłość może pokazać. Sądzę, że głównym powodem zainteresowania tym zagadnieniem jest dążenie do zbadania, jaka tam jest fizyka.

Jeśli powiemy, że czarna dziura ma tę cudowną właściwość, że dostarcza nam przykładu zapadania grawitacyjnego bez potrzeby cofania się do Wielkiego Wybuchu na początku Wszechświata czy czekania na Wielki Stop na jego końcu, to każdy z nas odczuje pewne emocje, jakie daje zajmowanie się czarnymi dziurami.

Wspomniał Pan Wielki Stop na końcu ewolucji Wszechświata. Powszechnie wiadomo, że jest Pan wielkim zwolennikiem idei zamkniętego Wszechświata, według której Wszechświat skurczy się znów do osobliwości, w przeciwieństwie do idei otwartego Wszechświata, gdy Wszechświat rozszerza się stale. Jakie są powody, że Pan wierzy w zamknięty model Wszechświata?

Ten wspaniały i nierozstrzygnięty problem Wszechświata otwartego w porównaniu z zamkniętym jest dzisiaj nadzwyczaj żywy i można sądzić, że natężenie dyskusji i analiz tej sprawy wzrosło w następnym roku czy w następnych kilku latach. Dawno temu Einstein doszedł do ogólnej teorii względności w pewnym stopniu także na podstawie idei Ernsta Macha, że bezwładność cząstki w określonym miejscu i czasie wynika z jej oddziaływania z pozostałymi cząstkami znajdującymi się gdziekolwiek we Wszechświecie. W swej znanej książce *Istota teorii względności*, wydanej po latach, mówi o powodach, dla których nadal wierzy w zamknięty Wszechświat. Zamkniętość oznacza bowiem skończoną liczbę cząstek we Wszechświecie oddziałujących z daną cząstką.

Obecnie oczywiście jest inny powód przemawiający na korzyść Wszechświata zamkniętego a nie otwartego: nie ma naturalnego sposobu zdefiniowania warunków brzegowych dla otwartego Wszechświata. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że najnaturalniejszym warunkiem brzegowym dla takiego Wszechświata jest asymptotyczna płaskość. Jednak we Wszechświecie, który staje się asymptotycznie płaski, nie ma możliwości zdefiniowania na podstawie współczesnej teorii kwantowej, co oznacza ta płaskość. Metryka w rzeczywistości oscyluje i fluktuuje wszędzie. Bez względu na jak dużą przesuniemy się odległość, nigdy nie dotrzemy do odległości wystarczających, aby przestrzeń była płaska. Dlatego „asymptotyczna płaskość” jest niemożliwym fizycznie warunkiem brzegowym. Nie zaproponowano dotąd dla otwartego Wszechświata innego warunku brzegowego, który nie prowadziłby do tej samej trudności. Zamkniętość jest jedynym znanym warunkiem brzegowym,

który jest równocześnie dobrze zdefiniowany matematycznie i rozsądny fizycznie.

Nadal musimy jednak zdawać sobie sprawę, że Wszechświat nie jest czymś, czego możemy być pewni przy tworzeniu teorii. Nadal musimy dopuszczać możliwość, że pewnego dnia pojawią się dowody zmuszające nas do uważania Wszechświata za otwarty. W tym wypadku wydaje mi się, że zmuszeni będziemy zgodzić się, iż z upływem czasu w historii Wszechświata ciągle będziemy uzyskiwać informacje z coraz dalszych jego obszarów i że nowe części Wszechświata będą na stałe pojawiać się na naszym horyzoncie i przysyłać do nas sygnały.

Sądzę jednak, że warto powrócić pamięcią do 1953 r. Był to okres, gdy wydawało się, że idea Einsteina o Wszechświecie, którego rozszerzanie spowalnia się w czasie, ma duże trudności. W tym czasie informacje astrofizyczne wskazywały, że rozszerzanie się Wszechświata z czasem następuje coraz szybciej. Uczeni z wyobraźnią wysunęli najróżniejszych rodzaju teorie, jak teoria ciągłej kreacji czy teoria Wszechświata w stanie stacjonarnym. Każda z tych teorii oznaczała odrzucenie prostych idei Einsteina. Okazało się w końcu, że wszystkie są błędne i że poprawna jest oryginalna idea Einsteina, iż rozszerzanie Wszechświata spowalnia się. Trudności pojawiły się tylko dlatego, że dane astrofizyczne o odległościach do innych galaktyk były błędne o czynnik sześć.

Jest to opowieść o jednej tylko trudności z ideą zamkniętego Wszechświata — trudności, która okazała się pozorna. Jaka więc trudność dla idei zamkniętego Wszechświata występuje dziś? Przede wszystkim nie widzimy wokół nas dość materii; wydaje się, że jest jej za mało o czynnik rzędu 30, aby mogła tak zakrzywić Wszechświat, by był on zamknięty. Jednak już dziś nasi koledzy ze świata astrofizyki zaczynają nam mówić, że materii we Wszechświecie jest o wiele więcej niż zdawano sobie z tego sprawę parę lat temu. Znalaziono dowody, iż typowe galaktyki mają gdzieś około od 3 do 20 razy większą masę niż początkowo sądzono.

Wspaniałym wynikiem ostatnich lat jest oczywiście to, że astrofizyka i w szczególności ogólna teoria względności i kosmologia przestały opierać się na abstrakcyjnych rozważaniach teoretycznych i stały się związane bezpośrednio z eksperymentem. Jaka, Pana zdaniem, będzie rola przyszłych eksperymentów, wykorzystujących w coraz większym stopniu zaawansowaną technikę?

Tak, sądzę, iż każdy zgodzi się, że w ostatnich pięciu czy dziesięciu latach astrofizyka rozwinęła się nadzwyczaj efektownie. Mamy nowe teleskopy, mamy astronomię promieni rentgenowskich, startujemy z astronomią podczerwoną, radioastronomia kontynuuje swoją udaną passę i oczekujemy na wyniki astronomii fal grawitacyjnych i astronomii neutrinowej. Piętnaście lat temu, któż uwierzyłby, że można spodziewać się tak dużo nowych informacji o odległej przeszłości i dużych odległościach, jakie mamy dzisiaj. Co za wspaniałe rozwój!

Również teoria względności korzysta obecnie z obserwacji więcej niż kiedykolwiek, szczególnie w związku z zapadaniem grawitacyjnym. Najpierw pojawiły się gwiazdy neutronowe a potem wciąż jeszcze niepewne, ale przekonujące dowody, że źródło promieni rentgenowskich Cygnus X-1 jest czarną dziurą. Spowodowało to większe niż kiedykolwiek zainteresowanie zapadaniem grawitacyjnym i poszukiwaniem promieniowania grawitacyjnego, prowadzonym obecnie z tak dużą aktywnością. Jeżeli detektory fal grawitacyjnych spełnią pokładane w nich nadzieje (choćby nie piętnaście detektorów o niskiej czułości, lecz trzy o wysokiej czułości), gdy okaże się, że działają dobrze i zarejestrują przy okazji informacje o zdarzeniach, osiągniemy dwa cele: otrzymamy dodatkowe dowody o słuszności teorii względności oraz nowe bezpośrednie informacje o tym, co zachodzi we wnętrzu odległych gwiazd.

Czy moglibyśmy teraz przejść od ogólnej teorii względności do samego jej twórcy? Był Pan przecież jednym z kilku fizyków, którzy byli blisko związani z Albertem Einsteinem, i był Pan także jednym z najbliższych współpracowników Nielsa Bohra. Czy mógłby Pan scharakteryzować, co przy kontaktach z tymi dwoma największymi architektami współczesnej fizyki wywarło na Pana największy wpływ?

Znajomość obu stanowiła dla mnie wspaniałe natchnienie. Po raz pierwszy poznałem Einsteina w 1934 r. w czasie pierwszego pobytu w Princeton, wkrótce po przyjeździe do Stanów Zjednoczonych. Pamiętam, że później w 1953 r., gdy po raz pierwszy zacząłem uczyć teorii względności i choć było to tylko 18 miesięcy przed jego śmiercią, był uprzejmy zaprosić mnie razem z moimi studentami do swego domu na herbatę. Siedzieliśmy wokół stołu w jadalni, jego sekretarka Helen Ducas oraz pasierbica Margot Einstein przyniosły herbatę, a studenci zadawali Einsteinowi pytania. Jeden z nich spytał: „Panie Profesorze, co Pan sądzi o naturze elektromagnetyzmu?” i Einstein opowiedział mu o swoich wieloletnich przemyśleniach na ten temat. Inny zapytał: „Panie Profesorze, czy zgadza się Pan z ideą rozszerzającego się Wszechświata?”, z czym oczywiście się zgadzał. Jeszcze zaś inny student zadał pytanie: „Panie Profesorze, tak dużo miał Pan do czynienia z teorią kwantów i dlaczego nie zgadza się Pan z nią?”. Einstein odpowiedział wtedy, przytaczając swą często wypowiedzaną opinię: „Nie wierzę, że Bóg gra w kości”. Na koniec pewien student zdobył się na odwagę i spytał: „Panie Profesorze, gdy już nie będzie Pan żył, co stanie się z tym domem?”. Einstein roześmiał się bardzo głośno, podniósł wysoko ręce i powiedział z dziecięcą prostotą, serdecznie, z uśmiechem na twarzy i jasnymi oczami, dobór słów był zaś jak zawsze wyważony i piękny: „Ten dom nigdy nie stanie się miejscem pielgrzymek, gdzie pielgrzymi przychodzą popatrzeć na prochy świętego”. I tak jest dzisiaj. Autokary turystyczne podjeżdżają przed front tego domu, ludzie wysiadają, fotografują go z zewnątrz, lecz nie wchodzą do środka.

Jeśli chodzi o Bohra, był on wielką osobistością w fizyce i wzorcem dla wszystkich fizyków. Przyjechałem do Kopenhagi jako student starający się o stypendium i pamiętam słowa, jakie napisałem w podaniu o stypendium dla

ERRATA

Postępy Fizyki 29 (1978), str. 530, wiersze 20-19 od dołu

Jest

...przesunął tablice

Powinno być

...pokonał go jego własną bronią

uzasadnienia, dlaczego chciałbym przyjechać. Było to w 1934 r., gdzieś na początku 1934 r. Dlaczego chciałem pracować z Bohrem w Kopenhadze? Dlatego, że „miał moc widzenia tak daleko w fizyce jak nikt z żyjących”. Od razu po przyjeździe we wrześniu dostrzegłem jego wielką umiejętność głębokiego myślenia w fizyce jądrowej. Wtedy w Kopenhadze wiosną 1935 r. Christian Møller, świeżo po powrocie z Rzymu, przedstawił wyniki Fermiego o wychwycie powolnych neutronów. Bohr natychmiast strasznie się tym zainteresował, przerwał mu, zaczął chodzić tam i z powrotem, ciągle mówił i w miarę upływu czasu można było dostrzec, jak na oczach wszystkich przybierał swą postać model kropłowy jądra. Dla niego fizyka nie była warta zainteresowania, jeśli nie prowadziła do jakiegoś paradoksu lub jakiejś pięknej metody prostego opisu zjawisk. Nie pamiętam nikogo w Instytucie Bohra, kto kiedykolwiek zdołałby skończyć swój referat na seminarium, nawet gdy był na nie zaproszony. Zwykle mówił przez pięć czy piętnaście minut i Bohr przejmował inicjatywę, aby przez resztę czasu dyskutować znaczenie wyników referenta, czego one dowodzą, a czego nie.

Zacząłem zajmować się problemem rozszczepienia jądrowego razem z Bohrem od chwili, gdy 16 stycznia 1939 r. przywiózł do Stanów Zjednoczonych informację o odkryciu rozszczepienia. Byłem na molu nabrzeża portowego w Nowym Jorku i nie zdążyłem go nawet dobrze przywitać, gdy wziął mnie na bok i zaczął opowiadać, że na tym statku, tuż przed opuszczeniem Kopenhagi, powiedziano mu o odkryciu Hahna i Strassmanna. Rzuciliśmy więc wszystko inne i zaczęliśmy pracować nad rozszczepieniem. Pracowaliśmy zarówno w dzień, jak i w nocy, przypominam sobie, jak wbiegałem na górę po schodach, by dostać się ze swego pokoju do biblioteki i szukałem w słowniku, czy nie ma lepszego angielskiego słowa na określenie rozszczepienia niż *fission*. *Fission* ma tę wadę, że choć jako rzeczownik jest całkiem dobre, to nie ma odpowiadającego mu dobrego czasownika. Sformułowanie *a nucleus „fissions”* nie było zbyt udanym zwrotem, lecz jednak pozostaliśmy przy *fission*.

Spotkałem Bohra w Waszyngtonie podczas wojny, w okresie gdy dzielił swój czas między Los Alamos i Waszyngton, po ucieczce z Danii na małej łodzi morzem do Szwecji. Powiedział mi w zaufaniu o swoich rozmowach z prezydentem Rooseveltem na temat przyszłości energii jądrowej. Mówił też o swoich wysiłkach stworzenia pewnej kontroli nad energią jądrową po wojnie. Powiedział też: „Może wydawać się dziwne, że taki człowiek jak ja może rozmawiać z prezydentem największego kraju na świecie w czasie największej wojny w historii świata. Ale przedstawiłem mu problem po prostu jak człowiek człowiekowi i wskazałem jakie są inne możliwości”. Bohr wywarł duże wrażenie na Roosevelcie i rozmawiali kilka razy. Ostatnie przemówienie napisane przez Roosevelta, przy którego przygotowywaniu umarł, zawierało słowa, cytowane za Thomasem Jeffersonem, że uczeni odgrywają najważniejszą rolę w porozumiewaniu się i doprowadzaniu do pokoju między różnymi krajami świata.

Głębokie wrażenie wywarła na mnie odwaga Bohra w stawianiu czoła wielkim problemom. Pamiętam, jak powiedział kiedyś do mnie: „Wyglądam pew-

jego list otwarty do Narodów Zjednoczonych w 1950 r. Jego idea otwartego społeczeństwa nie miała dużego rezonansu w tym czasie, lecz czujemy dzisiaj, że staje się coraz wyraźniej wiodąca: zamiast mówić, że ten czy tamten ustrój jest lepszy, pozwólmy, aby każdy mógł swobodnie się poruszać i sam wyciągnąć wnioski dla siebie.

Jak Pan już podkreślił, Niels Bohr stworzył w Kopenhadze jedną z najbardziej znaczących szkół fizyki współczesnej. Dobrze też wiadomo, że również Pan wykształcił w Princeton wielu znakomitych fizyków zarówno w dziedzinie fizyki jądrowej, jak i ogólnej teorii względności. Jakie są Pana podstawowe zasady pracy ze studentami?

Czy nie ma błędu w Pana pytaniu? Jestem pewny, że to studenci w rzeczywistości mnie wykształcili! Powszechnie wiadomo, iż uniwersytety mają naprawdę studentów po to, aby kształcili oni swych profesorów. Aby być jednak kształconym przez studentów, trzeba zadawać im dobre pytania. Pytania zawsze sprawdza się na studentach. Jeśli pewne pytanie nie zainteresuje żadnego studenta, to należy je uznać za niezbyt dobre i odrzucić je. Ale jeśli pytanie zainteresuje studentów, to zaczną mówić o nowych rzeczach, spowodują, że będzie się stawiać dalsze pytania i już wkrótce będzie można niemało się nauczyć. Sprawia duże zadowolenie, gdy student zaczyna odczuwać podobnie jak my, że cały świat nauki jest jak ogromne ciastko, którego dowolny kawałek można odciąć i zjeść.

