
PTF

DWUMIESIĘCZNIK
POŚWIĘCONY
UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY
FIZYCZNEJ

POSTĘPY FIZYKI

TOM 43
ZESZYT 5
1992

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes

Prof. dr STEFAN POKORSKI

Wiceprezesa

Prof. dr JERZY NIEWODNICZAŃSKI

Prof. dr TADEUSZ SKALIŃSKI

Sekretarz Generalny

Dr ZYGMUNT AJDUK

Skarbnik

Dr LUCJAN ZEMŁO

Członkowie Zarządu

Dr ZOFIA GOŁĄB-MEYER

Prof. dr STANISŁAW K. HOFFMANN

Mgr BOŻENA MOLDENHAWER

Doc. dr IRENEUSZ STRZAŁKOWSKI

Prof. dr JERZY WDOWCZYK

Prof. dr CECYLIA WESOŁOWSKA

Mgr MARIA ZABOROWSKA-KUŚMIEREK

oraz redaktorzy naczelni czasopism PTF

Prof. dr ADAM SOBICZEWSKI - *Postępy Fizyki*

Prof. dr JERZY PROCHOROW - *Acta Physica Polonica A*

Prof. dr WIESŁAW CZYŻ - *Acta Physica Polonica B*

Prof. dr JAN KALINOWSKI - *Delta*

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

Przewodniczący Oddziałów Towarzystwa

Prof. dr MICHAŁ ŚWIĘCKI (Białystok)

Prof. dr BRONISŁAW GRZEGORZEWSKI
(Bydgoszcz)

Dr WŁODZIMIERZ ZAPART (Częstochowa)

Dr hab. CZESŁAW SZMYTKOWSKI (Gdańsk)

Dr TOMASZ GOSLAR (Gliwice)

Doc. dr WIESŁAWA ZAREK (Katowice)

Dr ADAM S. WROŃSKI (Kielce)

Prof. dr ANDRZEJ KISIEL (Kraków)

Prof. dr STANISŁAW HAŁAS (Lublin)

Doc. dr BAZYLI BOŃCZAK (Łódź)

Dr hab. JÓZEF MUSIELOK (Opole)

Prof. dr STANISŁAW K. HOFFMANN (Poznań)

Prof. dr MAREK RYTEL (Rzeszów)

Dr HENRYK WREMBEL (Słupsk)

Prof. dr TADEUSZ REWAJ (Szczecin)

Prof. dr FRANCISZEK ROZPŁOCH (Toruń)

Doc. dr IRENEUSZ STRZAŁKOWSKI

(Warszawa)

Prof. dr ZYGMUNT GALASIEWICZ (Wrocław)

ADRES ZARZĄDU

00-681 Warszawa, ul. Hoża 69

tel. 21 26 68

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECHNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ

TOM 43, ZESZYT 5
1992

Zeszyt dofinansowany
przez Komitet Badań Naukowych

Dział Wydawnictw Instytutu Fizyki PAN
Warszawa 1992

RADA REDAKCYJNA

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

KOMITET REDAKCYJNY

**Redaktor Naczelny: Adam Sobiczewski
Członkowie Redakcji: Paweł Sobkowicz, Magdalena Staszal, Barbara Wojtowicz**

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

Korespondenci Oddziałów PTF

**Mgr Piotr Malinowski (Białystok)
Dr Jerzy J. Wysłocki (Częstochowa)
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)
Doc. dr Eugeniusz Soczkiewicz (Gliwice)
Dr Janusz Frąckowiak (Katowice)
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)
Dr Anna Kapuścik (Kraków)
Prof. dr Tomasz Goworek (Lublin)
Prof. dr Leszek Wojtczak (Łódź)
Dr Bożena Pędzisz (Opole)
Prof. dr Andrzej Graja (Poznań)
Mgr Danuta Ficek (Słupsk)
Dr Ewa Weinert-Rączka (Szczecin)
Dr Józefina Turło (Toruń)
Doc. dr Teresa Grycuk (Warszawa)
Dr hab. Bernard Jancewicz (Wrocław)**

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

**Nakład 1100+30 egz. Skład w Dziale Wydawnictw Instytutu Fizyki PAN
Druk w Zakładzie Usług Poligraficznych "ZINA", Warszawa, ul. Bartycka 24**

Andrzej Krasieński

*Centrum Astronomiczne PAN
im. Mikołaja Kopernika
Warszawa*

Fizyka w niejednorodnym wszechświecie

Physics in an inhomogeneous universe

Abstract: Einstein's theory of gravitation, from which all theoretical considerations of cosmology are derived, allows models of the Universe that are much more general than the classical Friedmann-Lemaitre models. This article presents some of the interesting geometrical and physical properties of a simple generalization of those models. The generalization was first derived from Einstein's equations by Lemaitre in 1933, and is known today as the "Tolman model".

1. Modele Friedmanna-Lemaitre'a (FLRW)

Od lat 20-tych niemal wszystkie teoretyczne rozważania kosmologii opierają się na pewnej, bardzo szczególnej klasie rozwiązań równań Einsteina. Przedstawimy je dokładniej w dalszym ciągu artykułu, tu podamy tylko ich krótki opis jakościowy.

Modele te wyprowadza się z równań pola grawitacyjnego (równań Einsteina) przy następujących założeniach o symetrii czasoprzestrzeni:

1. Istnieje w czasoprzestrzeni rodzina S 3-wymiarowych hiperpowierzchni typu przestrzennego, z których każda jest jednorodna.
2. Każda z hiperpowierzchni rodziny S jest izotropowa.
3. Wszystkie symetrie hiperpowierzchni rodziny S są symetrami całej czasoprzestrzeni.

Jednorodność oznacza, że istnieje 3-wymiarowa grupa symetrii, za pomocą której można każdy punkt przestrzeni przekształcić w każdy inny punkt. Fizycznie, jednorodność oznacza, że różne punkty przestrzeni są nierozróżnialne za pomocą pomiarów geometrycznych (a więc także za pomocą pomiarów gęstości, ciśnienia i prędkości materii — przy założeniu, że ośrodkiem kosmicznym jest ciecz doskonała, wielkości te są bowiem jednoznacznie wyznaczone przez geometrię za

pośrednictwem równań pola). Izotropia względem punktu P oznacza, że w punkcie tym wszystkie kierunki są nierozróżnialne. W połączeniu z jednorodnością, izotropia oznacza, że nierozróżnialne są wszystkie kierunki w każdym punkcie przestrzeni.

Modele takie po raz pierwszy wprowadził A.A. Friedmann [1, 2] w latach 1922 i 1924, potem, niezależnie od niego, zrobił to G. Lemaitre [3] w r. 1927; ścisłą interpretację geometryczną założeń prowadzących do tych modeli podali, znów niezależnie od siebie, H.P. Robertson [4, 5] i A. G. Walker [6]. Od tych 4 nazwisk pochodzi przyjęta obecnie skrótowa nazwa tych modeli: FLRW.

Powyższy krótki opis pozwala zauważyć, że z punktu widzenia teorii Einsteina modele FLRW są bardzo szczególne. Ich wyjątkowa prostota wychodzi na jaw w całej okazałości przy dokładniejszym badaniu, które prowadzi do następujących wniosków:

1. Ogólne rozwiązanie równań Einsteina nie musi mieć żadnej symetrii ¹ Modele FLRW mają natomiast 6-wymiarowe grupy symetrii - największe, przy których możliwa jest jeszcze ewolucja modelu w czasie (model z większą grupą symetrii musiałby być statyczny).

2. W ogólnym przypadku mamy do wyznaczenia z równań pola 6 funkcji, każda z nich zależy od 4 zmiennych (czterem spośród 10 składowych tensora metrycznego można nadać, w zasadzie, dowolną postać za pomocą transformacji współrzędnych). W modelach FLRW, założenia o symetrii redukują problem do wyznaczenia jednej funkcji jednej zmiennej (czasu). Cała dynamika geometrii i materii trywializuje się do opisu zmian w czasie gęstości materii, która w ustalonej chwili czasu jest taka sama w całej przestrzeni².

3. Ruch ośrodka ciąglego można charakteryzować przez ekspansję (tj. względną prędkość zmiany objętości), tensor rotacji i tensor deformacji (mówiąc w uproszczeniu, ten ostatni opisuje zmiany kształtu zespołów cząstek przy zachowaniu objętości zespołu, jest on zwykle nazywany ścinaniem). W modelach FLRW, z założeń o symetrii wynika, że rotacja i deformacja są równe zeru, zaś ekspansja jest w ustalonej chwili czasu taka sama w całej przestrzeni³.

W powyższej charakterystyce autor zamierzał doprowadzić Czytelników do następującej konkluzji: czy nie byłoby rzeczą podejrzaną, gdyby tak wielki i skomplikowany układ jak cały Wszechświat był ściśle opisywany tak prymitywnym

¹Ogólnego rozwiązania prawdopodobnie nigdy nie uda się znaleźć, ale znane są dziś przykłady, dość liczne, ścisłych rozwiązań nie mających żadnej symetrii.

²Znane są przykłady ścisłych rozwiązań, w których założenia (o symetrii lub inne) redukują liczbę funkcji niewiadomych, lecz pozostałe funkcje zależą początkowo od wszystkich czterech zmiennych i są wyznaczane z równań Einsteina.