Jest rzeczą wspaniałą, że dobrzy studenci nie są zainteresowani małymi sprawami, a chcą robić to, co jest ważne. Oczywiście jest istotne, aby nie robić samych tylko rzeczy bardzo ważnych, gdyż nie wolno tracić kontaktu z rzeczywistością. Przyniosłem tu ze sobą „kawałek” rzeczywistości. Jest to bryłka betonu, bardzo interesująca, gdyż została wzmocniona nie jak zwykle grubymi stalowymi prętami, lecz czymś w rodzaju stalowych „włosków”. Każdy taki „włoszek” ma około 3 cm długości i jest grubości szpilki. Miesza się te „włoski” czy „szpilki” z piaskiem, żwirem, cementem i wodą jak przy robieniu betonu. Jestem bardzo zainteresowany betonem tego typu, gdyż sądzę, że zapowiada się jako całkiem nowy materiał budowlany. Próbuje dodać nieco zachęty ludziom, którzy nad tym pracują.

Jeszcze jedno pytanie dotyczące studentów. Czy woli Pan rozmawiać z nimi indywidualnie, czy raczej organizuje Pan kilka regularnych nieformalnych seminariów?

Sam uczę się więcej rozmawiając ze studentami indywidualnie.

Stworzył Pan nie tylko wiele nowych idei, lecz także nowych nazw dla tych idei. „Black hole” (czarna dziura) jest przykładem takiej nazwy, która przyjęła się obecnie na całym świecie. Są jednak inne przykłady: „moderator” (moderator), „buckling” (parametr geometryczny i materiałowy reaktora), „big stop” (Wielki Stop), „charge without charge” (ładunek bez ładunku), „mass without mass” (masa bez masy) itd. Dlaczego nowe idee nie mogą istnieć bez nowych nazw?

Mark Twain zwykł mawiać: „Różnica między właściwym słowem a prawie właściwym jest jak różnica między błyskawicą a robaczkiem świętojańskim”. To stara idea ludzkości, że jeśli umie się coś nazwać, to można jakoś to kontrolować. Lekarze przekonali nas nawet, że powinniśmy im płacić za podanie nazwy naszej choroby.

Ale nadawanie właściwej nazwy, jak mi się zdaje, jest częścią składową procesu prowadzącego do zrozumienia idei; zauważyłem to wyraźnie nie tylko u Bohra i Einsteina, lecz także u Pauliego. Pauli kiedyś zapytał: „W czym tkwi tu dowcip?”. Chodziło mu o najistotniejszy punkt. Jeśli nie umie się wyrazić głównej idei w dwóch lub w trzech słowach czy w jednym zdaniu, to w rzeczywistości się jej nie rozumie. Jakim bodźcem dla myśli jest konieczność tak głębokiego spojrzenia na ideę, aby można było ją wyrazić prostymi słowami!

W Stanach Zjednoczonych występuje ogromne zainteresowanie ogłoszeniami. Mimo że czasem jest to patrzeć na coś drobnego, ludzie emocjonują się tym. Ogilvy, który znany jest z zajmowania się reklamą, napisał książkę *Zwierzenia agenta ogłoszeniowego*. Opowiada w niej, że przy reklamie towarzystwa czy jego produktu najtrudniejsze jest wymyślenie czy to samemu, czy przez ludzi towarzystwa odpowiedniego sloganu do tej reklamy. Najbardziej przekonującym przykładem może być Towarzystwo Avis, które wypożycza samochody. Konieczna była odpowiednia reklama, gdyż istnieje większe Towarzystwo Hertz, które także proponuje wypożyczanie samochodów. W końcu on i ludzie Avis znaleźli slogan: „Naprawdę się staramy”. „Naprawdę się staramy” stało się hasłem ogłoszeniowym Towarzystwa Avis. Ma ono stale ogromny wpływ psychologiczny na ludzi, którzy pracują dla towarzystwa. Oni rzeczywiście odczuwają, że „naprawdę się starają”. Sądzę więc, że właściwe wyrażenie ma w sobie coś z magii.

Gdy obserwowałem na dzisiejszym posiedzeniu ludzi robiących notatki z wygłaszanych referatów, doszedłem w końcu do wniosku, że każdy z nas chce być magikiem i sądzi, że jakoś przez posiadanie tych magicznych formuł będzie mógł uzyskać to, co magik Merlin robił dawniej swymi magicznymi zaklęciami i formułami. Częścią magii jest również znalezienie prostego słowa.

Dziękuję za ułatwienie nam zrozumienia „Magii bez magii”. Oczywiście konserwatyści prawdopodobnie niechętnie przyjmą takie nowe nazwy jak „czarna dziura” czy „masa bez masy”, lecz chciałbym spytać o wartościowszą odmianę konserwatyzmu. Wczoraj w książeczce „Pisane w obłokach” Josefa Čapka (malarza, pisarza i człowieka równie głębokiego jak jego bardziej znany brat Karel) znalazłem zdanie, że „jedynym usprawiedliwieniem konserwatyzmu kulturalnego jest troska, aby nic, czego nauczyliśmy się o świecie, nie uległo uszczupleniu czy stracie”. Podobnie można pewnie spojrzeć na konserwatyzm w nauce. Co Pan sądzi o konserwatyzmie i modzie w nauce?

Kilka tygodni temu, dla uczczenia dwusetnej rocznicy niepodległości Stanów Zjednoczonych, Narodowa Akademia Nauk zorganizowała specjalne posiedzenie na temat przyszłości nauki, na którym musiałem wystąpić jako pierw-

szy i mówić o przyszłości fizyki. Próbując znaleźć proste sformułowanie, prostą ideę, która podsumowałaby jaśniej niż cokolwiek innego przyszłość fizyki, tak jak ja ją widzę, nie znalazłem nic lepszego niż porównanie fizyki z życiem. Życie rozwija się w wielu różnych kierunkach, aby wypełnić, jak to nazywają nasi koledzy ze świata biologii, każdą ekologiczną niszę. Niektórzy fizycy zajmują się ciałem stałym, jedni pracują nad czymś bardziej konserwatywnym, inni skupiają się na zastosowaniu fizyki w medycynie. W moim odczuciu jest tak dużo miejsca dla różnych badań fizycznych, jak dużo jest miejsca dla ludzi różnego pokroju. Każdy może wnieść tu swój wkład.

Konserwatyzm w sztuce doprowadził mnie do pytania o konserwatyzm w nauce. Ale chciałbym teraz spytać całkiem ogólnie: jaki jest Pana zdaniem związek między nauką i sztuką? Pamiętam, że Richard Feynman powiedział przy jakiejś okazji, jak dużo głębsze jest spojrzenie na brzeg morza, gdy do wrażenia artystycznego dodać znajomość hydrodynamiki i fizyki molekularnej. Kreślił Pan tak wspaniale rysunki, aby wyjaśnić swe idee fizyczne, więc także z tego względu pragnąłem zadać to pytanie.

Jest to głębokie i interesujące pytanie; pamiętam dobrze słowa pewnego artysty, który zechciał mi dawać lekcje sztuki w Paryżu w 1949 r. Chodziłem do niego dwa razy w tygodniu, aby rysować. Odpowiedział mi o swojej nauce w Szkole Sztuk Pięknych w Paryżu. Wspomniiał, że studiujący z nim koledzy byli tak dobrze wyszkoleni w dokładnej i szczegółowej obserwacji, aby dotrzeć do prawdy, że byli w stanie rozumieć go lepiej niż jego własni rodzice. To zainteresowanie dokładnością i prawdą zrobiło na mnie duże wrażenie.

Według mnie bardzo interesujące jest także to, że w sztuce próbuje się wyciągnąć z danej sytuacji coś centralnego, ustalić, czym to jest w rzeczywistości, i uchwycić to w najczystszej i najprostszej postaci. I to właśnie jest dla mnie tak frapujące w nauce. Również tu próbujemy cały czas uchwycić najistotniejszą część sytuacji i ująć ją w najprostszy sposób. Sądzę więc, że zachodzi wielkie podobieństwo między nauką i sztuką: obie poszukują prawdy i obie poszukują bezwzględnie centralnego punktu.

Ale oczywiście jest także różnica. Dzieło sztuki tylko wtedy staje się rzeczywistością żywą, gdy wytwarza pewien rezonans w duszach ludzi, którzy patrzą na nie. Coś może być wspaniałym dziełem sztuki, lecz jeśli nieodpowiedni ludzie na nie patrzą, nie ma oddźwięku. Sztuka jest dlatego o wiele bliżej związana z duszą ludzką niż nauka. Oczywiście, nauka jest działalnością ludzką i to działalnością zespołową; gdy powstanie jakaś praca, a nikt nie zwróci na nią uwagi, to nie odgrywa ona roli. Ale w wypadku nauki można powiedzieć, że wiąże się z nią pewien rodzaj demokracji. Poszczególne kroki dowodu są otwarte demokratycznie dla każdego, dla każdej osoby kompetentnej, by mogła je sprawdzić. Także eksperyment jest demokratycznie otwarty dla każdego, jeśli tylko umie on przeprowadzać eksperymenty, aby go sprawdzić. W wypadku sztuki jednak wydaje mi się, że jest ona otwarta demokratycznie dla każdego, jeśli chodzi o jej odbiór, ale nie wiąże się z nią konieczność tego

samego rodzaju. W wypadku dowodu mamy dowód, w wypadku eksperymentu — eksperyment. Końcowym wynikiem jest „tak” lub „nie”. W wypadku dzieła sztuki nie ma „tak” czy „nie”, jest tylko oddźwięk.

Jest Pan nie tylko członkiem Akademii Sztuk i Nauk, która łączy obie twórcze aktywności, o których teraz tak pięknie Pan mówił, lecz także członkiem Amerykańskiego Towarzystwa Filozoficznego. Chciałbym więc jeszcze spytać, jaka jest Pana opinia o związku między nauką i filozofią. Nawet w tak znakomitym ośrodku, zajmującym się podstawowymi zagadnieniami fizyki, jak Kalifornijski Instytut Techniczny odczuwa się na przykład, że nie ma bezpośredniego i owocnego oddziaływania nauki i filozofii nauki. Być może Kalifornijski Instytut Techniczny jest szkołą bardziej „pragmatyczną” niż Princeton.

Clemenceau, premier Francji w okresie pierwszej wojny światowej, powiedział, że wojna jest zbyt ważna, aby pozostawić ją generałom. Przejął sam kontrolę nad sytuacją. Można także powiedzieć, że filozofia jest zbyt ważna dla nauki, aby pozostawić ją filozofom.

Są dwa skrajne punkty widzenia. Według jednego z nich filozofia nauki jest jak blaszana puszka przywiązana z tyłu za samochodem nauki. Nauka przy tym posuwa się cicho naprzód, a puszka grzechocze po ulicy i ona to właśnie wywołuje hałas. To jeden punkt widzenia. Drugi jest o wiele głębszy. Thomas Mann w swym wykładzie na uroczystości osiemdziesięciolecia urodzin Sigmunda Freuda powiedział: „Nauka nigdy nie czyni postępu, dopóki filozofia nie usankcjonuje i nie zachęci jej do tego”. Oczywiście wybór między tymi dwoma punktami widzenia jest sprawą indywidualną.

Wywiad z Panem był dla mnie głębokim przeżyciem. Dziękuję bardzo za rozmowę.

Tłumaczył Zygmunt Ajduk

ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH

Janusz Buchert, Stanisław Marek, Roman Sikorski

Institut Fizyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza
Poznań

Wykorzystanie własności widikonu do obserwacji rozkładu natężenia światła prążków interferencyjnych w zjawiskach dyfrakcji *

The Application of the Vidicon for the Lecture-Room Demonstrations of the Intensity Distribution of Interference Fringes

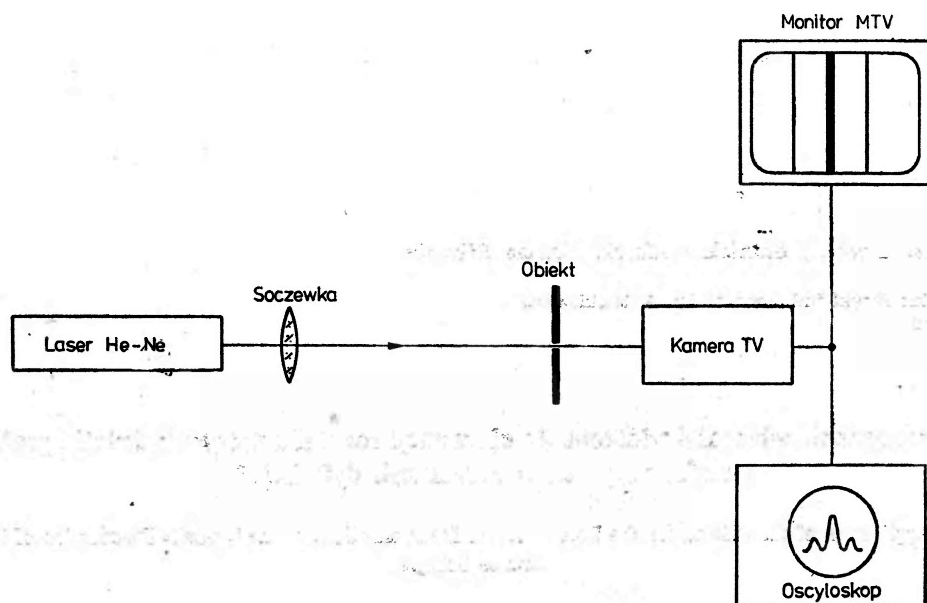
Abstract: It is briefly described how the intensity distribution among interference fringes can be demonstrated in the lecture-room with the help of a vidicon device.

Zjawiska dyfrakcji i interferencji światła stanowią jedno z zagadnień obowiązujących na wykładach z optyki w kursie fizyki wyższych uczelni. Tematy te omawiane są również w szkole podstawowej i średniej. Wykonuje się przeważnie demonstracje widma dyfrakcyjnego [1], gdyż jest to technicznie najprostsze. Zademonstrowanie ugięcia fal świetlnych na ostrej krawędzi, jednej szczeliny, prętach [2] itd. jest już dość kłopotliwe, gdyż wymaga nie tylko silnych źródeł światła, dużych odległości, lecz także pełnego zaciemnienia.

Wykorzystanie kamery telewizyjnej do powyższych demonstracji pozwala wykonać je przy niepełnym zaciemnieniu sali oraz daje możliwość analizy natężenia światła w widmie interferencyjnym. Analizę natężenia prążków można dokonywać dla obiektów podłużnych, co jest związane z systemem analizy obrazu w widikonie. Kamery telewizyjną, pozbawioną obiektywu należy umieścić tak, aby obraz został wytworzony bezpośrednio na płycie obrazowej widikonu. Badane prążki powinny być prostopadłe do kierunku ruchu strumienia elektronowego analizującego obraz. Wysokość prążków powinna być równa wysokości płytki obrazowej widikonu. Obiekt, na którym następuje dyfrakcja, źródło światła oraz kamerę telewizyjną ustawiamy w podany niżej sposób wykorzystując obraz kontrolny z monitora dający nam powiększony obraz prążków interferencyjnych, który równocześnie jest dogodny do

* Praca częściowo referowana na II Jesiennej Szkole „Problemy dydaktyki fizyki”, Karpacz 20—25 IX 1977 r.

obserwacji przez słuchaczy na sali. Sygnał z kamery telewizyjnej analizujemy równocześnie za pomocą oscyloskopu. Daje on informacje o rozkładzie natężeń światła prążków interferencyjnych. Ponieważ z kamery podawany jest sygnał wynikający z analizy natężenia światła kolejno każdej linii, dlatego dla naszych celów każda z 625 linii powinna zawierać tę samą informację, czyli powinny być spełnione warunki o prostopadłości prążków do linii oraz o roz-



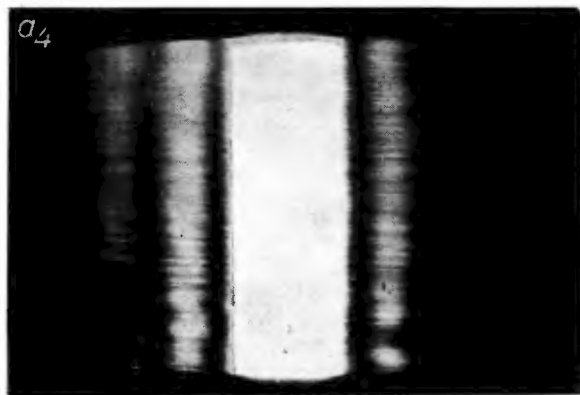
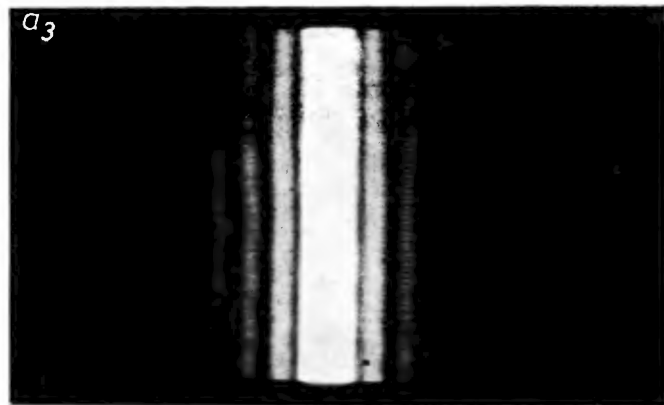
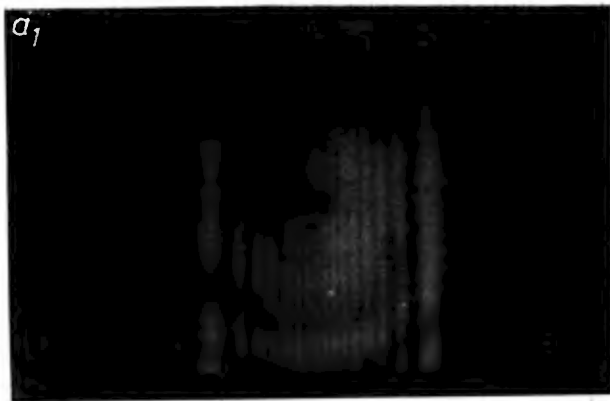
Rys. 1. Schemat układu doświadczalnego

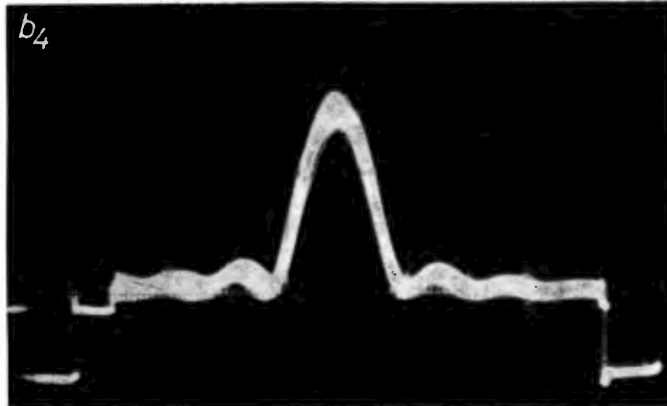
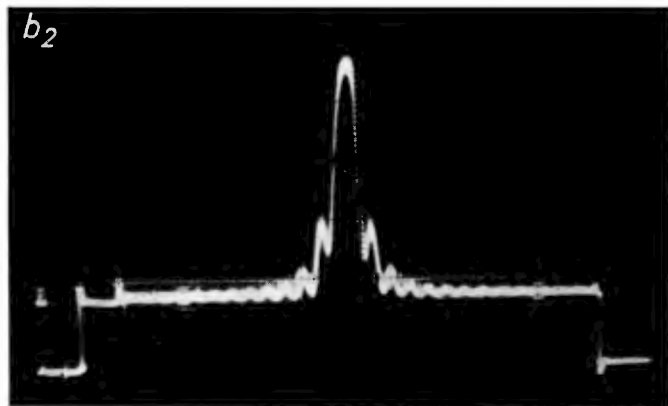
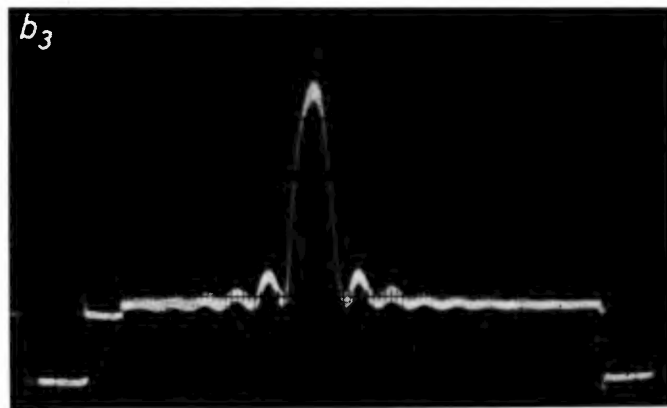
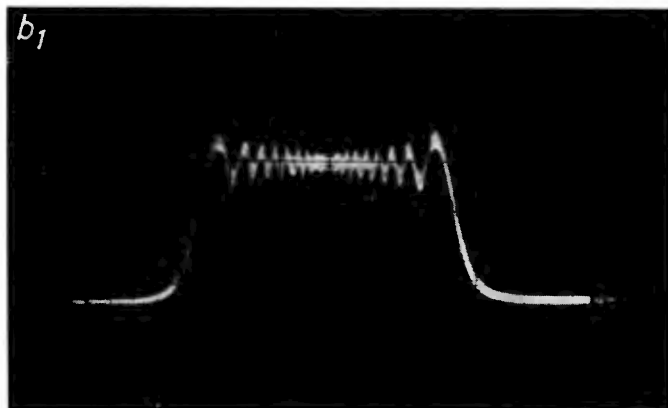
ciągłości pionowej prążków. Nie omawiamy tutaj samej zasady działania kamery telewizyjnej, na której to opiera się proponowana metoda demonstracji, gdyż jest to zagadnienie ogólnie znane i opisane w literaturze [3].

Według przedstawionych wyżej założeń zestawiono układ składający się z lasera He-Ne, kamery telewizyjnej, monitora, oscyloskopu oraz różnych obiektów, na których światło ulega dyfrakcji. Wiązkę światła lasera He-Ne o średnicy rzędu kilka milimetrów powiększono za pomocą soczewki do rozmiarów rzędu kilku centymetrów, aby otrzymać odpowiednią wysokość prążków. Otrzymane rezultaty przedstawiamy na zdjęciach. Reasumując, w proponowanym zestawie przyrządów do demonstracji zjawisk dyfrakcji i interferencji możemy pokazać nie tylko położenie prążków interferencji, ale także rozkład ich natężeń, co stanowi jakościowo nową informację, którą można bezpośrednio uzyskać i zademonstrować.

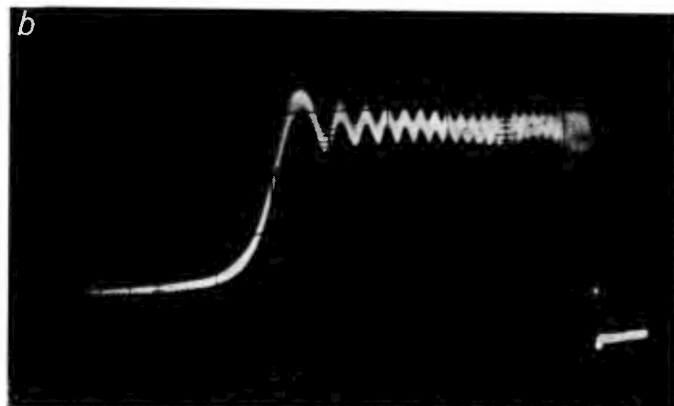
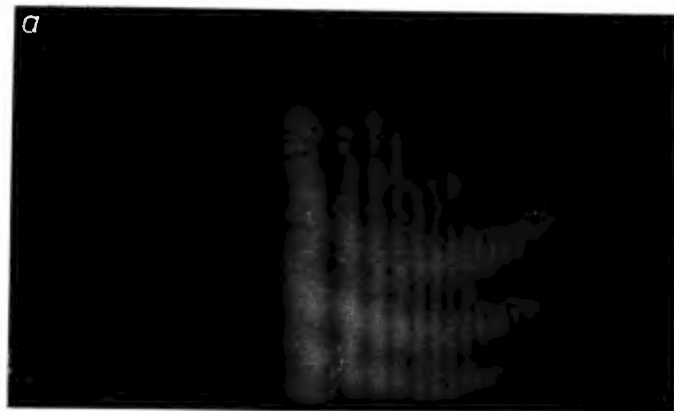
Literatura

- [1] S. Pieńkowski, *Fizyka doświadczalna*, t. III, PWN, Warszawa 1955.
- [2] A. Piekara, *Nowe oblicze optyki*, PWN, Warszawa 1968.
- [3] T. Klomba, W. Trzebunia-Siwicka, *Urządzenia telewizyjne*, PWSZ, Warszawa 1967.

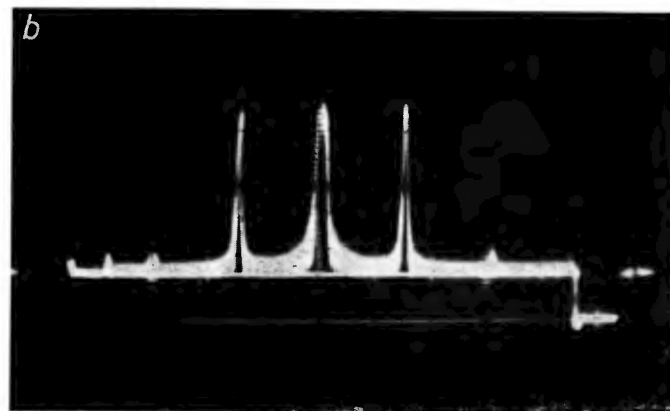
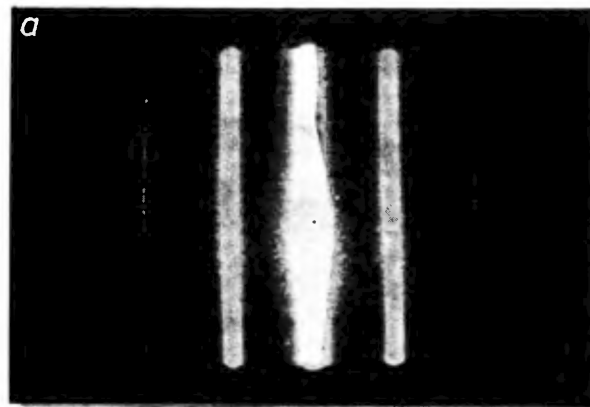




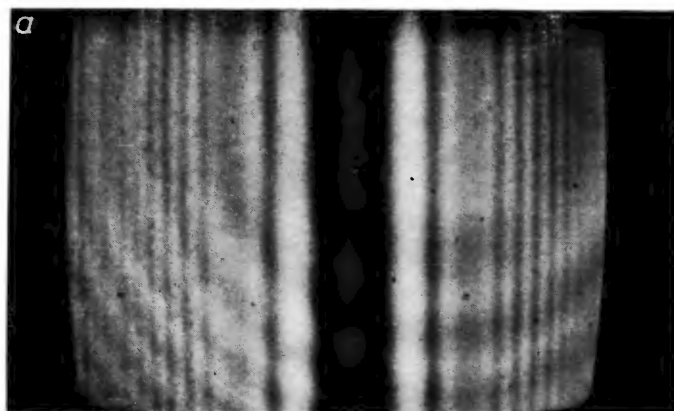
Rys. 2. Obrazy dyfrakcyjne dla zmniejszającej się szerokości szczeliny: a) obserwowane na ekranie monitora TV, b) odpowiadające rozkłady natężeń obserwowane na ekranie oscyloskopu



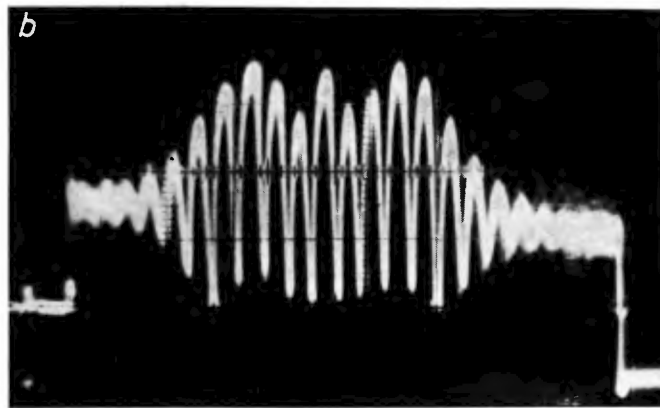
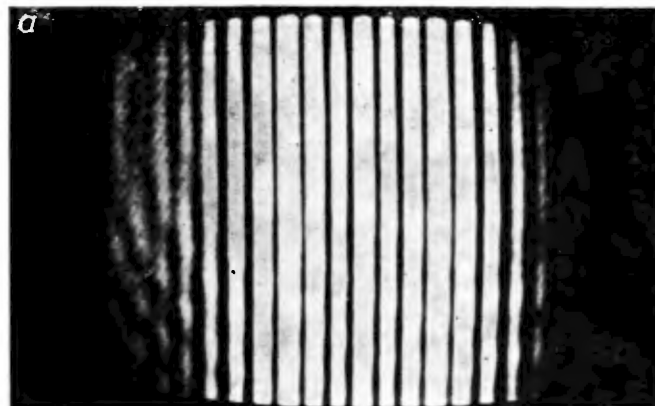
Rys. 3. Obraz dyfrakcyjny uzyskany na ostrej krawędzi pianowej: a) widok z ekranu monitora TV, b) rozkład natężeń prążków na ekranie oscyloskopu



Rys. 4. Obraz dyfrakcyjny uzyskany na siatce dyfrakcyjnej: a) widok z ekranu monitora TV, b) rozkład natężeń obserwowany na ekranie oscyloskopu



Rys. 5. Dyfrakcja na pionowym cienkim pręcie: a) widok z ekranu monitora TV, b) rozkład natężeń obserwowany na ekranie oscyloskopu



Rys. 6. Obraz interferencyjny uzyskany przy pomocy bipryzmatu: a) widok z ekranu monitora TV, b) rozkład natężeń obserwowany na ekranie oscyloskopu

Z E Z J A Z D Ó W I K O N F E R E N C J I

Zimowa Szkoła Fizyki Medycznej i Biocybernetyki w Szklarskiej Porębie

W dniach od 22 lutego do 4 marca 1978 r. odbyła się w Szklarskiej Porębie Zimowa Szkoła Fizyki Medycznej zorganizowana przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego z inicjatywy Pracowni Fizyki Medycznej IFD UW. W skład komitetu organizacyjnego wchodził: dr Katarzyna Blinowska (Dyrektor Szkoły), mgr Jerzy Zachara — Pracownia Fizyki Medycznej IFD UW, dr Maria Piotrkiewicz (Sekretarz Naukowy) — Instytut Biocybernetyki, mgr Anna Miller — Instytut Biologii Doświadczalnej PAN.

Tematyka Szkoły obejmowała zagadnienia kodowania i przetwarzania informacji w organizmach żywych, modelowanie procesów biologicznych, analizę sygnałów fizjologicznych, diagnostykę komputerową. Wygłoszono 16 wykładów monograficznych m. in.: A. Dziech, *Niektóre problemy kodowania informacji i optymalizacji kodów*, E. Skrzypczak, *Niektóre aspekty modelowania matematycznego w biologii i medycynie*; K. Blinowska, *Komputerowa analiza przebiegów fizjologicznych*; E. Bartnik, *Kodowanie informacji genetycznej. Inżynieria genetyczna*; A. Przybyszewski, *Matematyczne modelowanie szybkich komponent odruchowej regulacji ciśnienia krwi*, J. Morawski, *Prosty model skrętu narciarskiego*; J. Świątek, *Zastosowanie teorii identyfikacji do obiektów biologicznych. Identyfikacja obiektów złożonych na przykładzie układu krwionośnego*.