³W ten sposób prawo Hubble'a jest wbudowane w modele FLRW poprzez założenia o symetrii. Znane są dziś ścisłe rozwiązania z nieznikającym ścinaniem i niejednorodną ekspansją. Znane są też rozwiązania z rotacją, ale we wszystkich z nich istnieją sprzężenia między rotacją, rozszerzaniem i ścinaniem powodujące, że rotacja nie jest wielkością niezależną i nie może być traktowana jako "czyste" rotacyjne zaburzenie modeli FLRW. Sprzężenia te są konsekwencją innych upraszczających założeń. Rozwiązania z rotacją zadowalającego pod względem matematycznej ogólności nie znaleziono do dziś.

modelem? Konkluzja ta narzuciła się co najmniej kilkudziesięciu różnym fizykom i już w latach 30-tych pojawiły się pierwsze próby uogólnienia modeli FLRW. Jedna z nich doprowadziła do modelu, który jest przedmiotem niniejszego artykułu. Wbrew spotykanym w literaturze stwierdzeniom, założenia, z których wyprowadzono modele FLRW, nie były podsumowaniem materiału obserwacyjnego, lecz były czysto matematycznymi założeniami zrobionymi w celu maksymalnego uproszczenia rachunków, przy zachowaniu jakościowej zgodności z wynikami obserwacji na poziomie minimum wymagań. Były więc tylko pierwszym przybliżeniem do dokładniejszych modeli.

Czytelnicy wiedzą zapewne o niedawnym odkryciu nierównomierności w rozkładzie temperatury promieniowania tła mikrofalowego. Odkrycie to zostało już ogłoszone jako jedno z najważniejszych w astronomii XX w. i będzie pewnie w przyszłości służyło jako uzasadnienie potrzeby uogólnień modeli FLRW. Z kronikarskiego obowiązku autor chciałby więc utrwalić na papierze co następuje: pomiary charakterystyk promieniowania tła były dotychczas używane do dokładnie odwrotnego celu. Przez ponad 20 lat coraz dokładniejsze pomiary stwierdzały, że ewentualne zaburzenia izotropii są mniejsze od błędu pomiaru. Opiniotwórcza część środowiska astronomicznego reagowała na to następująco: to fantastycznie! Wszechświat jest jednorodny i izotropowy, zaś modele FLRW są jego wierną reprezentacją! Prace nad uogólnieniami były prowadzone przez nielicznych fizyków, wbrew opinii środowiska.

2. Model Lemaitre'a-Tolmana

Jedno z dwu historycznie najwcześniejszych uogólnień modeli FLRW stało znalezione przez G. Lemaitre'a⁴ w r. 1933 [7]. Jego obszerny artykuł, dyskutujący różne matematyczne aspekty kosmologii, do dzisiaj nie został prawidłowo doceniony i bywa najczęściej cytowany jako omówienie modeli FLRW. Tymczasem, artykuł ten zawiera m.in. definicję masy dowolnego układu sferycznie symetrycznego (powtórnie odkrytą znacznie później przez Poduretsa [9] i Misnera-Sharpa [10]), dyskusję układów "quasistatycznych" (tu autor mimochodem odkrywa nowe rozwiązanie równań Einsteina, znalezione powtórnie i uogólnione przez Stephaniego w r. 1967 [11]), dowód nieosobliwości rozwiązania Schwarzschilda na horyzoncie (przeprowadzony niezależnie, w ściślejszy sposób, przez Kruskala [12] w r. 1960) oraz wczesne, dość jeszcze uproszczone i jakby nieśmiało sformułowane twierdzenie o osobliwościach, rozwiniętego potem przez Hawkinga, Penrose'a i Ellisa [13]. Również przedstawione poniżej rozwiązania równań Einsteina dla modelu L-T zostały w tej pracy wyprowadzone i dość szczegółowo przedyskutowane, w oparciu o własności funkcji eliptycznych. Niektóre własności fizyczne nowego modelu Lemaitre'a zostały zbadane przez Tolmana [14]

⁴W tym samym roku inne uogólnienie opublikował G.C. McVittie [8]. Nie będziemy zajmować się nim w artykule.

(który wyraźnie zazaczył, że dyskutuje rozwiązanie z pracy [7]), niektóre własności geometryczne przedyskutował potem Bondi [15]. Przyjął się zwyczaj nazywać to rozwiązanie “modelem Tolmana” lub “Tolmana-Bondiego”, choć pierwszeństwo historyczne należy bez żadnej wątpliwości do Lemaitre’a. Autor niniejszego artykułu proponuje dla tego modelu nazwę “Lemaitre’a-Tolmana” (L-T) dla pogodzenia historycznej sprawiedliwości z przyjętą już nazwą i dla odróżnienia od modeli FLRW.

Założenia prowadzące jednoznacznie do modelu L-T można sformułować następująco:

1. Istnieje w czasoprzestrzeni rodzina S hiperpowierzchni przestrzennych, z których każda jest izotropowa (tzn. sferycznie symetryczna) względem pojedynczego punktu.

2. Grupa symetrii hiperpowierzchni rodziny S jest równocześnie grupą symetrii całej czasoprzestrzeni.

3. Materia wypełniająca czasoprzestrzeń może być opisana jako pył, tzn. ośrodek, którego cząstki poruszają się po liniach geodezyjnych (czyli oddziałują ze sobą tylko poprzez pole grawitacyjne) i w którym ciśnienie jest równe zeru.

Modele FLRW mają wszystkie te własności oraz dodatkowo jednorodność (punkt 3 jest w modelach FLRW realizowany częściowo: materia porusza się po geodezyjnych, ale ciśnienie niekoniecznie jest równe zeru. Geodezyjność ruchu jest w modelach FLRW konsekwencją pozostałych założeń i nie musi być postulowana osobno). Widać stąd, że model L-T jest jednym z najprostszych możliwych uogólnień modeli FLRW. Jego geometria jest zdefiniowana następująco:⁵ Forma metryczna jest postaci:

$$ds^2 = dt^2 - \{R_r^2(t, r)/[1 + f(r)]\}dr^2 - R^2(t, r)(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2), \quad (1)$$

gdzie $f(r)$ jest dowolną funkcją współrzędnej radialnej r , zaś funkcja $R(t, r)$ jest zdefiniowana przez równanie

$$R_{,t}^2 = f(r) + F(r)/R + \frac{1}{3}\Lambda R^2, \quad (2)$$

gdzie $F(r)$ jest drugą dowolną funkcją, zaś Λ jest stałą kosmologiczną, $R_{,r} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial R}{\partial r}$, $R_{,t} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial R}{\partial t}$. Pole prędkości materii jest postaci $u^\alpha = [1, 0, 0, 0]$ (gdzie $(x^0, x^1, x^2, x^3) = (t, r, \theta, \phi)$), tzn. współrzędna czasowa t jest czasem własnym obserwatorów współporuszających się z materią, zaś cząstki materii poruszają się po liniach: $\{r = \text{const}, \theta = \text{const}, \phi = \text{const}\}$. Gęstość materii ρ jest dana przez

$$\frac{8\pi G\rho}{c^2} = F_{,r}/(R^2 R_{,r}), \quad (3)$$

⁵Czytelnicy nie znający dokładniej teorii grawitacji Einsteina mogą ewentualnie opuścić całą resztę paragrafu 2 bez szkody dla zrozumienia całości artykułu.

gdzie G - stała grawitacyjna, c - prędkość światła w próżni. Równanie (2) jest całą pierwszą równań Einsteina, równanie (3) jest jednym z równań Einsteina. Modele FLRW (a ściślej ich podzbiór spełniający równanie stanu: $p = 0$, gdzie p jest ciśnieniem), otrzymuje się z modelu L-T przez przejście graniczne zdefiniowane równaniami (4), (5) i (6) poniżej:

$$f(r) = kr^2, \quad (4)$$

gdzie k jest stałą dowolną (indeksem krzywizny),

$$F = 2Mr^3, \quad (5)$$

gdzie M jest inną stałą dowolną (można ją interpretować jako średnią gęstość początkowego rozkładu masy w kuli o promieniu r . W modelach FLRW jest to wielkość stała, tzn. niezależna od wielkości kuli, w modelu L-T, jak widać, nie jest to prawdą),

$$R(t, r) = rS(t), \quad (6)$$

gdzie $S(t)$ jest czynnikiem skali — jedyną swobodną funkcją modeli FLRW. Fizyczną definicją przejścia granicznego do przypadku FLRW jest gęstość materii niezależna od współrzędnej radialnej, $\rho = \rho(t)$ (we współrzędnych współporuszających się).

W przypadku $F = \text{const}$ gęstość materii znika. Model L-T degeneruje się wtedy do rozwiązania Schwarzschilda przedstawionego we współrzędnych geodezyjnych. Z faktu, że rozwiązania FLRW i Schwarzschilda są równocześnie przypadkami szczególnymi modelu L-T wynika możliwość kombinowania ("sklejania") tych rozwiązań w jedną czasoprzestrzeń poprzez odpowiedni dobór zależności funkcji dowolnych od r . Z możliwości tej skorzystamy w dalszym ciągu artykułu.

Znane są dziś uogólnienia modelu L-T znalezione przez Szekeres [16] i Szafrona [17], są one przykładami rozwiązań bez symetrii, model L-T jest ich sferycznie symetryczną granicą. Ponieważ nie przewidują one radykalnie nowych efektów, są natomiast bardziej skomplikowane analitycznie, ograniczymy naszą dyskusję do modelu L-T.

Równanie (2) można rozwiązać. Gdy $\Lambda \neq 0$, rozwiązanie zależy od funkcji eliptycznych. Ponieważ stała kosmologiczna nie wprowadza nowych efektów fizycznych, komplikuje natomiast rachunki, założymy, że $\Lambda = 0$ (Lemaître [7] przedyskutował pełne rozwiązania). Rozwiązania równania (2) można wtedy zapisać w postaci parametrycznej następująco:

Gdy $f(r) < 0$:

$$R(t, r) = -\frac{F(r)}{2f(r)}(1 - \cos \eta),$$

$$\eta - \sin \eta = \frac{2(-f)^{3/2}}{F(r)}[t - t_0(r)]. \quad (7)$$

Gdy $f(r) = 0$:

$$R(t, r) = \left\{ \frac{9}{4} F(r) [t - t_0(r)]^2 \right\}^{1/3}. \quad (8)$$

Gdy $f(r) > 0$:

$$R(t, r) = \frac{f(r)}{2f(r)} (\cosh \eta - 1),$$

$$\sinh \eta - \eta = \frac{2f^{3/2}}{F(r)} [t - t_0(r)]. \quad (9)$$

(Formalnie możliwy jest także przypadek $F < 0$, $f > 0$, lecz wykluczamy go ze względu na interpretację fizyczną $F(r)$, zob. uwagę po wzorze (10)). Algebraiczna zależność R od t jest we wszystkich przypadkach taka sama jak w modelach FLRW (także równanie (2) ma identyczną postać w modelach FLRW). Różnica polega na tym, że w granicy FLRW funkcje $F(r)$ i $f(r)$ mają ściśle określoną zależność od r , natomiast t_0 jest stałą dowolną; w rezultacie (R/r) nie zależy od r . W modelu L-T mamy 3 funkcje dowolne zmiennej r i one właśnie zapewniają bogactwo zjawisk przewidywanych przez ten model.

Zauważmy, że równanie (2) sugeruje pewną interpretację fizyczną funkcji $f(r)$ i $F(r)$. Gdy $\Lambda = 0$, równanie to staje się formalnie identyczne z równaniem ruchu radialnego cząstki w newtonowskim potencjale $V = -GM/R$; w modelu L-T opisuje ono ewolucję kulistej powłoki materii o ustalonej współrzędnej r . Dla porównania z przypadkiem newtonowskim wygodniej jest równanie (2) przepisać w postaci:

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} (R/r) \right]^2 = f(r)/r^2 + \frac{F(r)/r^3}{R/r} + \frac{1}{3} \Lambda (R/r)^2. \quad (10)$$

Teraz widać, co następuje: $f(r)/r^2$ jest analogiem energii cząstki w nieskończoności przestrzennej (oraz miarą prędkości początkowej), zaś wielkość $[F(r)/(2r^3)]$ jest analogiem masy zawartej wewnątrz powłoki $r = \text{const}$. Bliższe badanie wskazuje, że interpretacja ta jest prawidłowa i nasuwa właściwe skojarzenia. W modelach FLRW wielkości $(f(r)/r^2)$ i $[F(r)/(2r^3)]$ są stałe (takie same dla wszystkich powłok), w modelu L-T dane początkowe dla różnych powłok są od siebie niezależne.

Trzecia funkcja dowolna, $t_0(r)$, opisuje nowy efekt, nieopisywany przez modele FLRW. W chwili $t = t_0$ występuje osobliwość w czasoprzestrzeni: gęstość materii dąży do nieskończoności, wyznacznik tensora metrycznego staje się równy zeru. W modelach FLRW, gdzie $t_0 = \text{const}$, osobliwość ta występuje równocześnie dla wszystkich cząstek: cała materia Wszechświata jest wyrzucana z pojedynczego punktu (zdarzenia) w czasoprzestrzeni w tej samej chwili czasu. W modelu L-T, osobliwość początkowa jest trójwymiarowym zbiorem (nie można nazywać go podprzestrzenią, bo forma metryczna (1) jest na nim osobliwa i nie indukuje żadnej 3-wymiarowej formy metrycznej). O fizycznych konsekwencjach tego faktu powiemy dalej.

Przedyskutujemy teraz poszczególne własności modelu L-T, których nie można było oczekiwać na podstawie modeli FLRW.

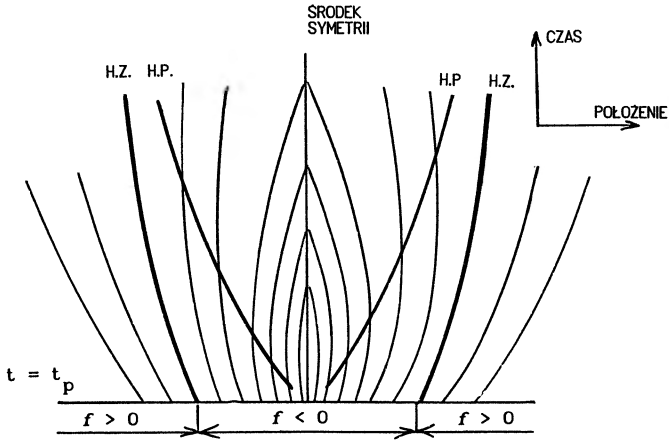
3. Przestrzenna zmienność indeksu krzywizny

W modelach FLRW wielkość $f(r)/r^2 = -k$ jest globalną stałą, zaś jej znak ma istotne konsekwencje dynamiczne: przy $k > 0$ i $\Lambda = 0$ Wszechświat będzie rozszerzał się tylko przez skończony czas (zależny od warunków początkowych), po którym zacznie zapadać się z powrotem do osobliwości punktowej. Przy $k \leq 0$ i $\Lambda = 0$, Wszechświat będzie rozszerzał się stale, zaś objętość każdego ustalonego zespołu cząstek Wszechświata będzie rosła do nieskończoności. W modelu L-T, znak wielkości $[f(r)/r^2]$ ma dokładnie te same konsekwencje (por. wzory (7) - (9)), lecz tutaj dowolna funkcja $f(r)$ może mieć różne znaki w różnych częściach przestrzeni. Niech $f(r)/r^2$ będzie ujemne w obszarze I przestrzeni oraz dodatnie w obszarze II. Jeśli obserwatorzy w takim Wszechświecie będą usiłowali dopasować modele FLRW do wyników swoich obserwacji, to obserwator w obszarze I stwierdzi, że najlepszy jest model z krzywizną dodatnią, natomiast obserwator w obszarze II stwierdzi, że najlepszy jest model z krzywizną ujemną. Obszar I będzie rozszerzał się przez czas skończony i zapadnie się z powrotem, obszar II będzie rozszerzał się stale. Zależnie od przestrzennego usytuowania obszarów I i II możliwe są rozmaite efekty fizyczne:

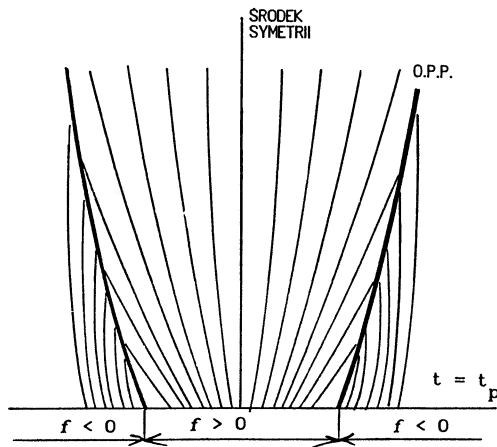
1. Jeśli obszar I (o skończonym czasie istnienia) znajduje się wewnątrz obszaru II (rys. 1), to taki model L-T może służyć do opisu powstawania czarnej dziury w rozszerzającym się Wszechświecie [18, 19]. Dobierając odpowiednio warunki początkowe (rozmiary obszaru I, wartości funkcji $f(r)$ i $F(r)$) można uzyskać opis czarnej dziury o dowolnej masie i czasie zapadania. Matematyczna teoria czarnych dziur jest dobrze sformułowana w czasoprzestrzeniach stacjonarnych i asymptotycznie płaskich, opisuje więc już utworzone czarne dziury obserwowane z daleka. Tymczasem, rozwiązanie L-T jest oczywistym kandydatem (bardzo mało dotychczas wykorzystanym) do opisu procesu powstawania czarnej dziury, obserwowanego z dowolnego miejsca przestrzeni.

2. Jeśli obszar I znajduje się na zewnątrz obszaru II (rys. 2), to po pewnym czasie strumień materii z obszaru I, zapadającej się ku osobliwości końcowej, zacznie przecinać się ze strumieniem z obszaru II, wciąż rozszerzającym się. Powstaje w ten sposób dodatkowa osobliwość, nazywana osobliwością przecinających się powłok (shell crossing singularity). Jest to ten trójwymiarowy zbiór punktów, na którym $R_{,r} = 0$; jak widać z (3), $\rho \rightarrow \infty$ przy $R_{,r} \rightarrow 0$. Intuicja podpowiada, że osobliwość ta jest skutkiem założenia $p = 0$ i nie powinna powstawać, gdy ciśnienie ma różny od zera gradient przestrzenny. Model L-T nie pozwala jednak na opis takiej sytuacji zaś odpowiednio ogólne rozwiązania równań Einsteina nie są jeszcze znane.