Odbyły się dwie dyskusje panelowe poświęcone sterowaniu przez układy uczące się oraz omówieniu programu tegorocznej Szkoły, a także propozycjom dotyczącym tematyki Szkoły w roku przyszłym. Uczestnicy podkreślali korzyści naukowe wynikające z organizowania tego rodzaju spotkań w dziedzinie interdyscyplinarnej, jaką jest fizyka medyczna. W Szkole wzięło udział około 40 osób z różnych ośrodków w Polsce.

Ładna pogoda i dobre warunki śniegowe sprzyjały szkoleniu narciarskiemu, którego sprawdzianem był końcowy slalom gigant.

Katarzyna Blinowska

R E C E N Z J E

A. Oleś, F. Kajzar, M. Kucab, W. Sikora: *Magnetic Structures Determined by Neutron Diffraction*, PWN, Warszawa—Kraków 1976, str. 727, cena zł 130,—

Opracowanie i przygotowanie do druku materiałów pomocniczych do prac badawczych jest pracą pod wieloma względami niewdzięczną. Dotyczy to zwłaszcza zestawień danych eksperymentalnych, które narastają w tempie trudnym do opanowania. Dlatego publikacji tego typu ukazuje się bardzo niewiele. Omawiana praca jest pierwszym i jedynym w skali światowej opracowaniem danych doświadczalnych o konfiguracjach magnetycznych, wydany w postaci książki. Poza nią — jedyną próbę zaspokojenia tych samych potrzeb podjął przed kilku laty D. E. Cox z Brookhaven National Laboratory, ale w całkiem odmiennej formie. Wydaje on *Magnetic Data Sheets* w postaci luźnych kartek.

Na ukazanie się tak niezbędnego narzędzia pracy, jak omawiana książka, czekali fizycy ciała stałego od 25 lat. Z głęboką satysfakcją należy odnotować fakt, że taka książka powstała w Polsce. Dla czytelnika ważniejsze jest jednak stwierdzenie, że została ona znakomicie opracowana.

Praca obejmuje wszystkie istniejące typy konfiguracji magnetycznych, jest więc równocześnie katalogiem ortomagnetyków, tj. substancji krystalicznych wykazujących spontaniczne uporządkowanie atomowych momentów magnetycznych. Dla każdego spośród 850 skatalogowanych związków podano podstawowe dane krystalograficzne, temperatury Curie lub Néela (i ewentualne punkty innych przemian fazowych), oraz szczegółowe dane o konfiguracji magnetycznej, o kierunku uporządkowanych momentów i o wartości tych momentów. Bardziej skomplikowane struktury magnetyczne opisane są dodatkowo słowami i zilustrowane za pomocą rysunków. Przy każdej informacji doświadczalnej podane jest źródło, z którego ją zaczerpnięto. Autorzy uwzględnili całą literaturę na temat zastosowania elastycznych ugięć neutronowych do wykrywania konfiguracji magnetycznych począwszy od pierwszych badań neutronograficznych nad magnetykami w r. 1949 aż po publikacje z roku 1975. Bibliografia obejmuje ogółem ponad 2800 oryginalnych prac eksperymentalnych.

Bardzo przejrzysty podział materiału swojej 700-stronicowej książki uzyskali autorzy grupując związki należące do tego samego układu krystalograficznego w odrębnym rozdziale (uzasadniony wyjątek stanowi wspólny rozdział dla układów trygonalnego i heksagonalnego). Taki układ ogromnie ułatwia korzystanie z książki. Dalszym usprawnieniem jest skorowidz uwzględnionych związków: ich symbole chemiczne uszeregowane są w porządku leksykograficznym, co prowadzi najszybciej do poszukiwanej pozycji.

Szkoda, że autorzy nie dodali jeszcze jednego udogodnienia. Słynne *Crystallographic Data* Wyckoffa są w Polsce praktycznie niedostępne w codziennej pracy, dlatego umowne oznaczenia pozycji węzłów w złożonych komórkach elementarnych (a, b, c itd.), wzięte z wymienionego wydawnictwa, warto było objaśnić graficznie w załączniku.

Jak zwykle w obszernych opracowaniach, można napotkać w recenzowanej książce gdzieś niedziegnięty omyłki. I tak na str. 14 zamiast „liquid hydrogen temperature” powinno być „liquid helium temperature” (błąd, poprawiony w części egzemplarzy). Na str. 514 grupa magnetyczna $3m'$ odnosi się do zakresu ferromagnetycznego (a więc do $T_N < T < T_c$), a nie do $T < T_N$, gdzie mamy grupę $3m'$. W kilku miejscach nieprawidłowo określono wektor k numerujący repre-

zentacje; jest to zapewne skutek pominięcia translacji prymitywnej wektora \vec{k} w antyferromagnetycznych sieciach powierzchniowo centrowanych. Inne błędy poprawiono w załączonych erratach.

Te nieliczne usterki nie osłabiają podziwu dla ogromu włożonej pracy i staranności wykonania, ani też nie umniejszają zadowolenia z powodu bezkonkurencyjnej przydatności książki *Magnetic Structures Determined by Neutron Diffraction*.

Henryk Cofta

Institut Fizyki
Uniwersytet A. Mickiewicza
Poznań

I. Tarjan: *Fizyka dla przyrodników*. Tłumaczyli z języka rosyjskiego J. Bogdanowicz, Z. Wojtas. PWN, Warszawa 1975, str. 535, cena zł 90,—

Dobry podręcznik fizyki dla studentów kierunków przyrodniczych powinien pokazać czytelnikowi w przekonujący, nie werbalny sposób użyteczność praw fizyki do ilościowego opisu zjawisk biologicznych na wszystkich poziomach organizacji żywej przyrody. Realizacja tego zagadnienia wymaga od autora trudnego do spełnienia warunku — fizyczno-biologiczno-medycznych zainteresowań. Z tego względu krąg, nawet potencjalnych, autorów nie jest zbyt szeroki. Tym też, między innymi, należy tłumaczyć fakt ukazania się u nas dotąd stosunkowo niewielu podręczników fizyki (wliczając w to także przekłady) profilowanych dla potrzeb kierunków przyrodniczych. Chociaż niektóre z nich osiągnęły (ostrożnie oceniając) przyzwoity poziom, jednak z uwagi na szybki rozwój biofizyki i biologii molekularnej, ujawnianie się nowych płaszczyzn przenikania fizyki do biologii i medycyny, konieczne jest dokonanie już istniejących podręczników oraz szukanie nowych — wyróżniających się oryginalnymi rozwiązaniami merytorycznymi i metodycznymi. Nie ma zatem obecnie takiej sytuacji, aby nowy podręcznik musiał pojawiać się na zasadzie „na bezrybiu i rak ryba”. Przeciwnie wśród wydanych w poprzednich latach podręczników fizyki, adresowanych do studentów kierunków przyrodniczych (N. M. Liwincew, *Fizyka dla medyków i biologów*, PWN 1964; I. Adamczewski, *Fizyka medycyna z elementami biofizyki*, PZWL 1967; R. Grabowski, *Fizyka dla wyższych szkół rolniczych*, PWN 1969), są takie, które — po wprowadzeniu (niekiedy niewielu) poprawek — mogłyby być przydatne także obecnie. Dotyczy to przede wszystkim pierwszych dwóch wymienionych pozycji — zawierających wiele przekonująco prezentowanych treści motywacyjnych (przykłady zastosowania praw fizyki do opisu procesów biologicznych). Ponadto — w latach 1974—1975 został wznowiony przez PWN podręcznik R. Resnicka i D. Hallidaya, *Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych*. Z tego punktu widzenia trudno jest uzasadnić wydanie przełożonej z języka rosyjskiego książki *Fizyka dla przyrodników*, węgierskiego autora Imre Tarjana. Polskie wydanie podręcznika Tarjana jest przekładem „z drugiej ręki”; w oryginale książka ukazała się w języku węgierskim w 1971 roku (II wydanie). Duża ilość błędów i pomyłek — nietrudnych do znalezienia w książce — sugeruje konieczność dokonania konfrontacji wydań polskiego i radzieckiego w celu ustalenia, które z nich obarczają polskiego wydawcę, a które powstały na poprzednich etapach (w oryginale i w rosyjskim przekładzie) i w polskim wydaniu zostały tylko powielone. Z drugiej jednak strony — można także wyjść z założenia, że taka konfrontacja jest błędna, bowiem liczy się efekt końcowy, a ponadto — tłumaczenie i redagowanie książki nie może sprowadzać się do sporządzania jej wiernej kopii. Nie posiadając egzemplarza wydania w języku rosyjskim podręcznika Tarjana — z konieczności muszę prezentować ten drugi punkt widzenia. Z tego względu jestem jednak zobowiązany zastrzec się, że adresatami większości konkretnych uwag i spostrzeżeń, jakie poniżej przedstawię, będą zarówno autor, jak i redaktorzy oraz tłumacze polskiego wydania. Oto kilka przykładów zwrotów typowych raczej dla frazeologii języka niektórych dziennikarzy:

„Dyspersja odgrywa ważną rolę tak w teorii, jak i w praktyce” (str. 290); „Zjawisko rezonansu odgrywa ważną rolę w różnych dziedzinach. Zastosowanie zjawiska rezonansu rozważać będziemy jeszcze omawiając zjawiska akustyczne i własności człowieka” (str. 90); „Do uzupełnienia światła słonecznego i do celów specjalnych używa się znacznej liczby sztucznych źródeł światła” (str. 306). Ponadto — na str. 208 możemy dowiedzieć się, że istnieje „bezwzględny praktyczny układ jednostek”, a na str. 276 czytamy: „W medycynie przy analizie elektrokardiogramów używa się także rozważań o charakterze geometrycznym”. Domyślności czytelnika pozostawiono sens wyrażen: „ciepło właściwe zbitej tkanki kostnej” (130), „Barwa głosu powstaje w jamach ciała” (113), „ucho jest niezwykle czułym przyrządem” (112). Jeżeli zacytowane zwroty potraktujemy w większości jako łatwe do wybaczenia potknięcia stylistyczne, to już znacznie trudniej podobną taryfę stosować wobec innych uchybień. Chodzi mi przede wszystkim o nieużywanie niektórych, niemal powszechnie przyjętych, terminów — wprowadzanie w ich miejsce bez zasadniczych powodów nowych. I tak: krzywe jednakowej głośności nazywane są „krzywymi charakteryzującymi czułość ucha”, poziom głośności — „siłą dźwięku (natężeniem dźwięku)”, diatermia indukcyjna jest „leczeniem przy pomocy indukcji”. Podobne zdziwienie, a nawet sprzeciw wywołują: określenie polaryzacji elektrod jako „polaryzacji elektrolitu”, potencjału błonowego — jako „potencjału błony”, chemiluminescencji jako „chemoluminescencji”; nazwanie układów grubych soczewek — „grubymi układami soczewek”, fotochemicznych reakcji w światłoczułym materiale — „fotograficznym działaniem światła”. Można też zapytać dlaczego: dawkę ekspozycyjną nazywa się „dawką napromienienia”, stężenie — koncentracją, przewodność — przewodnictwem, skręcalność właściwą — skręceniem właściwym, czy — działanie przeciwrzywicze promieniowania nadfioletowego — „efektem antyrachitycznym”. Zasadnicze zastrzeżenie budzi także pozostawianie, na równych prawach, obok układu jednostek SI układów cgs i ciężarowego. Całkowicie zbędny wydaje się dodatek matematyczny (42 strony), ponieważ wiadomości w nim zawarte nie są zupełnie wykorzystywane w zasadniczej części podręcznika. W tym kontekście, fragment przedmowy: „Zastosowanie matematyki uczyniło z fizyki naukę ścisłą” — staje się frazesem. Rozdział VII „Promieniowanie rentgenowskie” i podrozdział VIII. F. „Podstawy dozymetrii” są opracowane starannie, ale w przedstawionej wersji kwalifikują się raczej do specjalistycznych podręczników i poradników radiologii i ochrony radiologicznej. Gdyby poza tym, w pozostałych rozdziałach posługiwano się bardziej zwartym językiem — udałoby się z całą pewnością, bez szkody dla jakości podręcznika (wręcz przeciwnie — sądząc, że podręcznik zyskałby tylko na tym) — zmniejszyć jego objętość i przez to obniżyć (wysoką!) cenę.

Pozostaje wreszcie ostatnia grupa dostrzeżonych przeze mnie w podręczniku I. Tarjana błędów i niedopatrzeń. Pojawienie się ich trudno czymkolwiek usprawiedliwić, bowiem są to błędy „ciężkiego i najcięższego kalibru”. Odpowiedzialność za nie ponosi przede wszystkim (!) autor, chociaż z całą pewnością obciążają one także konto redaktorów i w mniejszym stopniu — tłumaczy. Nie zaliczam do tej grupy błędów nieścisłych informacji, czy też dezinformujących stwierdzeń: „Udało się też wyjaśnić własności półprzewodnikowe białek” (389), „krzywą pokazującą zależność osłabienia słuchu od częstotliwości nazywamy audiogramem” (112); „Cybernetyka jest to nauka o budowie i właściwościach układów złożonych”. (265); „Diatermia jest szeroko stosowana w medycynie”. (283); „Każdy przyrząd posiada oporność” (201); „Zgodnie ze współczesnymi teoriami potencjał spoczynkowy jest to potencjał błony półprzepuszczalnej.” (271). Przynajmniej część z nich wydaje się tylko niezręcznymi sformułowaniami w porównaniu z tym, co możemy przeczytać w rozdziale IV „Ciepło”. Zamiast komentarza pozwałam sobie zacytować niektóre stwierdzenia: „Obecnie ciepło uważamy za jedną z form energii, a zatem nie może być traktowana jako wielkość odrębna. Często zamiast mówić o ciepłe mówimy o energii cieplnej... Zawsze jednak wzrost temperatury związany jest z pobraniem pewnej ilości ciepła, a obniżenie temperatury z oddaniem ciepła” (124). Dowiadujemy się także, że: „Jonny powstają w wyniku rozpadu cząsteczek (dysocjacja elektrolityczna) lub w wyniku rozpuszczenia substancji zbudowanej z jonów, np. soli kuchennej” (216); „Oporność całkowita obwodu, który składa się z oporności indukcyjnej lub (i) oporności pojemnościowej, a także

oporności omowej nazywa się opornością pozorną (zawadą, impedancją, opornością zespoloną)" (257). Do wykazu poważniejszych niedopatrzeń można jeszcze dołączyć m.in.: — kategorię stwierdzenie, że fosforescencja to tylko przejścia elektronowe $T \rightarrow S' \rightarrow S_0$, podczas gdy polega ona także na przejściach interkombinacyjnych ($T \rightarrow S_0$); — ignorowanie faktu, że wiązanie wodorowe jest wiązaniem międzycząsteczkowym, o czym świadczy stwierdzenie: „Wodór zwykle jest pierwiastkiem jednowartościowym (jednowiązalnym), w wielu związkach wiąże się jednak także z dwoma atomami.” (143); — mylenie pojęć „zdolność emisyjna” i „gęstość strumienia energii”, przez co prawo Kirchhoffa i wykres widma promieniowania ciała doskonale czarnego stają się zupełnie niezrozumiałe.