Przypadki 1 i 2 zachodzą, gdy funkcja $f(r)$ zmienia znak dla pewnego r . Fizycznie ważne zjawiska mogą występować także przy ustalonym znaku $f(r)$, zależnie od lokalnych wartości $F(r)/f(r)$, na przykład:



Rys. 1. Powstawanie czarnej dziury w modelu L-T. Cała materia, która w chwili początkowej znajdowała się w obszarze $f(r) < 0$, wpadnie w końcu do czarnej dziury. HP - horyzont pozorny (powierzchnia rosnącej czarnej dziury), HZ - horyzont zdarzeń. Żaden sygnał wysłany spod horyzontu zdarzeń nie wyjdzie do nieskończoności przestrzennej, żaden sygnał spod horyzontu pozornego nie może rozchodzić się w dal od środka symetrii. Niezmienniczą miarą odległości przestrzennej w hiperpowierzchni $t = \text{const}$ jest funkcja $R(t, r) = (\text{powierzchnia orbity symetrii})/4\pi$



Rys. 2. Powstawanie osobliwości przecinających się powłok (OPP). Może ona powstać także wtedy, gdy $f(r)$ ma ustalony znak w całej przestrzeni, ale mechanizm jej powstawania najłatwiej jest zrozumieć w sytuacji przedstawionej na rysunku. Osobliwość początkowa (nie zaznaczona) znajduje się wcześniej od hiperpowierzchni $t = t_p$

3. Obszar rozszerzający się szybciej może otaczać obszar rozszerzający się wolniej, w którym kontrast gęstości materii $|\rho_I - \rho_{II}|/\rho_I$, rośnie z czasem. Układ taki może służyć do opisu powstawania zagęszczeń materii we Wszechświecie. Już w r. 1956 Bonnor [20] użył takiej właśnie konfiguracji modelu L-T do opisu powstawania galaktyk. Wywnioskował on, że jeśli kondensacje powstały ok. 1000 lat po Wielkim Wybuchu, to aby mogły powstać galaktyki o obserwowanych dziś gęstościach, początkowe zaburzenia powinny być ok. 10^{28} razy większe niż statystyczne fluktuacje gęstości materii w ośrodku przestrzennie jednorodnym. Problem tej rozbieżności do dziś nie został rozwiązany: fluktuacje statystyczne są za małe dla wytworzenia galaktyk, nawet jeśli pojawiają się w ułamek sekundy po Wielkim Wybuchu. Jest on jednak problemem jedynie wtedy, gdy upieramy się, aby Wszechświat opisywać za pomocą modeli FLRW. W modelu L-T niejednorodny rozkład materii, z dowolnymi amplitudami niejednorodności, może wynurzać się bezpośrednio z wybuchu początkowego (zob. par. 4).

4. Przy odpowiednio dużej początkowej koncentracji masy wokół środka symetrii, zapadanie się materii w gęstszym obszarze może doprowadzić do powstania gołej (tzn. nie ukrytej pod horyzontem) osobliwości [19]. Sformułowana przeszło 30 lat temu przez Penrose'a "hipoteza cenzury kosmicznej" (c.k.) [21] stwierdza, że sytuacja taka nie może się zdarzyć. Kontrprzykłady dla tak prostego sformułowania tej hipotezy były znajdowane już od dawna (jeden z pierwszych, znaleziony przez Yodzisa, Seiferta i Müllera zum Hagen w r. 1973 [22], był szczególnym przypadkiem modelu L-T) i zmuszały do stopniowego obwarowywania hipotezy c.k. zastrzeżeniami. Na przykład, jedno z uściśleń c.k. stwierdza, że goła osobliwość nie może wystąpić w sytuacji ogólnej, natomiast rozwiązania równań Einsteina, które zawierają gołą osobliwość, są niestabilne względem zaburzeń pola grawitacyjnego. Badanie stosowności hipotezy c.k. opiera się nie tylko na ścisłych rozwiązaniach równań Einsteina, ale model L-T jest bardzo ważnym przykładem testowym, nie do końca jeszcze wykorzystanym.

5. Obszar rozszerzający się szybciej może być otoczony obszarem rozszerzającym się wolniej. Ta konfiguracja modelu L-T została wykorzystana przez Sato [23] do dobrze zgodnego z obserwacjami opisu powstawania wielkoskalowej struktury we Wszechświecie. Opiszemy ten proces dokładniej w par. 5.

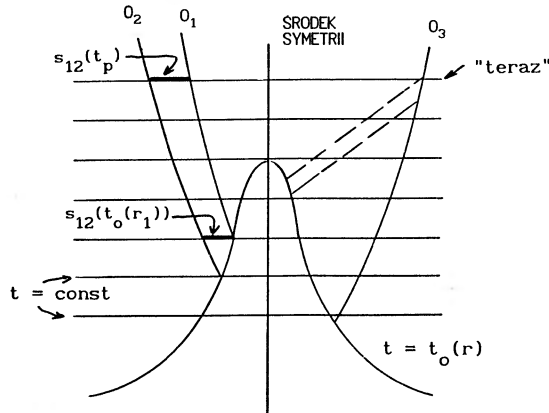
4. Osobliwości w modelu L-T

Wspomnieliśmy już w zakończeniu par. 2, że osobliwość przy $t = t_0(r)$, przechodząca w granicy FLRW w Wielki Wybuch, nie jest pojedynczym zdarzeniem w czasoprzestrzeni, lecz zbiorem trójwymiarowym. Widać to łatwo z formy metrycznej (1): wzdłuż linii świata $r = r_1$ przy $t = t_0(r_1)$ mamy $R(t_0(r_1), r_1) = 0$, lecz na ogół wzdłuż innej linii świata $r = r_2$ jest $R(t_0(r_1), r_2) \neq 0$. Wobec tego, przestrzenna odległość cząstki r_2 od cząstki r_1 , w dowolnej chwili $t = t_p$ równa:

$$s_{12} = \int_{r_1}^{r_2} (-g_{rr})^{1/2} dr = \int_{r_1}^{r_2} [1 + f(r)]^{-1/2} R_r(t_p, r) dr =$$

$$= [1 + f(\bar{r})]^{-1/2} [R(t_p, r_2) - R(t_p, r_1)] \quad (11)$$

nie dąży do zera gdy $t_p \rightarrow t_0(r_1)$, por. rys. 3 (skorzystaliliśmy w (11) z twierdzenia



Rys. 3. Nierównoczesność wybuchu początkowego i centrum opóźnionej ekspansji. Osobliwość początkowa $t = t_0(r)$ jest, przy wyborze współrzędnej czasowej zgodnym ze wzorem (1), procesem rozciągniętym w czasie — obserwatorzy O_1 i O_2 wynurzają się z osobliwości w różnych chwilach. Obserwator O_3 odbiera promieniowanie wysłane przez centrum opóźnionego rozszerzania się. Odległość s_{12} jest dana wzorem (11)

o wartości średniej, \bar{r} jest stałą spełniającą $r_1 \leq \bar{r} \leq r_2$). Zatem, różne cząstki materii wynurzają się z osobliwości początkowej w różnych chwilach czasu⁶. Osobliwość przecinających się powłok wspomniana w punkcie 2 poprzedniego paragrafu może, przy odpowiednim doborze funkcji f , F i t_0 , być usunięta całkowicie z czasoprzestrzeni (równanie $R_r = 0$ nie ma wtedy rozwiązań). Można też wybrać funkcje tak, że wzdłuż każdej linii świata $r = \text{const}$ osobliwość przecinających się powłok zdarzy się wcześniej lub równocześnie z osobliwością początkową $R = 0$. Ponieważ fizyka i astrofizyka mogą być w takim modelu uprawiane tylko dla czasów późniejszych od $R = 0$, w takiej konfiguracji osobliwość przecinających się powłok jest astrofizycznie nieistotna. W pozostałych przypadkach trzeba brać pod uwagę możliwość wystąpienia dodatkowych (w stosunku do modeli FLRW) efektów.

Ciekawą możliwość zaproponował Nowikow w r. 1964 [24]. Wybuch początkowy w okolicach środka symetrii modelu L-T może być opóźniony w stosunku do pozostałych obszarów. Obserwator umieszczony z dala od środka może wtedy **widzieć** na niebie zlokalizowany przestrzennie sygnał wysyłany przez materię właśnie wynurzającą się z osobliwości początkowej. Model L-T może opisać tylko

⁶Synchronizacja zdefiniowana przez współrzędną t jest wyróżniona geometrycznie (powierzchnie $t = \text{const}$ są ortogonalne do pola prędkości u^α) i fizycznie i równoczesność w jej sensie jest faktem niezmienniczym.

jedno takie "centrum opóźnionej ekspansji". Zauważmy jednak, że opierając się na rozwiązaniu L-T można skonstruować model z bogatszą strukturą. Mianowicie, można wybrać funkcje $F(r)$, $f(r)$ i $t_0(r)$ tak, aby dla $r > r_0$ (gdzie r_0 jest dowolną stałą) były one równe, odpowiednio: Mr^3 , $-kr^2$ i stałej. Wtedy, w obszarze $r < r_0$ mamy model L-T, który dla $r > r_0$ degeneruje się do modelu FLRW. Mamy więc ściśle rozwiązanie opisujące zlokalizowane zaburzenie nałożone na tło FLRW. Ze względu na jednorodność obszaru FLRW można na to tło nałożyć dowolną liczbę zaburzeń L-T w różnych obszarach. W takim modelu możemy mieć dowolnie wiele centrów opóźnionej ekspansji. Nowikow próbował objaśnić w ten sposób źródło energii kwazarów. Wyjaśnienie to zostało zarzucone po odkryciu promieniowania mikrofalowego, którego izotropowy rozkład nie dał się pogodzić z silnymi zaburzeniami wynikającymi z modelu Nowikowa. Istnienie centrów opóźnionej ekspansji pozostaje jednak nadal teoretyczną możliwością.

5. Struktura "komórkowa" Wszechświata

Wzór na gęstość materii w modelu L-T można zapisać w postaci:

$$\frac{8\pi G}{c^4} \rho = \frac{3F_{,r}}{(R^3)_{,r}} \quad (12)$$

Zatem, przy ustalonym t , przestrzenne maksima i minima gęstości, jeśli istnieją, to spełniają równanie

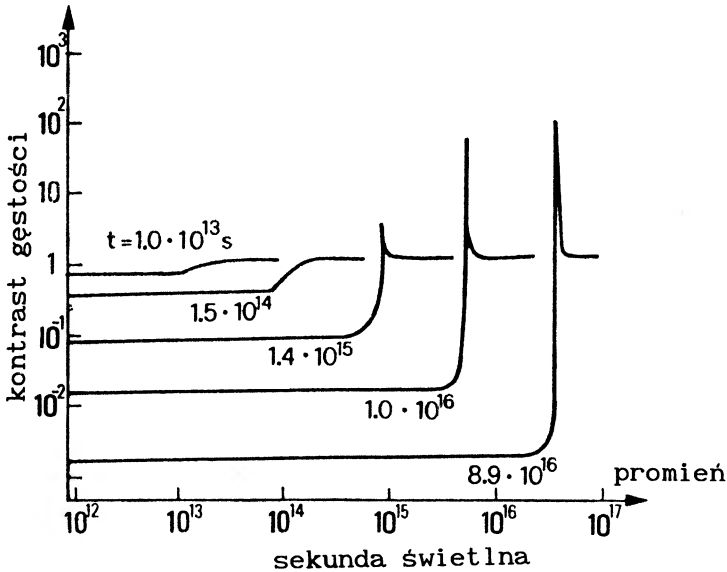
$$F_{,rr} (R^3)_{,r} - F_{,r} (R^3)_{,rr} = 0. \quad (13)$$

W najprostszym przypadku, $f(r) = 0$, równanie to sprowadza się do

$$(-2FF_{,rr} t_{0,r} + 4F_{,r}^2 t_{0,rr} + 2FF_{,r} t_{0,rr}) (t - t_0) - 2FF_{,r} t_{0,r}^2 = 0 \quad (14)$$

Jest to uwikłana definicja pewnych wartości $r = r_m$. Zauważmy, że na ogół $r_m = r_m(t)$, a więc przestrzenne minima i maksima gęstości nie współporuszają się z materią, lecz wędrują niezależnie od linii prądu materii (fachowo nazywa się to wędrówką fal gęstości). Wartości r_m zdefiniowane przez (14) są niezależne od czasu jedynie gdy $F_{,r} = 0$ (wtedy model L-T degeneruje się do rozwiązania Schwarzschilda) lub $t_{0,r} = 0$ (wtedy wybuch początkowy jest równoczesny). Wędrówka fal gęstości występuje także w pozostałych dwu przypadkach ($f < 0$ i $f > 0$). Jej dokładne zbadanie wymaga w każdym przypadku numerycznego badania równania (13).

Badanie takie przeprowadził w latach 1982–1984 H. Sato ze współpracownikami [23] i uzyskał wyniki jakościowo zgodne z obserwacjami astronomicznymi (rys. 4). Okazało się, że jeśli w chwili początkowej istnieje we Wszechświecie obszar o obniżonej gęstości otoczony obszarem wyższej gęstości, to granica między tymi obszarami zacznie uciekać na zewnątrz, w kierunku wyższej gęstości, z prędkością większą od prędkości kosmicznego rozszerzania się. Na uciekającej granicy



Rys. 4. Ewolucja rozrzedzenia materii w modelu L-T. Współrzędną pionową jest stosunek gęstości w rozrzedzeniu do gęstości na zewnątrz. Kontrast gęstości, $\rho_v - \rho_b / \rho_b$ rośnie z czasem, brzeg rozrzedzonego obszaru ucieka z prędkością większą od prędkości kosmicznego rozszerzania się. Gdy tłem jest obszar FLRW z dodatnią krzywizną, zaś początkowy rozmiar rozrzedzenia jest odpowiednio duży, rozrzedzenie wypełni całą przestrzeń przed zapadnięciem się materii do osiowości końcowej (rysunek skopiowany z [23] za zgodą Autora i Wydawcy)

obszarów tworzy się cienka powłoka o wzrastającej gęstości, która własnym polem grawitacyjnym wciąga do swojego wnętrza dodatkową materię z otoczenia (Sato nazwał ten proces "mechanizmem pługu śnieżnego"). Ścisłe mówiąc, powłoka po skończonym czasie przekształca się w osiowości przecinających się powłok, ale sądzi się (i istnieją już argumenty numeryczne popierające to domniemanie), że różne od zera ciśnienie zapobiegnie utworzeniu osiowości. Model L-T jest zbyt prosty, nie dopuszcza niezerowego ciśnienia, zaś wystarczająco ogólne ścisłe rozwiązanie równań Einsteina nie jest znane.

Powyższy opis dotyczy pojedynczej powłoki uciekającej od jednego centrum. Model L-T jest znów zbyt prosty na opisanie ogólniejszej sytuacji, ale w tym przypadku możemy sobie pomóc w sposób formalnie poprawny. Podobnie, jak zrobiliśmy to w par. 4, wystarczy rozpatrzyć taki model L-T, który w pewnej odległości od centrum symetrii przechodzi w ścisły model FLRW. W jednorodnym tle FLRW można wtedy wydzielić dowolną liczbę innych centrów otoczonych regionami L-T i będzie to ścisły model wielu rozszerzających się powłok.

Od momentu, gdy pierwsze powłoki zaczną się zderzać, model powyższy bez-

apelacyjnie przestaje działać, dalszego ciągu procesu można znów tylko domyślać się: kuliste powłoki powinny rozplaszczyc się o siebie i pozostać na miejscach zderzeń, tworząc sieć nieregularnych (różne powłoki mają na ogół różne promienie) wielościanów. Właśnie taki obraz wielkoskalowego rozkładu materii wynika z ostatnich obserwacji: galaktyki i gromady galaktyk grupują się w cienkie powłoki otaczające duże obszary pustej przestrzeni — por. pracę Melotta [25], w której podjęto ciekawą próbę mierzenia topologii przestrzennego rozkładu materii.

Jako ciekawostkę powtórzmy za pracą Sato [23] następujący fakt: po przejściu do granicy newtonowskiej, równanie ruchu powłok pokrywa się z równaniem propagacji fal eksplozywnych, wyprowadzonym przez Sedova [26]. Ekspansję powłoki można więc uważać za eksplozję i jest to analogia ścisła.

Problem powstawania rozrzedzeń w rozkładzie materii był po raz pierwszy rozpatrywany przez Sena już w r. 1934 [27, 28]. Sen wykazał, używając modelu L-T, że początkowe rozrzedzenie w jednorodnym tle będzie z czasem powiększać swoje rozmiary i kontrast $|\rho_V - \rho_B|/\rho_B$, gdzie ρ_V jest gęstością materii w rozrzedzeniu, ρ_B gęstością tła. Była to wyraźna informacja, że należy oczekiwać tworzenia się rozrzedzeń we Wszechświecie. Została ona jednak zignorowana przez ogół astronomów, którzy, parafrazując powiedzenie G. F. R. Ellisa, "wiedzieli", że Wszechświat jest jednorodny i izotropowy.

6. Wpływ rozszerzania się Wszechświata na układy planetarne

Pole grawitacyjne materii Wszechświata (tzn. galaktyk innych niż nasza) przenika Układ Słoneczny. Podejrzewano już dawno, że rozszerzanie się Wszechświata, powodujące zmienność w czasie kosmicznego pola grawitacyjnego, może mieć wpływ na orbity planet. Próbę obliczenia tego efektu (nie pierwszą historycznie, ale najlepiej dziś znaną) podjęli A. Einstein i E.G. Straus w r. 1945 [29]. Założyli oni, że Wszechświat opisywany modelem FLRW zawiera wewnątrz pustą dziurę, w której środku znajduje się Słońce. Przy odpowiednim dopasowaniu rozmiaru dziury (zmiennego w czasie) i masy Słońca konfiguracja taka okazała się zgodna z równaniami pola grawitacyjnego (masa Słońca musi być równa masie ośrodka kosmicznego usuniętego z dziury). W takiej konfiguracji orbity planet nie reagują na rozszerzanie się Wszechświata. Wniosek ten został na wiele lat przyjęty jako ogólne prawo wynikające z teorii Einsteina. Tymczasem, rozważania par. 5 sugerują, że konfiguracja Einsteina-Strausa jest niestabilna. Rodzina konfiguracji Einsteina-Strausa, numerowana tylko jednym stałym parametrem (średnią kosmiczną gęstością materii w chwili początkowej) tworzy zbiór miary zero w rodzinie modeli L-T, numerowanej dwiema funkcjami dowolnymi zmiennej r (trzecia funkcja dowolna może być dowolnie przekształcona przez transformację współrzędnej r , nie wiąże się ona zatem z ogólnością rozwiązania, lecz z dowolnością wyboru współrzędnych, wbudowaną w teorię Einsteina). Przy zbyt małej masie Słońca brzeg dziury będzie oddalał się od jej centrum szybciej niż cząstki "kosmicznego płynu", i będzie przy tym gromadził dodatkową materię. Przy zbyt dużej masie Słońca brzeg dziury zacznie poruszać się ku jej centrum i dążyć do