Aby nie być posądzonym o jednostronność spojrzenia — chciałbym zaznaczyć, że dostrzegam też pewne pozytywne strony podręcznika. Można do nich niewątpliwie zaliczyć większość zamieszczonych w książce przykładów fizycznej interpretacji funkcjonowania niektórych narządów i układów (np.: zmysły słuchu i wzroku, potencjały czynnościowe, krążenie krwi). Należy podkreślić też, że stosując w wielu miejscach „dialog wewnętrzny” (rozwiniecie problemu w formie odpowiedzi na wyraźnie uprzednio postawione pytanie), zabiegając o prostotę i płynność opisu — autor stara się zainteresować czytelnika prezentowaną problematyką. Jednakże — wszystkie te (i inne) dodatnie wrażenia stają się mało znaczące, czy wręcz — trudno dostrzegalne w konfrontacji z: — zbyt licznymi błędami i nieścisłościami w opisie zjawisk, formułowaniu i interpretacji praw fizycznych, niedostatkami w redakcyjnym opracowaniu tekstu. Z tego względu — przesłanki decyzji udostępnienia polskiemu czytelnikowi książki *Fizyka dla przyrodników* w zaprezentowanej przez wydawcę formie są dla mnie niezrozumiałe.

Marian Kucharski

Instytut Nauk Fizjologicznych
Akademia Medyczna
Poznań

L I S T Y D O R E D A K C J I

W obronie prac magisterskich z dydaktyki fizyki

Bardzo dobrze się stało, że na łamach *Postępów Fizyki* (29, 249 (1978)), ukazał się artykuł na temat prac magisterskich z fizyki na specjalności nauczycielskiej. Potraktowałem go jako zaproszenie Redakcji do dyskusji nad poprawnym rozwiązaniem tego ważnego społecznie i naukowo zagadnienia. Oto moje uwagi krytyczne do niektórych tez Autorów rozważanego artykułu.

1. Bardzo istotnym mankamentem tekstu jest brak przedstawienia co Autorzy rozumieją pod nazwą „praca kompilacyjna”. Z przykładów 1 i 3 wynika dla mnie, że każdą pracę z dziedziny analiz porównawczych materiałów dydaktycznych (podręczników, programów) oraz każdą pracę przeglądową (w zakresie teorii i systemów nauczania fizyki) Autorzy opatrzą epitetem „kompilacyjna” i jako taką odrzucają z wykazu rodzajów prac z dydaktyki fizyki. Tymczasem, moim zdaniem, dana praca jest kompilacyjna nie przez swój rodzaj, typ, lecz formę oraz postawę autora. Jeśli analizy porównawcze (czy przeglądowe) są krytyczne, wykazują samodzielność sądów i ocen autora — to nie są pracami kompilacyjnymi. Kompilacja jest bardzo bliska plagiatowi i wygląda tak, że autor takiej pracy zestawia — często bezmyślnie — różne fragmenty cudzych prac, podaje bez wskazania źródeł — poglądy innych autorów i w sumie otrzymujemy „eicer cum caule”.¹ Chcę przez to powiedzieć, że i praca z zakresu fizyki doświadczalnej czy teoretycznej może mieć charakter kompilacyjny, czyli że nie ma prac z natury, z istoty swej kompilacyjnych. „Pies leży pogrzebany” nie w pracy, tylko w opiece nad pracą ze strony kierownika, promotora. Jeśli ten ostatni pozytywnie ocenia prace o charakterze kompilacyjnym, to nie wynika stąd, iż należy wyeliminować prace z dydaktyki fizyki typu analiz porównawczych czy przeglądowych na studiach dziennych. Autorzy z kąpielą wylali także dziecko. Tymczasem należy przedyskutować tematykę takich teoretycznych prac z dydaktyki fizyki, przydatność dla absolwenta, praktyki szkolnej; kryteria ocen takich prac, metodykę prowadzenia itp. Doświadczenia szkolnictwa wyższego w ZSRR i CSRS w tym zakresie są zastanawiające i godne upowszechnienia (np. to, że zawsze zakładem dydaktyki fizyki kieruje samodzielny pracownik naukowy z dużym dorobkiem badawczym, a tym samym zagwarantowany jest taki poziom prac, że epitet „kompilacyjna” nie może być stosowany).

2. W punkcie 2 swoich postulatów i „zakazów” (str. 251, w. 4—8 g) Autorzy rzucają również anatemę na prace o charakterze analiz merytorycznych doboru i układu treści. Jako argumentu używają tezy o subiektywności metod analizy strukturalnej treści. Po pierwsze — analiza treści może przebiegać według różnych metod (nie tylko macierzowych lub grafowych) i zawsze będzie znakomitym sprawdzeniem absolwenta czy zna podstawy fizyki, metodologię i historię fizyki, filozofię i teorię poznania. Nie zapominajmy, że jest to przyszły nauczyciel, że na co dzień będzie on musiał analizować logiczną strukturę treści, chyba że będzie „urzędnikiem” trzymającym się niewolniczo ministerialnej instrukcji programowej. Po drugie — to dezinformacja pisać o „subiektywności metod analizy strukturalnej” w czasie, gdy z badań w skali światowej (Frey, Agregeer, Sochor, Gayroki i inni) wynika wręcz coś od-

wrotnego. No, ale dopominanie się o to, by rodzima dydaktyka fizyki liczyła się z wynikami badań przeprowadzonych w innych krajach jest głosem na puszczy...

3. W punkcie czwartym jest humorystyczny argument rzekomo przemawiający za odrzuceniem prac magisterskich polegających na opracowaniu fragmentu podręcznika (brzmi on tak: mądrzejsi piszą i im nie wychodzi!). Uważam, że kandydaci do zawodu nauczycielskiego mogą być dobrze doń przygotowani właśnie przez pracę o tej treści! Należy tylko nie zapominać, jakie etapy studiów istnieją przy pisaniu podręczników szkolnych!

4. W punkcie pierwszym Autorzy artykułu dodatkowo uważają, że nie można przeprowadzać analiz porównawczych ujęć metodycznych, bo brak wariantów podręczników krajowych, różnice szczebli, typów szkół itp. Wątpię o tym. Jeżeli słuchacz weźmie temat: „Metodyczne opracowanie działu: Pole magnetyczne w szkołach średnich krajów Europy Zachodniej” to wszystkie interweniujące zmienne są nieistotne z wyjątkiem wieku dzieci (czyli w pracy zaznaczą, że np. dla dziesięciolatków ujęcia są takie, a dla osiemnastolatków są takie). Powtarzam — jakoś takiej pracy, poprawność, głębia ujęcia są zależne od wymagań promotora, od kryteriów oceny zastosowania metod analizy, zasadności wnioskowań etc.

5. Podobnie dziwne argumenty formułują Autorzy przy pracach na temat środków dydaktycznych (p. 5 str. 251, w. 18 od góry i dalsze). Mogą to być przecież nowe i oryginalne rozwiązania nie na miarę światowych biur konstrukcyjnych, tylko na miarę szkoły np. w Wołominie. Czy można rezygnować z pobudzenia nowatorstwa w tej dziedzinie? A może zgłoszą się do nas „złote rączki” nauczycielskie? Trudności materiałowe i warsztatowe? Czy to oznacza, że istnieje zakład dydaktyki fizyki nie posiadający przy pracowni technik demonstracji i pokazów — podręcznego warsztatu?

6. Autorzy zajmują się także pracami magisterskimi na studiach zaocznych i proponują je „ustawić na płaszczyźnie badawczej”. Nie rozumiem tego zwrotu. Z kontekstu dalszego wynika, że tutaj prace powinny mieć przede wszystkim charakter badań empirycznych procesu nauczania fizyki w szkołach. Popieram to, ale podtrzymuję tezę, że i takie prace mogą wystąpić na studiach dziennych. I wcale czas badań empirycznych nie musi być długi! Obserwacja, sondaż, ankieta — pilot mogą trwać 2—3 godziny lekcyjne i dostarczyć wartościowego materiału empirycznego dla autora pracy. Nieporozumieniem natomiast wydaje mi się sąd Autorów artykułu, że empiryczne prace nauczycieli studiujących zaocznie pomogą usunąć niedostatki w tym zakresie w dydaktyce fizyki jako dyscyplinie badawczej. Co w takim razie mają robić pracownicy naukowo-dydaktyczni uczelnianych zakładów dydaktyki fizyki? Uprawiać „manewry” zmian autorytetów jednego na drugi? Dydaktyka fizyki jest w dobie współczesnej profesją, nauczyciel może wносить do niej twórczy wkład, ale liczyć na badania nauczycieli jako gwarantujące rozwój i postęp dydaktyki fizyki, to oznacza hamować ten postęp.

Na zakończenie wyrażę zdecydowany i generalny sprzeciw wobec propozycji Autorów zlikwidowania prac dydaktyki fizyki na studiach dziennych sekcji nauczycielskiej, gdyż argumenty przytoczone przez nich są dla mnie wątpliwej wartości logicznej i merytorycznej. Opowiadam się za tym, by przedstawić publicznie zestawy różnorodnych tematów prac magisterskich z dydaktyki fizyki, przedyskutować metodykę ich prowadzenia, kryteria ocen i w świetle tego dopiero ocenić ich wartość. Oczywiście, że nie można tego będzie poprawnie uczynić nie potrącając o problemy kadry prowadzącej prace magisterskie, warunków techniczno-materiałnych funkcjonowania zakładów dydaktyki fizyki, programu studiów, a nawet metodologii badań w dziedzinie dydaktyki.

Mieczysław Sawicki

Institut Kształcenia Nauczycieli
Warszawa

O pracach magisterskich z fizyki na specjalności nauczycielskiej

Pod powyższym tytułem ukazał się w *Postęпах Fizyki* (29, 249 (1978)) artykuł K. Baziąga i W. Trąmpczyńskiego.

Wydaje się, że byłoby to ze szkodą zarówno dla dydaktyki fizyki jako nauki, jak i jako dyscypliny nauczanej, gdyby postulaty wysunięte w tym artykule miały zostać zrealizowane. Specjalizacja nauczycielska jest na studiach fizyki wyodrębniona od r. 1967. Od tego też czasu prowadzone są na kierunkach nauczycielskich prace magisterskie. Tematyka ich jest różna. Są prace z fizyki doświadczalnej stanowiące drobne fragmenty badań naukowych, są dydaktyczne — konstrukcyjne, przeglądowe, dydaktyczne — badawcze i inne.

Można by się spodziewać, że artykuł pojawiający się po 10 latach takich doświadczeń będzie zawierał jakąś analizę ich wyników, przegląd rezultatów osiągniętych w poszczególnych ośrodkach i na tej analizie oparte wnioski. Autorzy nie zajmują się jednak oceną rozwiązań stosowanych w poszczególnych ośrodkach. Nie powołują się również wyraźnie na swoje własne próby lub obserwacje. Traktują sprawę tak, jakby zagadnienie było zupełnie nowe, nie poprzedzone żadnymi doświadczeniami.

Artykuł omawia propozycje tematyki prac magisterskich na sekcji nauczycielskiej wysunięte w programie ministerstwa. Rozważymy po kolei te propozycje i uwagi autorów.

1. Analiza porównawcza ujęć metodycznych w podręcznikach krajowych i zagranicznych. Do propozycji tej wysuwają autorzy artykułu zastrzeżenie, że nie drukuje się u nas podręczników w dwu wersjach i że trudno porównywać podręczniki dla różnych szkół i różnych poziomów.

Właśnie dlatego program przewiduje porównanie podręczników naszych z zagranicznymi — a są dostępne rosyjskie, czeskie, bułgarskie, z NRD, podręcznik PSSC i inne. Porównanie pod względem poprawności, ścisłości, pogładowości itp. ujęcia jakiegoś ważniejszego zagadnienia czy pojęcia fizycznego przez różne podręczniki może być pracą bardzo ciekawą, a czasem nawet i poważną. Fakt, że mogą tu wchodzić różne szczeble i typy szkół tylko poszerza tematykę.

2. Analiza merytoryczna doboru i układu treści w podręcznikach. Można się tu zgodzić z autorami, że „możliwość teoretycznej optymalizacji poszczególnych struktur” przez osobę nie mającą dostatecznej praktyki szkolnej jest prawie żadna.

Toteż pracować nad takim zagadnieniem mógłby magistrant tylko pod kierunkiem osoby, która się tym zagadnieniem naukowo zajmuje, np. wykonując pracę doktorską. Nie należy z góry wykluczać takiej możliwości.

3. Opracowania przeglądowe należy zdaniem autorów wykluczyć jako prace kompilacyjne sprowadzające się do przepisania kilku artykułów.

W większości wypadków można się z tym zgodzić. Są jednak wyjątki. Pod nazwą „przeładowe” można podciągnąć wiele tematów wymagających od magistranta pewnej samodzielności.

4. Opracowanie fragmentu podręcznika. Autorzy artykułu słusznie stwierdzają, że napisanie podręcznika jest dla studenta zbyt trudne.

W propozycji jednak jest mowa o fragmencie, a nie o całym podręczniku — a to jest zupełnie co innego, szczególnie pod kierunkiem opiekuna, który jest zainteresowany zagadnieniem opracowywanym we fragmencie.

5. Projektowanie i konstruowanie pomocy naukowych uważają autorzy za stonkowo najlepszą propozycję. Wątpliwości ich budzi fakt, że światowe firmy mogą zaprojektować i skonstruować lepsze i „trudno oczekiwać od studentów nowych i oryginalnych rozwiązań”, że praktikum warsztatowe zostało skreślone z planu i że wreszcie u nas „bywają trudności warsztatowe”.

Właśnie dlatego, że praktikum zostało skreślone, dobrze jest, aby studenci chociaż przy wykonywaniu pracy magisterskiej nabyli trochę umiejętności praktycznych. „Trudności warsztatowe” bywają także podczas wykonywania prac z fizyki doświadczalnej. Pomoce wykonywane przez firmy światowe możemy na ogół oglądać jedynie w prospektach. W Polsce jesteśmy skazani na Czas i na to, co wykonamy sami w naszych warsztatach. I tu praca studentów może się przydać. Zresztą możliwości nowych ciekawych pomysłów są nieograniczone.

6. Wreszcie sprawa prac badawczych z dydaktyki. Program przewiduje tu „pewne oryginalne doświadczenia pedagogiczne w niewielkiej skali”. Uważa jednak, że powinni je prowadzić głównie studenci studiów zaocznych. Zdanie to podzielają autorzy artykułu. Argumentem jest, że student na studiach dziennych nie ma jeszcze dostatecznego doświadczenia dydaktycznego oraz czasu na przeprowadzenie badań.

Te same zarzuty można wysunąć i do prac z fizyki doświadczalnej — brak czasu i brak doświadczenia w posługiwaniu się aparaturą. A jednak prace takie są prowadzone i aprobowane przez autorów artykułu.

Prace z fizyki doświadczalnej polegają na przeprowadzeniu drobnych fragmentów badań pod ścisłym kierunkiem opiekuna. Podobnie jest i z pracami badawczymi z dydaktyki, które mogą być wykonane w ramach praktyk pedagogicznych.

Rzeczą opiekuna w jednym i drugim przypadku (prac z fizyki doświadczalnej i prac badawczych z dydaktyki) jest wydzielenie takiego fragmentu tematu i takie zorganizowanie pracy, by student mógł zadanie wykonać z korzyścią dla siebie i z pożytkiem dla pracy naukowej opiekuna.

Jeżeli w jakimś ośrodku sprawy tak się układają, że chwilowo nie ma odpowiednich tematów czy też zainteresowanych takimi pracami opiekunów, to nie znaczy, że należy z zasady w ogóle zrezygnować z badawczych prac dydaktycznych na studiach dziennych. W innym ośrodku takie prace mogą być potrzebne i pożądane.