zapelnienia pustki materia. W konfiguracji stabilnej, kosmiczny rozklad materii musi rozciagać sie po całej objętości układu planetarnego. Konfigurację taką zbadal Gautreau [30] opierając się na modelu Lemaitre'a-Tolmana (choć nie jest łatwo przekonać się, że użył on właśnie tego modelu, pracował bowiem w innych współrzędnych). Okazało się, że planety nie mogą mieć orbit kołowych. Promień każdej orbity będzie zmieniał się z czasem według wzoru:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{8\pi G}{c^4} \rho S^4 H / 2M, \quad (15)$$

gdzie G , c i ρ mają to samo znaczenie, co we wzorze (3), S jest odległością między planetą i Słońcem, $H = R_{,t}/R$ jest stałą Hubble'a, M jest masą Słońca. Efekt ten, jak widać, jest większy dla orbit o dużych promieniach, dla Saturna wynosi on:

$$\frac{dS}{dt} = 6 \cdot 10^{-18} \text{ m/rok.} \quad (16)$$

Rozszerzanie się Wszechświata ma więc wpływ na orbity planet, ale niestety jest on zbyt mały, aby go zmierzyć (podana wyżej wielkość jest mniejsza od średnicy protonu).

Warto przy okazji wyjaśnić pewne zadawnione historyczne nieporozumienie dotyczące omawianego problemu. Wpływ rozszerzania się Wszechświata na orbity planet był badany przez McVittiego [8] i Järnefelta [31] w przyżyciu rozwiązania McVittiego [8]. Wyniki tych prac nie nadają się do bezpośredniego ilościowego wykorzystania, autorzy nie zadbali bowiem o zdefiniowanie jednostki długości w sposób niezmienniczy. W rozszerzającej się przestrzeni jest to nietrywialny problem. Nie można prowadzić rachunków perturbacyjnych, gdy mały parametr rachunku jest funkcją czasu, a właśnie taki błąd popełnił Järnefelt (Gautreau [30] rozwiązał problem definicji jednostki odległości poprawnie). Praca Järnefelta pokazuje jednak, że rozszerzanie się Wszechświata ma wpływ na orbity planet. Autor zamierzał natomiast pokazać, że wpływ taki nie istnieje i jako konkluzję swojej pracy podał stwierdzenie: "Orbita planety podczas danego okresu⁷ nie odchyli się zatem znacząco od orbity newtonowskiej". W późniejszej pracy, Einstein i Straus [32] przytoczyli wyniki McVittiego i Järnefelta jako potwierdzenie swojego wyniku z r. 1945, przemilczając przy tym fakt, że w pracy [29] kosmologiczne rozszerzanie się orbit było równe zeru **dokładnie**.

7. Zakończenie

Niniejszy artykuł przedstawia jedynie niewielki wybór materiału z dość już obszernej literatury dotyczącej niejednorodnych modeli kosmologicznych. Pełny przegląd literatury na ten temat jest przygotowywany przez autora niniejszego artykułu. Prace te miały dotychczas większe znaczenie dla teorii grawitacji (poprzez

⁷Autor miał tu na myśli wiek Wszechświata.

poszerzenie wiedzy o metodach generacji i interpretacji ścisłych rozwiązań równań Einsteina) niż dla astrofizyki. Zebrany w nich materiał może jednak okazać się wystarczający dla otwarcia nowego kierunku w astrofizyce relatywistycznej: badania obserwowalnych efektów przewidywanych przez niejednorodne modele kosmologiczne. Z punktu widzenia teorii grawitacji byłoby to bardzo pożądane zbliżenie teorii do eksperymentu.

Literatura

- [1] A.A. Friedmann, *Z. Physik* **10**, 377 (1922).
- [2] A.A. Friedmann, *Z. Physik* **21**, 326 (1924).
- [3] G.Lemaitre, *Ann. Soc. Sci. Bruxelles* **A47**, 19 (1927) [angielskie tłumaczenie: *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* **91**, 483 (1931)].
- [4] H.P. Robertson, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **15**, 822 (1929).
- [5] H.P. Robertson, *Rev. Mod. Phys.* **5**, 62 (1933).
- [6] A.G. Walker, *Quart. J. Math. Oxford, ser. 6*, 81 (1935).
- [7] G. Lemaitre, *Ann. Soc. Sci. Bruxelles* **A53**, 51 (1933).
- [8] G.C. McVittie, *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* **93**, 325 (1933).
- [9] M.A. Podurets, *Astron. Zh.* **41**, 28 (1964) [*Sov. Astr. A. J.* **8**, 19 (1964)].
- [10] C.W. Misner, D.H. Sharp, *Phys. Rev. B* **136**, 571 (1964).
- [11] H. Stephani, *Commun. Math. Phys.* **4**, 137 (1967).
- [12] M. Kruskal, *Phys. Rev.* **119**, 1743 (1960).
- [13] S.W. Hawking, G. F. R. Ellis, *The large scale structure of spacetime*, Cambridge University Press 1973.
- [14] R.C. Tolman, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **20**, 169 (1934).
- [15] H. Bondi, *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* **107**, 410 (1947).
- [16] P. Szekeres, *Commun. Math. Phys.* **41**, 55 (1975).
- [17] D.A. Szafron, *J. Math. Phys.* **18**, 1673 (1977).
- [18] M. Demiański, J.P. Lasota, *Nature Phys. Sci.* **241**, 53 (1973).
- [19] G. Grillo, *Class. Quantum Gravity* **8**, 739 (1991).
- [20] W.B. Bonnor, *Z. Astrophysik* **39**, 143 (1956).
- [21] R. Penrose, w: *Battelle Rencontres (1967 lectures in mathematics and physics)*. red. C. M. de Witt i J. A. Wheeler. Benjamin, New York, Amsterdam, 1968, s. 121.
- [22] P. Yodzis, H. J. Seifert, H. Müller zum Hagen, *Commun. Math. Phys.* **34**, 135 (1973).
- [23] H. Sato, w: *General relativity and gravitation*. red. B. Bertotti, F. de Felice, A. Pascolini. D. Reidel, Dordrecht 1984, s. 289.
- [24] I.D. Nowikow, *Astron. Zh.* **41**, 1075 (1964) [*Sov. Astr. A. J.* **8**, 857 (1964)].
- [25] A.L. Melott, *Phys. Rep.* **193**, nr 1, 1 (1990).
- [26] L.I. Sedov, *Similarity and dimensional methods in mechanics*, Academic Press, New York 1959, s. 105.
- [27] N.R. Sen, *Z. Astrophysik* **9**, 215 (1934).
- [28] N.R. Sen, *Z. Astrophysik* **10**, 291 (1935).
- [29] A. Einstein, E.G. Straus, *Rev. Mod. Phys.* **17**, 120 (1945).
- [30] R. Gautreau, *Phys. Rev. D* **29**, 198 (1984).

- [31] G. Järnefelt, *Ann. Acad. Soc. Sci. Fennicae* A55, nr 3, 3 (1940).
- [32] A. Einstein, E. G. Straus, *Rev. Mod. Phys.* 18, 148 (1946).

RÓŻNE

Andrzej K. Wróblewski

*Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Warszawski
Warszawa*

Dzieci Arystotelesa*

Children of Aristotle

Abstract: Aristotle made nature the object of scientific investigation and of all Greek philosophers of nature he had the most outspoken empirical attitude towards it. He was the only ancient scientist who tried to develop a quantitative theory of dynamics; he was the first to consider motion relative to a reference frame. We are successors of Aristotle to much greater extent that it is usually admitted.

Gdy rozważymy zagadnienia związane z układami odniesienia to nasuwa się pytanie: kiedy problemy te się pojawiły? Odpowiedź jest prosta: początek rozważaniom dał Arystoteles. Z tego co wiemy, to on właśnie jako pierwszy rozważał ruch względem pewnego układu odniesienia, który sam obmyślił.

Badanie ruchu zajmowało centralne miejsce w światopoglądzie Arystotelesa, "... albowiem nieznaną istoty ruchu mogłaby doprowadzić w konsekwencji do nieznaności przyrody ..." [1].

Trzeba jednak pamiętać, że w fizyce Arystotelesa ruch w najbardziej ogólnym znaczeniu tego słowa oznaczał każdą przemianę bytu potencjalnego w byt aktualny. Tak więc, pojęcie ruchu obejmowało powstawanie i ginięcie, zmiany wielkości oraz zmiany położenia. Tylko ta ostatnia kategoria, tzw. ruch lokalny, pozostała obecnie przedmiotem mechaniki.

Ruch lokalny oznaczał zmianę położenia, a to wymagało dyskusji pojęcia miejsca. Dyskusji tej poświęcona jest znaczna część księgi III *Fizyki* Arystotelesa. Według Arystotelesa miejsce danego ciała jest:

*Jest to polska wersja, nieznacznie zmodyfikowana w stosunku do oryginału angielskiego, referatu wygłoszonego w sierpniu 1991 r. na Konferencji GIREP: Teaching About Reference Frames from Copernicus to Einstein w Toruniu w sierpniu 1991 r.