7. Prace magisterskie z fizyki doświadczalnej uważają autorzy za najwłaściwsze dla kierunku nauczycielskiego. Jednak odnośnie do tych prac można wysunąć tyleż wątpliwości, co i do dydaktycznych. Praca taka dotyczy zwykle wyspecjalizowanego, bardzo drobnego, zagadnienia należącego do czołówki fizyki światowej. Tutaj też, mówiąc zastosowanymi przez autorów do tematyki dydaktycznej, słowami „trudno jest oczekiwać od studentów nowych i oryginalnych rozwiązań”. Temat i wyniki pracy mogą przedstawiać bardzo wysoki poziom. Lecz gdybyśmy chcieli oszacować np. w procentach twórczy wkład studenta, to w wielu wypadkach okazałyby się on bardzo niskie. Egzamin magisterskie pokazują, że magistrant nie zawsze wie co i po co robi, nawet w przypadku studentów studiów nienauczyielskich, którzy przecież mają na zapoznanie się z teorią co najmniej 2 razy więcej czasu niż przyszli nauczyciele. Dla tych ostatnich praca z fizyki doświadczalnej sprowadza się często do pokręcania gałek niezrozumiałej aparatury i przepisania teorii z jednego artykułu lub podręcznika.

Nikt jednak nie proponuje, aby z takich prac całkowicie na kierunku nauczycielskim zrezygnować. Mają one wartość choćby dlatego, że pozwalają studentowi zetknąć się z prawdziwą pracą naukową. Właściwie dobrany temat i dobra opieka mogą znacznie zmniejszyć przedstawione wyżej wady.

Autorzy omawianego artykułu wyciągają ze swojej analizy punktów programu wniosek, że „słuszny jest postulat... rezygnacji z prac dydaktycznych na dziennych studiach nauczycielskich”.

Z zamieszczonej powyżej krytyki tej analizy wynika jednak, że postulat ten jest niesłuszny.

Program jest tak sformułowany, że pozostawia dużą swobodę w dobieraniu tematów prac magisterskich. Nie należy z góry rezygnować z żadnej wysuniętej tam propozycji. Można by nawet rozszerzyć wachlarz możliwej tematyki (np. filmy dydaktyczne, zestawy fazogramów itp.). Zależnie od specyfiki ośrodka, jego możliwości aparaturowych, warsztatowych i kadrowych mogą w nim być realizowane prace różnych typów.

Powyższe uwagi nie zostały wysnute z rozważań teoretycznych i *a priori* przyjętych założeń, lecz oparte są na stosunkowo sporym materiale doświadczalnym. W ośrodku lubelskim w Katedrze, a potem Zakładzie Fizyki Ogólnej przyszli nauczyciele wykonali ponad 120 prac magisterskich. W tym ok. 30 z fizyki doświadczalnej, ok. 50 prac dydaktyczno-konstrukcyjnych (Muzeum Fizyki, zestawy demonstracyjne, nowe zadania do pracowni), 6 przeglądowych oraz poświęconych pogłębieniu podstawowych pojęć (ciepło, praca, energia, siła elektromotoryczna itp.), 2 prace polegały na wyprodukowaniu krótkich filmów dydaktycznych, 6 prac dydaktyczno-badawczych, prowadzonych w szkołach.

We wszystkich grupach tematycznych zdarzały się prace b. dobre, na wysokim poziomie, prace średnie i prace słabe. Niektóre są opublikowane lub oddane do druku. Wyniki niektórych wejdą do przygotowywanych w Zakładzie prac doktorskich. Filmy były demonstrowane na krajowych konferencjach dydaktycznych.

Prace dydaktyczne nie są na ogół łatwiejsze od prac z fizyki doświadczalnej, a prace konstrukcyjno-dydaktyczne bywają często bardziej pracochłonne i wymagają większego wkładu twórczego. Tematy te wybierają przeważnie studenci najbardziej aktywni, samodzielni i zainteresowani fizyką.

Na koniec jeszcze jedna uwaga, myślę, że istotna. Gdybyśmy całkowicie zrezygnowali z prowadzenia prac magisterskich dydaktycznych, odbiłoby się to niekorzystnie na liczbie i poziomie prac doktorskich z dydaktyki fizyki. Opieka nad takimi pracami przyczynia się do rozwoju pracowników naukowych i podnosi ich rangę. Drobne zaś elaboraty, przeglądy i badania fragmentaryczne tworzą grunt, na którym mogą wyrosnąć prace prawdziwie naukowe.

Wszystkie powyższe uwagi stosują się oczywiście również i do studiów zaocznych. Ci jednak, którzy prowadzili pracę z magistrantami studiów zaocznych, wiedzą niewątpliwie, że studenci ci mogą na pracę magisterską poświęcić znacznie mniej czasu niż studenci studiów stacjonarnych. Kontakt opiekuna z nimi jest luźniejszy. Dzięki temu kierowanie pracą jest trudniejsze i rezultaty na ogół gorsze.

Jeżeli jeszcze weźmiemy pod uwagę fakt, że liczba studentów studiów zaocznych zmniejsza się i niektóre uniwersytety już w tym roku nie mają na te studia naboru, to oczywisty stanie się wniosek, że zakłady dydaktyki nie powinny rezygnować z prowadzenia prac magisterskich na studiach stacjonarnych.

Danuta Stachórska

Instytut Fizyki UMCS
Lublin

Festiwal Nobla 1977

W czasie mego pobytu w Sztokholmie, w grudniu ubiegłego roku, miałem okazję, dzięki uprzejmości moich szwedzkich przyjaciół, brać udział w Festiwalu Nobla 1977 i być na uroczystości wręczenia nagród Nobla za rok 1977. Wydaje mi się, że Czytelników *Postępów Fizyki* może zainteresować jej opis — wśród laureatów było aż trzech znakomitych fizyków.

Uroczystość wręczenia nagród odbyła się 10 grudnia 1977 w wielkiej sali koncertowej filharmonii sztokholmskiej. Rozpoczęła się punktualnie o 16³⁰, a już na godzinę przed tym publiczność, tylko za okazaniem zaproszeń, zaczęto wpuszczać do dobrze obstawionego (ze zrozumiałych względów) przez policję gmachu. Sprawdzanie zaproszeń nie było jednak zbyt rygorystyczne. Sala robiła niezwykle kolorowe wrażenie. Parter prawie w całości zajmowały rodziny laureatów, członkowie rządu szwedzkiego z premierem T. Fälldinem na czele, korpus dyplomatyczny, zaproszeni goście. Panie, zgodnie z obowiązującym zwyczajem, w długich wieczorowych sukniach, obwieszone (chyba nie sztuczną) biżuterią, panowie we frakach. Gdzieś tam przedstawiciele Środkowego Wschodu, Afryki i Azji w strojach narodowych. Dwa balkony i tzw. jaskółka były już mniej kolorowe. Miejsca tam zajmowali przedstawiciele instytucji Fundacji Nobla i innych instytutów naukowych, prasy, radia i telewizji, studenci. Ta część publiczności, choć też ubrana uroczysto, była wyraźnie mniej barwna i mniej bogata.

Wręczenie nagród odbywało się na scenie filharmonii, która pięknie udekorowana olbrzymią ilością bukiecików różowych goździków, była podzielona na trzy poziomy. Na poziomie najniższym, najbliższym publiczności, ustawione były cztery fotele dla szwedzkiej pary królewskiej i księcia Bertil z małżonką. Za tymi fotelami stało 6 krzesel dla wprowadzających laureatów przedstawicieli poszczególnych akademii szwedzkich. Po lewej stronie sceny stały w małym półkolu fotele dla dziewięciu laureatów. W części centralnej sceny — popiersie Nobla naturalnej wielkości. Drugi poziom sceny to ustawione schodkowo krzesła dla członków Akademii Szwedzkiej (jest ich tylko osiemnastu „nieśmiertelnych”), Królewskiej Akademii Nauk, Instytutu Karolińskiego i innych czołowych przedstawicieli nauki szwedzkiej (ok. 120 miejsc). Trzeci, najwyższy poziom zajmowała stuosobowa orkiestra filharmonii sztokholmskiej pod dyrekcją Siga Vesterberga.

Już o godz. 16³⁰ oba wyższe poziomy sceny były w pełni zajęte. Punktualnie o 16³⁰ wchodzi Król Szwecji Karol XVI Gustaw, Królowa Sylwia oraz stryj króla książę Bertil z małżonką. Orkiestra gra hymn narodowy Szwecji, publiczność śpiewa. Potem orkiestra zaczyna grać „Trumpet Voluntary” Jeremiaha Clarke’a i jednocześnie na scenę wchodzi, poprzedzani parą studentów przepasanych szarfami o barwach narodowych Szwecji i w białych czapkach, laureaci Nagród Nobla 1977. Laureatom towarzyszą profesorowie wprowadzający. Pierwsi idą fizycy — prof. J. H. Van Vleck, za nim prof. N. Mott i prof. P. W. Anderson, dalej chemik I. Prigogine i laureaci nagrody z medycyny i ekonomii. Przemówienie otwierające wygłasza prof. Sune Bergström, przewodniczący Zarządu Fundacji Nobla. Przypomniawszy, że Alfred Nobel ustanawiając w swoim testamencie nagrody za prace z fizyki, chemii i medycyny pragnął umożliwić twórczym badaczom, bez względu na ich narodowość, całkowite poświęcenie się ich pracy badawczej. Ustanowienie nagrody z literatury i nagrody pokojowej odzwierciedla szerokie horyzonty Nobla. Głęboka wiara Nobla w możliwości rozwoju znajduje uzasadnienie w osiągnięciach obecnej nauki. Głównym problemem do rozwiązania pozostaje zamknięcie przepaści między krajami uprzemysłowionymi a krajami słabo rozwiniętymi. Konieczny jest

dalszy rozwój współpracy między badaczami różnych krajów. Tylko nowe odkrycia podstawowe i szerokie ich wykorzystanie mogą zapewnić właściwy postęp.

Prezentację laureatów rozpoczyna prof. Per-Olov Löwdin charakteryzując krótko osiągnięcia trzech laureatów nagrody zespołowej z fizyki (700000 Skr — 155000 \$). Nagrodę tę otrzymują: prof. Philip W. Anderson (Murray Hill, USA), prof. Sir Nevil Mott (Cambridge, W. Brytania) oraz prof. John H. Van Vleck (Boston, USA) za fundamentalne badania teoretyczne struktury elektronowej układów magnetycznych i nieuporządkowanych. Pierwszy wchodzi na środek sceny prof. Van Vleck. Król Karol XVI Gustaw zbliża się do niego, podaje mu rękę i wręcza dyplom i medal. Król i publiczność biją brawo. W czasie wręczenia nagrody królowa, rodzina królewska i cała publiczność stoją. Po Van Vlecku podchodzą po nagrodę kolejno Mott i Anderson.

Następnie Nagrodę Nobla 1977 z chemii za wkład do niestacjonarnej termodynamiki, w szczególności za teorię struktur rozproszonych, otrzymuje prof. Ilya Prigogine z Brukseli (prof. Prigogine jest z pochodzenia Rosjaninem, a jego żona Polką).

Kolejno, król wręcza nagrody z medycyny. Otrzymują je Rosalyn S. Yalow oraz R. Guillemin i A. V. Schally (wszyscy z USA) za badania w dziedzinie białka hormonalnego. Warto podkreślić, że dr Andrzej V. Schally jest Polakiem, urodzonym w Wilnie, synem generała Wojsk Polskich. W czasie wojny był więźniem niemieckich obozów koncentracyjnych. Publiczność szczególnie gorąco oklaskuje panią Yalow, pierwszą po jedenastoletniej przerwie kobietę, która otrzymała Nagrodę Nobla.

Poeta hiszpański Vicente Aleixandre, laureat nagrody z literatury, nie mógł przybyć do Sztokholmu z powodu choroby i podeszłego wieku. Nagrodę z rąk króla odbiera w jego imieniu młody poeta hiszpański adwokat J. J. Padron, przyjaciel Aleixandre'a.

Ostatnim punktem programu jest wręczenie nagrody ufundowanej trzy lata temu przez Bank Szwedzki za wkład do nauk ekonomicznych. Otrzymują ją prof. Bertil Ohlin (Szwecja) i prof. James Meada (Wielka Brytania).

Na zakończenie orkiestra gra stary hymn narodowy Szwecji „Du gamla du fria” — „Ty stary, ty wolny kraju”. Publiczność podchwytuje melodię i stojąc śpiewa, po czym król wraz z otoczeniem opuszcza salę. Na scenie laureaci gratulują sobie nawzajem.

W czasie wręczania nagród na placu przed filharmonią odbyła się cicha demonstracja członków międzynarodowej organizacji International Amnesty na rzecz zniesienia kary śmierci. Organizacja ta otrzymała Pokojową Nagrodę Nobla 1977, wręczoną jej przewodniczącemu, również 10 grudnia, w Parlamencie Norweskim w Oslo.

Dalszy ciąg Festiwalu Nobla odbywał się w tzw. „Błękitnej Sali” ratusza miejskiego w Sztokholmie. Był to obiad dla 1200 osób i następnie zabawa taneczna, w której brali udział król i królowa. Z wyżej wymienionej liczby, 400 osób to studenci, którzy otrzymali bezpłatne bilety wstępu (inni goście płacili po 120 koron). Gospodarzami bału byli studenci.

Przyjętym zwyczajem laureaci wygłosili w dni poprzedzające wręczenie nagród referaty naukowe w Akademii, Uniwersytecie lub Politechnice*.

Witold Żdanowicz

Zakład Fizyki Ciała Stałego
PAN
Zabrze

* Teksty odczytów noblowskich N. Motta, Van Vlecka i Andersona zamieszczamy w następnych zeszytach (Przyp. Red.).

P T F

Nowe komisje

Zarząd Główny powołał dwie nowe komisje: Komisję Legislacyjną pod przewodnictwem Bronisława Średniawy (Kraków) i Komisję Nazewnictwa pod przewodnictwem Ludwika Natanson (Warszawa).

Zadaniem Komisji Legislacyjnej jest opieka pod działalnością prawną PTF, w szczególności przygotowanie projektu nowego statutu.

Komisja Nazewnictwa ma się zająć opracowaniem propozycji dotyczących brakujących dotychczas polskich terminów na oznaczenie określonych pojęć fizycznych oraz podawaniem wskazań co do właściwości lub niewłaściwości pewnych terminów obecnie używanych.

Oddział Wrocławski

Walne zebranie Oddziału Wrocławskiego wybrało w dniu 1 czerwca 1978 r. nowy zarząd w następującym składzie:

przewodniczący — Kazimierz Wojciechowski,
wiceprzewodniczący — S. Mięgisz,
sekretarz — J. Rogowska,
skarbnik — S. Kaszczyszyn,
członkowie: T. Hoffmann, W. Karwowski,
S. Przystański, E. Trojnar, L. Wojda,
H. Wojewoda.

Adres Oddziału: Cybulskiego 36, 50-205 Wrocław, tel. 22-33-65.

Nowy profesor

Rada Państwa nadała tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego nauk fizycznych Januszowi Leciejewiczowi, docentowi w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku.

Nagroda Państwowa za teorię transportu w półprzewodnikach

Nagroda Państwowa I stopnia w r. 1978 została przyznana zespołowi w składzie: prof. Jerzy Kołodziejczak (IF PAN), prof. Jerzy Mycielski (IFT UW), prof. Leonard Sosnowski (IFD UW i IF PAN), dr Wanda Szymańska (IF PAN) i prof. Włodzimierz Zawadzki (IF PAN) za opracowanie ogólnej teorii transportu elektronowego w półprzewodnikach.