”... granicą ciała otaczającego, będącego w styczności z ciałem otaczającym; a ciałem otaczanym nazywamy takie, które może zmieniać miejsce w przestrzeni” [2].

Zatem miejscem wina w amforze jest wewnętrzna powierzchnia amfory, miejscem żeglarza jest statek, statek zaś jest w wodzie. Ta definicja nasuwa trudności przy rozważaniu ruchu lokalnego określonego jako zmiana miejsca. Istotnie, statek na kotwicy w płynącej wodzie byłby w ruchu. Zatem nieustannie zmieniająca się otoczka wody nie może być miejscem statku.

Arystoteles podał jednak bardziej precyzyjną definicję miejsca:

”... miejsce jest to bezpośrednia i nieruchoma granica ciała otaczającego” [3].

Zatem w przypadku statku w rzece miejscem statku jest dno i brzeg rzeki.

W dyskusji ruchu lokalnego w fizyce Arystotelesa kluczową rolę odgrywa doktryna miejsca naturalnego. W kosmosie Arystotelesa każdy z czterech elementów, z których składa się świat podksiężycowy, ma swoje naturalne miejsce: ziemia znajduje się w środku świata, a dalej woda, powietrze i ogień zajmują kolejne swe naturalne miejsca tworząc współśrodkowe warstwy wokół środka świata. Jeśli jakiś element jest przesunięty ze swego naturalnego miejsca, to stara się doń powrócić ruchem prostoliniowym.

”Zmiana miejsc elementarnych ciał naturalnych, takich jak np. ogień, ziemia itp. wykazuje nie tylko to, że miejsce jest czymś, ale i to, że wywiera ono pewien wpływ; mianowicie każde ciało elementarne dąży do właściwego sobie miejsca, jeśli tylko nic nie stanie mu na przeszkodzie: jedno do góry, inne na dół...” [4].

Ruch wywołany dążeniem elementów do powrotu do ich miejsc naturalnych nazywa się ruchem naturalnym np. spadek swobodny kamienia jest ruchem naturalnym). Jeżeli natomiast jakie ciało jest usuwane z jego naturalnego miejsca, to wtedy mamy ruch nienaturalny, czyli ruch wymuszony (jest nim np. rzut kamienia w górę).

Kończąc to krótkie streszczenie fizyki Arystotelesa dodajmy, że w przeciwieństwie do ruchów naturalnych spadania i unoszenia się w górę ciał ziemskich, ruchów ograniczonych w czasie, występuje odwieczny jednostajny kołowy ruch ciał niebieskich, ruch naturalny dla piątego elementu (eteru), z którego się one składają.

Pomijając zagadnienie prędkości ruchu i inne aspekty dynamiki Arystotelesa możemy powiedzieć, że w jego teorii charakter ruchu jest zdeterminowany przez dwa miejsca: miejsce, które zajmuje poruszający się obiekt oraz miejsce, do którego dąży.

Określenie miejsca ciała w sferze podksiężycowej nie przedstawia trudności, gdyż istnieją dwie podstawy, których nieruchomość jest mocno ustalona: środek świata i wnętrze sfery księżycowej (która — ściśle mówiąc — obraca się, ale nie zmienia miejsca). Pojawiają się natomiast trudności, gdy przychodzi określić miejsce ósmej sfery, czyli sfery gwiazd stałych. Istotnie, nie otacza jej nic. Arystoteles stwierdził:

”Jest jasne, że poza niebem nie ma ani miejsca, ani próżni, ani czasu” [5].

Zatem ósma sfera nie znajduje się w miejscu, wobec tego nie może zmieniać swego miejsca, a przecież nieustannie się porusza. Arystoteles starał się pokonać tę trudność postulując, że ósma sfera jest w miejscu nie sama przez się, lecz akcydentalnie, ponieważ każda część sfery jest otoczona przez inne części, które razem funkcjonują jako jej miejsce:

”... wszystkie części nieba znajdują się w pewien sposób w miejscu, bo w kole każda część jest otaczana przez inną. Dlatego też górna sfera niebiańska porusza się wokół, podczas gdy całość nie zajmuje żadnego miejsca; bo, co jest gdzieś, jest również czymś i musi mieć obok siebie coś, co otacza. Lecz poza światem nie ma już niczego na zewnątrz i wskutek tego wszystko się musi w nim zawierać. Świat stanowi bowiem całość...” [6].

Ósma sfera jako całość jest zatem w miejscu *per accidens* i to wystarcza by była w ruchu. Rozwiązanie to nie jest zbyt przekonujące, to też problem miejsca ósmej sfery pozostawał przedmiotem dyskusji przez wiele stuleci.

Jak zauważył Max Jammer [7]:

”Zwykle nie zwraca się uwagi na to, że rewolucja Kopernikańska była częściowo wynikiem rozwiązania trudności związanej z Arystotelesa definicją miejsca (przestrzeni)... Kopernik ostatecznie doszedł do wniosku, że te dwie idee są nie do pogodzenia: albo trzeba zmodyfikować definicję miejsca, albo należy odrzucić dogmat o ruchu najbardziej zewnętrznej sfery niebieskiej. Jak wiemy, Kopernik wybrał tę drugą możliwość. A o tym, że ten problem był rzeczywiście dla Kopernika jednym z ważniejszych bodźców by gruntownie zrewidować przyjęte koncepcje kosmologiczne, można się przekonać z różnych uwag w jego *De revolutionibus orbium coelestium*.

Na przykład, w rozdziale dziesiątym pierwszej księgi czytamy:

”Pierwszą i najwyższą ze wszystkich jest sfera gwiazd stałych, obejmująca samą siebie oraz cały świat i dlatego nieruchoma, mianowicie jako takie miejsce całości, żeby doń można było odnieść ruch i położenie wszystkich pozostałych ciał niebieskich. Niektórzy sądzą, co prawda, że i ta sfera w jakiś sposób podlega zmienności, ale ja, wyluszczyając ruch Ziemi, inną tego pozornego zjawiska wskażę przyczynę.” [8].

”Ale mówią, że poza niebem nie ma żadnego ciała, nie ma przestrzeni ani próżni, a więc w ogóle niczego, i że dlatego niebo nie ma dokąd uciec. W takim razie dziwną jest rzeczą, że coś może doznawać przeszkody w niczym! Natomiast jeśli niebo będzie nieskończone i tylko od wewnątrz ograniczone wklęsłą powierzchnią, raczej może sprawdzi się twierdzenie, że poza niebem nie ma niczego, ponieważ wtedy wszystko znajdzie się w nim bez względu na zajmowaną przez się wielkość: niebo jednak pozostanie nadal nieruchome. Istotnie bowiem najważniejszą rzeczą, dla której usiłują twierdzić, że niebo ma granice, jest ruch.” [9].

Zasługi Kopernika dla rozwiązania problemu miejsca ósmej sfery podkreśla także Max Laue [10]. Wprowadzona do fizyki przez Arystotelesa koncepcja miejsca była przez wiele stuleci podstawą dyskusji sprzyjających rozwojowi mechaniki.

Niedocenie tego prowadzi do braku zrozumienia ducha przednewtonowskiej fizyki.

Oto, na przykład:

”Wielokrotnie wydrwiwana jako ”scholastyczna”, w najbardziej pejoratywnym znaczeniu tego wyrazu, kwestia o ilości diabłów mogących się zmieścić na końcu szpilki jest niczym innym jak doprowadzonym do absurdu przejawem tematyki, dotyczącej stosunku bytów cielesnych i duchowych do przestrzeni i miejsca.” [11].

Arystotelesowski obraz świata został obalony i usunięty z fizyki przez Izaaka Newtona. Newton rozwiązał problem układu odniesienia wprowadzając przestrzeń absolutną, istniejącą niezależnie od materii.

Na początku *Zasad matematycznych filozofii naturalnej* znajdujemy słynne Objasnienie (Scholium) dotyczące pojęć przestrzeni, czasu, miejsca i ruchu:

”Dotąd przedstawiłem definicje słów mniej znanych i wyjaśniłem znaczenie, które im przydaję w następującej dyskusji. Nie definiuję czasu, przestrzeni, miejsca i ruchu, jako dobrze znanych wszystkim. Muszę jednak zauważyć, że zwykli ludzie pojmują te wielkości jedynie na podstawie związków, jakie mają one z rzeczami, które są poznawalne zmysłami. Powstają z tego powodu pewne przesady, dla których usunięcia korzystne jest rozróżnienie wielkości absolutnych i względnych, prawdziwych i widomych, matematycznych i pospolitych.

I. Czas absolutny, prawdziwy i matematyczny, sam z siebie i przez swą naturę upływa równomiernie bez związku z czymkolwiek zewnętrznym i inaczej nazywa się trwaniem; czas względny, widomy i zwykły jest postrzegana zmysłami i zewnętrzną (dokładną lub zmienną) miarą trwania, którą można określić za pomocą ruchu; miara ta jest używana w życiu codziennym zamiast czasu prawdziwego; tak więc mamy godzinę, dzień, miesiąc, rok.