Ogólna teoria transportu jest owocem wieloletnich badań prowadzonych w ośrodku warszawskim. Poprzednio teoria transportu w półprzewodnikach oparta była na modelu pasm energetycznych i zakładała kwadratową zależność energii od wektora falowego. Teoria ta była poprawna jedynie dla elektronu swobodnego w obszarze prędkości nierelatywistycznych. Fundamentalnym i nowym elementem teorii warszawskiej szkoły półprzewodników było potraktowanie kryształu jako szczególnej przestrzeni fizycznej, w której masa efektywna elektronu zależy od położenia, kierunku ruchu i pędu. Wychodząc z modelu pasm nieparabolicznych uzyskuje się inną niż kwadratowa zależność $E(k)$. Jest ona analogiczna do ogólnej formuły na energię elektronu relatywistycznego, wprowadzonej przez Diraca na gruncie szczególnej teorii względności. Z formalnego punktu widzenia nowa teoria transportu elektronowego w półprzewodnikach ma się tak do poprzedniej teorii jak mechanika relatywistyczna do mechaniki klasycznej.

Rozwijanie w ośrodku warszawskim nowej teorii transportu doprowadziło do:

— nowego sformułowania równania Boltzmann'a i znalezienia jego rozwiązania dla ogólnego przypadku elektronowych widm energetycznych o symetrii niesferycznej i jed-

nocześnie relatywistycznej zależności $E(k)$,

— wprowadzenia pojęcia i stabelaryzowania nowego rodzaju całek transportu,

— nowych obliczeń teoretycznych i konfrontacji z wynikami doświadczeń w zakresie zjawisk galwanomagnetycznych, termomagnetycznych, magnetoptycznych,

— wykazanie istnienia i wykonania obliczeń teoretycznych dla nowego typu zjawisk — nieliniowych zjawisk magnetoptycznych występujących w oddziaływaniu intensywnego promieniowania laserowego z elektronami w półprzewodniku,

— odkrycia nowej klasy zjawisk wynikających ze zmienności masy efektywnej wraz z położeniem elektronu.

Zastosowanie tej teorii do półprzewodników z wąską przerwą energetyczną doprowadziło do wyłonienia nowej klasy materiałów stanowiących przejście między półprzewodnikami a metalami.

Ogólna teoria transportu stanowi kompletną statystyczną teorię gazu relatywistycznego złożonego z cząstek naładowanych i wykracza poza fizykę półprzewodników.

M. Jastrzębska

Nagrody Państwowej Rady d/s Wykorzystania Energii Jądrowej

Już od dwudziestu lat Państwowa Rada d/s Wykorzystania Energii Jądrowej przyznaje corocznie nagrody za wybitne osiągnięcia w fizyce i technice jądrowej. Za r. 1977 przyznano m. in. następujące nagrody w dziedzinie nauki:

Nagroda indywidualna II stopnia — Andrzej Marcinkowski (IBJ) — za badanie mechanizmu reakcji jądrowych wywołanych przez neutrony prędkie.

Nagroda indywidualna II stopnia — Stefan Pokorski (IFT UW) — za badanie produkcji wielu cząstek przy wysokich energiach.

Nagroda indywidualna II stopnia — Janusz Wileczyński (IFJ, Kraków) — za opracowanie modelu głęboko nieelastycznych oddziaływań ciężkich jonów.

Nagroda indywidualna III stopnia — Tomasz Duracz (IBJ) — za cykl prac nad liniową teorią transportu.

Nagroda indywidualna III stopnia — Andrzej Łukasiak (IBJ) — za cykl prac nad stabilnością pierwiastków superciężkich.

Nagroda zespołowa III stopnia — Stanisław Szpikowski (IF UMCS), Maria Trajdos (IF UMCS) — za badania klastrów alfovych w jądrach atomowych.

W dziale postępu technicznego:

Nagroda indywidualna II stopnia — Andrzej Turowski (IBJ) — za badania warstw powierzchniowych metodami reakcji jądrowych.

Nagroda zespołowa II stopnia — Jerzy Piekoszewski (IBJ), Jan Suwałski (IBJ), Lech Waliś (IBJ), Ludwik Dąbrowski (ZF Politechniki Śląskiej) — za zastosowanie spektrometrii mössbauerowskiej w badaniach materiałowych.

B.W.

Członkowie zagraniczni PAN

Zgromadzenie ogólne Polskiej Akademii Nauk w dniu 16.12.1977 r. wybrało nowych członków zagranicznych. Wśród nowo wybranych są następujący fizycy:

Anatolij Pietrowicz Aleksandrow, członek i prezes Akademii Nauk ZSRR, dyrektor Instytutu Energii Atomowej im. Kurczatowa w Moskwie. Urodził się 13. 2. 1903r. w Tarasce (Ukraina). Prowadził badania w dziedzinie fizyki ciała stałego i fizyki polimerów. Po wojnie rozpoczął, wspólnie z Kurczatowem, prace nad fizyką i techniką reaktorową. Kierował projektowaniem pierwszego nawodnego okrętu z napędem jądrowym i projektowaniem elektrowni jądrowych.

Nikołaj Gennaliewicz Basow, członek Akademii Nauk ZSRR, dyrektor Instytutu Fizyki AN ZSRR. Urodził się 14. 12. 1922 r. w Woroneżu. Jest twórcą metody generowania i wzmacniania drgań elektromagnetycznych w układach kwantowych. Wspólnie z A.M. Prochorowem i C. Townesem otrzymał za te badania w r. 1964 Nagrodę Nobla. Opracował ideę lasera półprzewodnikowego. W 1961 r. podjął myśl zastosowania laserów do uzyskania syntezy jądrowej. Zajmuje się również badaniami chemicznych generatorów kwantowych.

Nikołaj Wasilewicz Bielow, członek Akademii Nauk ZSRR, profesor Instytutu Krytalografii AN ZSRR. Ma wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki kryształów, jest prekursorem rentgenowskiej analizy strukturalnej w ZSRR. Jest aktualnie prezydentem Międzynarodowej Unii Krytalograficznej.

Siergiej Wasilewicz Wonsowski, członek Akademii Nauk ZSRR, przewodniczący Oddziału Uralskiego AN ZSRR, profesor Państwowego Uniwersytetu Uralskiego. Urodził się 2. 9. 1910 r. w Taszkencie. Prowadzi badania w dziedzinie kwantowej teorii ciała stałego, w szczególności ferro i antyferromagnetyków, wieloelektronowej teorii metali i półprzewodników, rezonansu ferromagnetycznego. Dał podstawy teorii ferromagnetyzmu stopów. Ma wybitne wyniki w teorii nadprzewodnictwa metali przejściowych.

Nauka Polska 26, No 5 (1978)

Nagroda Hewlett-Packarda

Nagrodę Hewlett-Packarda, przyznawaną przez Europejskie Towarzystwo Fizyczne, otrzymał w r. 1978 Zores Iwanowicz Alferow z Fizyko-Technicznego Instytutu A. F. Joffego w Leningradzie za wybitny wkład w poznanie natury i praktyczną realizację heterozłącz półprzewodnikowych. Już przed piętnastu laty Alferow przewidział teoretycznie możliwość uzyskania złącza z dwóch różnych związków półprzewodnikowych. Praktyczna realizacja tego napotykała jednak duże trudności i dopiero zastosowanie przez Alferowa i jego współpracowników kryształów arsenku galu i arsenku aluminium dało pożądaną efekt. Heterozłącza pozwoliły na stworzenie nowej klasy przyrządów optoelektronicznych, m. in. laserów o ciągłej zmianie długości fali, baterii słonecznych o dużej wydajności, konwertorów długości fali.

Europhysics News 9, No 5, 1978

Medal Maxa Borna

Medal i Nagrodę Maxa Borna za r. 1978 otrzymał Herbert Walther (Uniwersytet w Monachium) za wielostronne i wybitne prace w dziedzinie spektroskopii laserowej o wielkiej zdolności rozdzielczej. Sponsorami tej nagrody są wspólnie brytyjski Instytut Fizyki i Niemieckie Towarzystwo Fizyczne.

Phys. Blatter 34, No 4, 1978

Nagroda za zastosowania przemysłowe fizyki

Amerykański Instytut Fizyki chcąc podnieść rangę przemysłowych zastosowań fizyki

i zwrócić uwagę ogółu fizyków na rolę jaką fizyka odgrywa w rozwoju przemysłu ustanowił Nagrodę za Zastosowania Przemysłowe Fizyki. Nagroda, w wysokości 5000 dol. jest finansowana ze składek opłacanych przez członków wspierających (stowarzyszonych) Amerykańskiego Instytutu Fizyki i będzie przyznawana co dwa lata.

Pierwszą Nagrodę za Zastosowania Przemysłowe Fizyki otrzymał w r. 1978 Robert D. Mauer z firmy Corning Glass za wkład, jaki wniósł do praktycznych zastosowań komunikacji optycznej poprzez odkrycie nowych materiałów i opracowanie nowych technologii wytwarzania włókien szklanych do prowadnic świetlnych.

Dr R. D. Mauer jest wychowankiem MIT i od 1963 r. pracuje w firmie Corning Glass, gdzie obecnie kieruje zespołem zajmującym się technologią prowadnic światła. Jest członkiem Komitetu Telekomunikacji Narodowej Rady Badań Naukowych.

Physics Today 31, No 3, 1978

Amerykańska nagroda dla radzieckich fizyków

S. Polikanow (Dubna) i W. Strutinski (Kijów) otrzymali Nagrodę Toma Bonnera przyznaną im przez Amerykański Instytut Fizyki za ich wybitny wkład w odkrycie i wyjaśnienie zjawiska rozszczepienia izomerycznego.

CERN Courier 18, No 5, 1978

Nowy członek Royal Society

A. F. Gibson, kierownik działu laserów Laboratorium Rutherforda, został wybrany członkiem Londyńskiego Towarzystwa Królewskiego w uznaniu za wkład do fizyki ciała stałego i za zastosowanie wyników swoich badań do opracowania detektorów i modulatorów laserowych.

CERN Courier 18, No 5, 1978

Joseph Henry (1797 — 1878)

Joseph Henry, pochodzący z rodziny szkockiej, urodzony w Albany w stanie Nowy Jork 17 grudnia 1797 r., albo według

innych 1799 r., nie chciał się przykładać do nauki w szkole w Galway i poszedł na praktykę do zegarmistrza. Uczęszczał na kursy wieczorowe w Albany Academy, interesując się zwłaszcza chemią, anatomią i fizjologią. Zamierzał zostać lekarzem. Pomagał przy demonstracjach chemicznych. Przez jakiś czas interesował się inżynierią budowlaną. W 1826 r. został wykładowcą matematyki i przyrody z Albany Academy. Zaczął prowadzić doświadczenia z elektromagnesami. Wyniki referował w Albany Institute, np. w 1827 r. *Pewne modyfikacje aparatu elektromagnetycznego*.

W maju 1830 r. poślubił pannę Harriet Alexander. Doczekali się sześciorga dzieci. Na razie młody uczoney zabrał się z zapałem do pracy laboratoryjnej, zwłaszcza do ulepszenia elektromagnesów. Stosując jedwab ze ślubnej sukni żony do izolacji przewodów elektrycznych nawinął wiele warstw zwojów i potrafił uzyskać najsilniejsze w owym czasie elektromagnesy. Nici jedwabne były do czasu wynalezienia izolacji z plastyków często stosowane do izolacji zwojów kosztowniejszych elektromagnesów laboratoryjnych. J. Henry był pełen inwencji. Przypisuje mu się wynalezienie motoru elektrycznego w 1831 r., wynalezienie przekątnika elektromagnetycznego i telegrafu elektromagnetycznego. W 1831 roku J. Henry odkrył zjawisko indukcji elektromagnetycznej, jednak Michael Faraday w Londynie pierwszy opublikował to wielkie odkrycie.

W lipcu 1832 r. J. Henry opublikował w *American Journal of Science* pracę formułującą pojęcie indukcji wzajemnej i indukcji własnej. Zrozumiał i wyjaśnił zmianę współczynnika indukcji wzajemnej z odległością obwodów. Wymyślił uzwojenie bezindukcyjne. Podał zasadę transformatora elektromagnetycznego. Budował galwanometry nisko- i wysokooporowe. W 1842 r. wykazał oscylacyjny charakter wyładowania elektrycznego butelki lejdejskiej. Udało mu się namagnesować igłę przez działanie prądu pochodzącego z wyładowania atmosferycznego. W 1844 r. Henry opublikował pracę teoretyczną formułującą zasadę zachowania energii. Od 1832 r. J. Henry był profesorem filozofii naturalnej w College of New Jersey, z którego powstał późniejszy Princeton University.

Tymczasem 26 czerwca 1819 roku w Genui zmarł chemik i mineralog angielski James Smithson, dziedzic rodzinnej fortuny, którą zapisał swemu siostrzeńcowi, Henry'emu Jamesowi Hungerfordowi, z tym, że jeśli ten zmarł bezpotomnie, cały majątek ma być przeznaczony na założenie w Waszyngtonie „Smithsonian Institution for the increase and diffusion of knowledge among men”. Henry James zmarł bezpotomnie w 1835 r. Zgodnie z zapisem skarbiec przewieziono do Waszyngtonu. Kongres Stanów Zjednoczonych debatował przez 10 lat, czy może testament Smithsona przyjąć. W 1846 r. Kongres zaakceptował zapis i utworzył fundację, na czele której miał stać prezydent Stanów, wiceprezydent, Sędzia Sądu Najwyższego i ministrowie gabinetu. Regenci fundacji rozejrzeli się za sekretarzem naukowym. Kierując się względami merytorycznymi wybrali Josepha Henry.

Henry z ogromną energią przystąpił do organizowania Smithsonian Institution. Wkrótce został jego dyrektorem. W fundacji zgromadzono duże zbiory muzealne, zwłaszcza botaniczne, zoologiczne i etnograficzne, w szczególności dotyczące ginących szczepów Indian północnej Ameryki. J. Henry zorganizował międzynarodową wymianę publikacji naukowych. Zapoczątkował również i przy pomocy ochotników przez 30 lat prowadził systematyczne obserwacje pogody. Zorganizował zapisy meteorologiczne i wykreślanie map pogody. Od 1850 r. dane meteorologiczne przekazywano telegrafem. W ten sposób Henry stworzył podstawy Biura Pogody Stanów Zjednoczonych.

Był nie tylko organizatorem ale i czynnym kierownikiem badań naukowych. W szczególności interesował się promieniowaniem słonecznym. Przy pomocy bolometrów i termogalwanometrów stwierdził, że plamy na Słońcu emitują mniej promieniowania niż średnio powierzchnia Słońca. Prowadził także prace nad ulepszeniem akustycznej sygnalizacji przybrzeżnej, zwłaszcza w gęstej mgłę. W 1852 r. został członkiem zarządu latarni morskich, któremu przewodniczył od 1871 do 1878 r. Od 1866 r. jako jeden z założycieli Narodowej Akademii Nauk został jej wiceprzewodniczącym, a w latach 1868—1878 był jej przewodniczącym. Zmarł w Waszyngtonie 13 maja 1878 r.

Pisma naukowe J. Henry wydano w dwóch

tomach w 1886 r. Biografię *Joseph Henry, his Life and Work* wydał Thomas Coulson.

Dla uczczenia odkrycia indukcji własnej i wzajemnej, jednostkę indukcji nazwano „henr”. 1 henr, H, jednostka indukcyjności w międzynarodowym układzie jednostek SI, to indukcyjność obwodu, w którym prąd zmieniający się z równomierną prędkością 1 amper/sek wywołuje siłę elektromotoryczną 1 wolta. Tak więc $1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s/A} = 10^9 \text{ cm}$ w układzie elektromagnetycznym CGS.

M. Suffczyński

Uczeni o energii jądrowej

Czternastu uczonych z Japonii, Francji, Kanady, USA i ZSRR ogłosiło następujący memoriał na temat wykorzystania energii jądrowej:

„Z okazji Międzynarodowego Forum Naukowego poświęconego przyszłości energetyki jądrowej, które odbyło się w dniach 7—11 listopada 1977 r. w Fort Lauderdale w stanie Floryda i było zorganizowane przez Centrum Badań Teoretycznych Uniwersytetu w Miami, niżej podpisani rozważyli globalne zapotrzebowanie energetyczne na przyszłość, a także konieczny rozwój działalności w skali światowej, który pozwoliłby sprostać temu zapotrzebowaniu. Ogólnie uzgodniono co następuje:

1) Światowy popyt na energię będzie wzrastał silnie w miarę jak standard życia i liczebność populacji będą wzrastały w następnych kilku dziesięcioleciach.

2) Niezaspokojenie tego popytu doprowadzi do poważnych kłesk społecznych takich jak nędza, głód, niepokoje, epidemie, rozruchy, wojny.

3) Żadna poszczególna technologia nie będzie sama w stanie zaspokoić przyszłego światowego popytu energetycznego. Jest prawdopodobne, że wszystkie technologie, takie jak spalanie konwencjonalnych paliw kopalnych, rozszczepienie jąder, fuzja jądrowa, energia geotermiczna oraz słoneczna będą potrzebne dla jakościowego i ilościowego zaspokojenia tego popytu. Obecnie żadna szczególna technologia też nie jest w stanie zaspokoić wszystkich potrzeb.

4) Energia rozszczepienia jąder musi ode-

grać znaczącą rolę w zaspokajaniu światowego popytu przez kilka następnych dziesięcioleci i w tym okresie nie można z niej zrezygnować nie podejmując nadmiernego ryzyka.

5) Samo wydobycie uranu nie może całkowicie zagwarantować wystarczających dostaw paliwa jądrowego dla wielu narodów. Chociaż zapotrzebowanie na energię pochodzącą z rozszczepienia jądrowego będzie się zmieniać w zależności od kraju, to jednak nie wolno rezygnować z przerobu paliwa. Co więcej, przerób paliwa jest najlepszym sposobem postępowania z wypalonym paliwem i najlepszym sposobem zabezpieczenia odpadów jądrowych.

6) Istnieją liczne systemy, które mogą wspomagać lub zastąpić najszerzej obecnie stosowaną technologię reaktorów z lekką wodą. Należą do nich prędkie reaktory powielające, wysokotemperaturowe reaktory gazowe, reaktory z ciężką wodą i reaktory jednorodne. Rozwój tych systemów powinien być kontynuowany w ramach międzynarodowych, choć niekoniecznie wszystkich systemów we wszystkich krajach.

7) Praktyczne rozpatrzenie możliwości wytwarzania i rozwijania potrzebnej liczby reaktorów nakazuje, by systemy obecnie dobrze już pracujące były kontynuowane, a ich instalowanie było popierane przez rządy tak długo aż systemy ulepszone nie będą w pełni dostępne oraz w pełni zaakceptowane z technicznego, ekonomicznego i przemysłowego punktu widzenia.

Cykl paliwowy pluton-uran wykazuje szczególne zalety w reaktorach z prędkimi neutronami, a cykl uran 233-tor w reaktorach termicznych. Konieczny jest dalszy rozwój obu, obejmujący wszystkie stopnie niezbędne dla pełnego wprowadzenia do praktyki.

9) Osiągnięto imponujący postęp w kierunku wykazania naukowej możliwości zrealizowania systemów fuzji jądrowej, opartych na zasadzie skupienia magnetycznego i inercjalnego. Uzyskano także postęp w wyborze systemów, które na dłuższą metę mogą okazać się ekonomicznie dogodne. Rozwój tych systemów, już obecnie postępujący w znacznej mierze dzięki współpracy międzynarodowej, powinien być dalej żywo popierany w ramach międzynarodowych z tym,

że znowu nie wszystkie systemy nie we wszystkich krajach. Jednakże przypuszczalny pomyślny rozwój technologii fuzji jąder nie powinien opóźniać rozważnego i koniecznego rozwoju technologii opartej na rozszczepieniu. Możliwe jest, że pierwsze techniczne zastosowanie syntezy nastąpi w systemie hybrydowym rozszczepienie-synteza.

1) Jest sprawą ogólnie uznaną, że rozwijanie na wielką skalę energetyki opartej na rozszczepieniu jąder lub na systemach hybrydowych obejmujących rozszczepienie i syntezę, nasuwa problemy zabezpieczenia przeciw potencjalnej dywersji, a więc przeciwko rozprzestrzenianiu się broni jądrowej. Jesteśmy ufni, że wspólnota międzynarodowa może i powinna podjąć polityczne, instytucjonalne i techniczne środki zapobiegawcze, które będą skuteczne w zmniejszaniu niebezpieczeństwa rozprzestrzeniania się tej broni przy zachowaniu korzyści gospodarczych jakie daje energia jądrowa. Dlatego nie podzielamy poglądu, że groźba proliferacji winna powstrzymać wykorzystywanie energii jądrowej.

11) Ryzyko z mogącej wyrządzić szkody awarii istniejących reaktorów jest tak małe, że można je podjąć; wierzymy, że przy odpowiednim wykorzystaniu gromadzonych doświadczeń będzie ono nawet malało w miarę wzrostu liczby reaktorów.

12) Energia słoneczna może mieć swój udział w kompleksowym systemie energetycznym przyszłości. Zakres jej udziału będzie zależał od argumentów ekonomicznych. Trudno jest określić, jakie będą ostatecznie te parametry ekonomiczne, zanim nie będziemy mieli praktycznego doświadczenia w większej skali; obecnie parametry te okazują się niepomyślne.

13) Zaspokojenie popytu energetycznego stale jeszcze szybko rosnącej populacji świata, która ma prawo oczekiwać wyższego standardu życia, wymaga mobilizacji na dużą skalę siły roboczej, materiałów, kapitału oraz umiejętności technicznych i kierowniczych. Powinno być stałą troską rządów aby sprostać tym zadaniom w sposób ekonomiczny i skuteczny, aby uniknąć przeceniania światowych możliwości produkcyjnych i środków zaradzania niedostatkom.

14) Światowe problemy energetyczne są niezwykle pilne, co w szczególności wobec długiego czasu między podjęciem decyzji

a uzyskaniem efektu wymaga niezwłocznego określenia i realizowania programów krajowych oraz nawiązania współpracy międzynarodowej dla podjęcia zadań i sprawiedliwego podziału korzyści.

Nikołaj G. Basow (Instytut Fizyki AN ZSRR im Lebidiewa, Moskwa)

Hans A. Bethe (Cornell Univ., Ithaca, N. Y.)

Karl Cohen (General Electric Co., San Jose, Calif.)

Floyd Culler (Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, Tenn.)

Robert Hofstadter (Stanford Univ., Stanford, Calif.)

Behram Kursunoglu (Center for Theor. Studies, Univ. of Miami, Florida)

W. Bennet Lewis (Queen's Univ., Ontario, Canada)

Marjorie P. Meinel (Univ. of Arizona, Tucson, Arizona)

Keichi Oshima (Univ. w Tokio, Japonia)

Edward Teller, (Stanford Univ., Stanford, Calif.)

Alvin Weinberg (Inst. for Energy Analysis, Oak Ridge, Tenn.)

Eugene P. Wigner (Princeton Univ., Princeton, N. J.)

Pierre Zaleski (Ambasada Francji w Waszyngtonie)

Edwin Zebrowski (Electric Power Res. Inst., Palo Alto, Calif.).

Projekt synchrotronu chińskiego

W Instytucie Fizyki Wysokich Energii w Pekinie rozpoczęto wstępne studia techniczne synchrotronu protonowego na energie w zakresie 30—50 GeV. Ocenia się, że przemysł chiński jest w stanie zrealizować budowę takiego urządzenia. Projekt zakłada, że akcelerator będzie mógł być wykorzystany w przyszłości jako injektor wielkiego akceleratora wiązek przeciwbieżnych, przyspieszającego cząstki do energii kilkuset GeV w układzie środka masy.

Projektuje się budowę synchrotronu o średnicy 460 m i szczytowym polu magnetycznym około 1.6 T. Jako injektor służyć będzie akcelerator liniowy przyspieszający protony do energii 200 MeV. Natężenie wiązki wychodzącej z synchrotronu ma osiągnąć $5 \cdot 10^{13}$ protonów na impuls przy częstotliwości około jed-

nego impulsu na 3 sekundy. Synchrotron ma być zbudowany w ciągu najbliższych pięciu lat.

CERN Courier 18, No 5, 1978

Łamanie parzystości w neutralnych prądach słabych

Pierwszą obserwację łamania parzystości przez neutralny prąd słaby (zob. *Postępy Fizyki* 28, 405 (1977)) zanotowali fizycy z Nowosybirsk przy pomiarach polaryzacji światła laserowego przechodzącego przez pary bizmutu. W atomach tak ciężkich jak bizmut elektrony znajdują się na tyle blisko jądra atomowego, że odczuwają mierzalny wpływ oddziaływań słabych z nukleonami w jądrze. Jeśli oddziaływania neutralnych prądów słabych nie zachowują parzystości, to powodują one skrócenie płaszczyzny polaryzacji światła

laserowego. Dużym problemem przy teoretycznych przewidywaniach tego efektu są obliczenia struktur atomowych dla ciężkich pierwiastków, uwzględniające skomplikowane efekty ekranowania. Otrzymane wcześniej wyniki podobnych doświadczeń wykonywanych przez grupy w Seattle i Oxfordzie nie wskazywały na istnienie efektu łamania parzystości. Grupa z Nowosybirsk zaobserwowała skrócenie płaszczyzny polaryzacji światła laserowego średnio o około 7×10^{-8} , radianów, co dobrze zgadza się z przewidywaniami standardowego modelu dla neutralnych prądów słabych zaproponowanego przez Weinberga i Salama. Bardziej bezpośrednie pomiary rozpraszania spolaryzowanych elektronów na nukleonach wykonane w SLAC-u (Stanford) potwierdziły istnienie łamania parzystości w neutralnych prądach słabych oraz przewidywania modelu Weinberga-Salama.

CERN Courier 18, nr 6, 1978

Informacja dla Autorów

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

1. Maszynopisy pracy (oryginał i jedną kopię) należy nadsyłać pod adresem: Redakcja Postępów Fizyki, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres do dalszej korespondencji (do przesłania korekty i honorarium autorskiego). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.

2. 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.

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

4. Rozdziały, paragrafy, wzory, rysunki, tablice i odsyłacze do literatury należy numerować kolejno przy użyciu cyfr arabskich. Prosimy używać liter tylko łacińskich i greckich oraz nawiasów okrągłych, kwadratowych czy sześciennych i wpisywać je ręcznie przy braku odpowiednich czcionek.

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

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

7. Wszelkie przypisy i uwagi, numerowane kolejno gwiazdkami, winny być zamieszczone nie w spisie literatury, a u dołu strony, na której są odsyłacze.

8. Spis literatury winien być sporządzony według wzoru:

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

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

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

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

9. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej, którą należy zwrócić w ciągu 3 dni pod adresem: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Dział Czasopism, ul. Smoleńsk 14, 31-112 Kraków. Przetrzymywanie korekty może spowodować przesunięcie artykułu do następnego zeszytu.

10. Autor otrzymuje bezpłatnie 25 egz. odbitek pracy. Dodatkowe odbitki można zamawiać odpłatnie przy przesłaniu korekty autorskiej. Cena za 1 egz. odbitki o objętości 1—16 s. wynosi zł 8,—

POSTĘPY FIZYKI

(dwumiesięcznik)

Warunki prenumeraty czasopisma

Cena prenumeraty: półrocznie zł 45.—
rocznie zł 90.—

Prenumeratę na kraj przyjmują Oddziały RSW „Prasa—Książka—Ruch” oraz urzędy pocztowe i doręczyciele w terminach:

do dnia 25 listopada na styczeń, I kwartał, I półrocze roku następnego i cały rok następny

do dnia 10 każdego miesiąca poprzedzającego okres prenumeraty na pozostałe okresy roku bieżącego

Jednostki gospodarki uspołecznionej, instytucje i organizacje społeczno-polityczne składają zamówienia w miejscowych Oddziałach RSW „Prasa—Książka—Ruch”.

Zakłady pracy w miejscowościach, w których nie ma Oddziałów RSW oraz prenumeratorzy indywidualni, zamawiają prenumeratę w urzędach pocztowych lub u doręczycieli.

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę, która jest o 50% droższa od prenumeraty krajowej, przyjmuje RSW „Prasa—Książka—Ruch”, Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto PKO nr 1531-71, w terminach podanych dla prenumeraty krajowej.

Bieżące i archiwalne numery można nabywać lub zamówić we Wzorcowni Wydawnictw Naukowych PAN — Ossolineum — PWN, Pałac Kultury i Nauki (wysoki parter) 00-901 Warszawa oraz w księgarniach naukowych „Domu Książki”.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order stating the period of time, subscriber's name and address can be sent to any subscription agent or directly to Foreign Trade Enterprise ARS POLONA—RUCH, 00-068 Warszawa, Krakowskie Przedmieście 7, P. O. Box 1001, Poland.

Please send payments (annual subscription US \$ 18) to the account of ARS POLONA—RUCH, through Bank Handlowy S. A., Traugutta 7, 00-067 Warszawa, Poland.

Tylko prenumerata zapewnia regularne otrzymywanie czasopisma

TREŚĆ

A. Hrynkiewicz — Rola fizyki we współczesnym świecie	471
A. Tuross — Zastosowania akceleratorów w pozajądrowych badaniach fizycznych	479
J. Bartke — Oddziaływania cząstek wirtualnych	497
WSPOMNIENIA-ROZMOWY	
M. Mięrowicz — Wspomnienie o I Międzynarodowej Konferencji Promieni Kosmicznych w Krakowie (1947)	513
J. Szpilecki — W 15 rocznicę śmierci Zygmunta Klemensiewicza	519
ROZMOWY	
O nauce. Z profesorem Johnem Archibaldem Wheelerem rozmawia Jiří Bičák (tłum. Z. Ajduk)	523
ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH	
J. Buchert, S. Marek, R. Sikorski — Wykorzystanie własności widikonu do obserwacji rozkładu natężenia światła prążków interferencyjnych w zjawiskach dyfrakcji	535
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	
K. Blinowska — Zimowa Szkoła Fizyki Medycznej i Biocybernetyki w Szklarskiej Porębie	537
RECENZJE	
A. Oleś, F. Kajzar, M. Kucab, W. Sikora — Magnetic Structures Determined by Neutron Diffraction (H. Cofta)	539
I. Tarjan — Fizyka dla przyrodników (M. Kucharski)	540
LISTY DO REDAKCJI	
M. Sawicki — W obronie prac magisterskich z dydaktyki fizyki.	543
D. Stachórska — O pracach magisterskich z fizyki na specjalności nauczycielskiej	545
W. Żdanowicz — Festiwal Nobla 1977.	548
KRONIKA	
CONTENTS	
A. Hrynkiewicz — Role of Physics in the Contemporary World	471
A. Tuross — Applications of Ion Accelerators in Physical Research Outside Nuclear Physics	479
J. Bartke — Interactions of Virtual Particles	497
RECOLLECTIONS-ANNIVERSARIES	
M. Mięrowicz — Reminiscences on 1st International Cosmic Ray Conference in Cracow 1947	513
J. Szpilecki — On the 15th Anniversary of Zygmunt Klemensiewicz's Death	519
DEBATES	
Professor John Archibald Wheeler is interviewed by Jiří Bičák	523
PROBLEMS OF TEACHING PHYSICS IN ACADEMIC SCHOOLS	
J. Buchert, S. Marek, R. Sikorski — The Application of the Vidicon for the Lecture-room Demonstration of the Intensity Distribution of Interference Fringes	535
MEETINGS AND CONFERENCES	
REVIEWS	
LETTERS TO EDITOR	
CHRONICLE	