II. Przestrzeń absolutna, przez swą naturę, bez związku z czymkolwiek zewnętrznym, pozostaje zawsze taka sama i nieruchoma. Przestrzeń względna jest pewnym ruchomym wymiarem lub miarą przestrzeni absolutnej; nasze zmysły określają ją przez jej położenie względem ciał i powszechnie przyjmuje się ją za przestrzeń nieruchomą. Taki jest wymiar przestrzeni podziemnej, powietrznej lub niebieskiej, wyznaczony przez położenie względem ziemi. Przestrzeń absolutna i względna mają tę samą postać i wielkość, ale nie pozostają zawsze liczbowo takie same. Gdy bowiem, na przykład, Ziemia się porusza, to przestrzeń naszego powietrza, pozostająca względem Ziemi zawsze jednakowa, będzie w jednej chwili pewną częścią przestrzeni absolutnej, w której porusza się powietrze, a w innej chwili inną jej częścią; tak więc, rozumiana absolutnie, będzie się nieustannie zmieniać.

III. Miejsce jest częścią przestrzeni, którą zajmuje ciało; zależnie od przestrzeni jest absolutne, albo względne. Mówię tu: część przestrzeni, a nie położenie, ani też zewnętrzna powierzchnia ciała. Miejsca równych brył są bowiem równe, natomiast ich powierzchnie, ze względu na niepodobne kształty, są często niejednakowe. Położenia nie mają właściwie wielkości, ani też nie są same miejscami,

lecz właściwościami miejsc. Ruch całości jest tym samym co suma ruchów części; to znaczy przesunięcie całości z jej miejsca jest tym samym co suma przesunięć części z ich miejsc. Dlatego też miejsce całości jest tym samym co suma miejsc części i z tego powodu jest ono wewnętrzne i w całym ciele.

IV. Ruch absolutny jest przemieszczeniem ciała z jednego miejsca absolutnego w drugie; ruch względny jest przemieszczeniem z jednego miejsca względnego w drugie ...” [12].

Zauważmy, że w powyższym tekście Newton podaje szczegółową definicję miejsca mimo wcześniejszego zapewnienia, że jest to pojęcie dobrze wszystkim znane. Tym samym wnosi wkład do dyskusji pojęcia miejsca zapoczątkowanej przez Arystotelesa.

Podkreślając realność przestrzeni absolutnej, niezależnej od materii, oraz zapewniając, że ruch jednostajny jest względny, natomiast ruch przyspieszony — absolutny, Newton przygotował podstawy mechaniki klasycznej.

Newtona prawa ruchu zostały przyjęte bez zastrzeżeń. Inaczej było z ideą przestrzeni absolutnej. Arystotelesowską ideę przestrzeni zależnej od materii podtrzymywali Kartezjusz, Leibniz, Mach oraz Einstein. Jak podkreślił Samburski [13]:

„Kombinacja geometrii i materii w arystotelesowskiej idei miejsca nie jest niepodobna do koncepcji przestrzeni w ogólnej teorii względności. Ta teoria również odrzuca newtonowski obraz przestrzeni jako czegoś w rodzaju nieskończonego „pudełka”, w którym poruszają się ciała fizyczne, obrazuje natomiast przestrzeń jako wynik łączności ciała i jego otoczenia: ciało fizyczne wyznacza geometrię swego otoczenia i geometrii tej nie można sztucznie oddzielić od ciała... Rozumowanie to, podobnie jak arystotelesowskie, prowadzi do zaprzeczenia próżni ...”

Nie zamierzam tu oczywiście nawracać czytelników na fizykę Arystotelesa. Staram się jedynie wykazać, że jesteśmy spadkobiercami Arystotelesa w stopniu znacznie większym niż to się zwykle przyznaje.

W tym miejscu wielu fizyków zaprotestuje i powie: przecież Arystoteles całkowicie się mylił. Istotnie, jego fizyka została kompletnie zdyskredytowana przez Galileusza i Newtona. Jak zauważył Carl Boyer [14]: „Stało się modne wyśmiewanie nauki Arystotelesa ze względu na jej błędy, bardziej domniemane niż rzeczywiste.”

Dla przykładu przytoczę to, co znany uczyony miał do powiedzenia o Arystotelesie [15]:

„Arystoteles bardzo zaszkodził fizyce i astronomii budując swój system na dwóch założeniach, których nie sprawdził doświadczalnie. Spostrzegł on, że ciała lekkie spadają wolniej niż ciężkie (np. liście wolniej niż kamienie) oraz, że ciała spadają szybciej w powietrzu niż w wodzie, a w wodzie szybciej niż np. w miodzie. Stąd wywnioskował, że szybkość spadku ciała jest 1) proporcjonalna do jego ciężaru i 2) odwrotnie proporcjonalna do oporu ośrodka. Tak więc, ciężar dziesięciofuntowy miał spadać dziesięć razy szybciej niż ciężar funtowy; a jeśliby woda

stawiała opór 20 razy większy niż powietrze, to w powietrzu ciała spadałyby 20 razy szybciej niż tonęłyby w wodzie. Żadna z tych reguł nie zgadza się z faktami, a na nieszczęście Arystoteles stosował je jak aksjomaty. Toteż udowodnił w zupełnie poprawnym rozumowaniu szereg fałszywych wniosków (np. że próżnia nie może istnieć). Dlatego też mechanika musiała czekać niemal dwa tysiące lat na początek swego rozwoju.”

Niestety, wielu fizyków dowiadywało się o osiągnięciach Arystotelesa z podobnie zniekształconych opisów. Nic dziwnego, że są oni gotowi do potępienia jego fizyki i jego samego jako fizyka. Ale ta sytuacja wydaje się ulegać zmianie. W niedawno wydanej książce z historii nauki [16] Arystoteles nazwany jest pierwszym fizykiem. Carl Boyer w swym artykule przedstawił wspaniałą analizę fizyki Arystotelesa [14]. Rozdział 2 niedawnego dzieła Juliana Barboura [17] zawiera energiczną i poprawną obronę Arystotelesa przed zarzutami, że opóźnił on badania ruchu. Podobnie, teraz częściej niż dawniej, pamięta się [18]:

”... że skostniałość systemu Arystotelesa nie leżała w samym systemie, ale w interpretacji dodanej doń, zwłaszcza w Średniowieczu. Wiążąc teorie Arystotelesa z własnymi poglądami religijnymi ludzie owych czasów wprowadzili do debaty na temat stosowalności systemu Arystotelesa z góry powzięte sądy, które nie miały nic wspólnego z wartością filozoficzną ani naukową systemu.”

Moje zainteresowanie przyrodoznawstwem Arystotelesa datuje się od 1977 r. kiedy to przeczytałem oświecający artykuł Barry’ego Caspera [19]. Casper poddał analizie obiegowe opinie na temat Arystotelesa praw ruchu naturalnego i doszedł do wniosku, że

”mamy tylko dwie możliwości: albo Arystoteles był głupcem, albo miał co innego na myśli. Ponieważ istnieje dostatecznie dużo dowodów, że głupcem nie był, staraliśmy się odkryć możliwą do przyjęcia odmienną interpretację jego słów.”

Casper przekonywał, że

”w systemie pojęć Arystotelesa ‘ciężar’ i ‘lekkość’ miały znaczenie różne od obecnego i w rzeczywistości były mierzone prędkością spadku w dół i wznoszenia się w górę.

W tym samym czasie przeczytałem relację Thomasa Kuhna [20] o tym jak on zaczął rozumieć Arystotelesa. Oto wyjątek z jego książki:

”Arystoteles, zajmując się innymi zagadnieniami niż fizyczne, był bystrym, nieuprzedzonym obserwatorem. Ponadto w takich dziedzinach, jak biologia czy zachowania społeczne, jego interpretacje zjawisk były głębokie i przenikliwe. Dlaczego te jego uzdolnienia zawodziły, gdy zajmował się ruchem? Jak to możliwe, że powiedział na ten temat tak wiele, zdawałoby się, nonsensów? A przede wszystkim, dlaczego jego poglądy traktowane były tak poważnie przez tylu jego następców: Im więcej czytałem, tym bardziej mnie to zastanawiało. Arystoteles mógł, oczywiście, błędzić — i nie miałem wątpliwości, że tak było — ale jak to możliwe, że jego błędy były tak oczywiste?

Pewnego pamiętnego (i bardzo gorącego) letniego dnia kłopoty te znikły. Nagle dostrzegłem alternatywny sposób czytania tekstów, którymi się zajmowałem.

Po raz pierwszy przywiązałem należne znaczenie do tego, iż przedmiotem badań Arystotelesa była zmiana jakości w ogóle, zmiana obejmująca zarówno spadanie kamienia, jak przejście od wieku dziecięcego do dojrzałego. To, co w przyszłości stać się miało przedmiotem mechaniki, było w jego fizyce w najlepszym razie nie całkiem dającym się wyodrębnić przypadkiem szczególnym. Jeszcze dalej idące konsekwencje miało stwierdzenie, że stałymi składnikami Arystotelesowskiego świata, jego elementami ontologicznie pierwotnymi i niezniszczalnymi były nie ciała materialne, lecz raczej jakości. Jakości te nałożone na porcje wszechobecnej, pozbawionej właściwości materii tworzyć miały poszczególne ciała materialne lub substancje. Zgodnie z fizyką Arystotelesa położenie miało być jednak jakością, a ciało, które zmieniał położenie, pozostawało zatem tym samym ciałem, ale w tym problematycznym sensie, w jakim dziecko stając się dorosłym pozostaje tą samą jednostką. W świecie, w którym pierwotne są jakości, ruch uchodzić musiał raczej za zmianę stanu niż za stan.”

Podsumujmy teraz główne osiągnięcia Arystotelesa, które uzasadniają jego pozycję jako pierwszego przyrodnawcy, czy może — pierwszego fizyka.

1. Arystoteles uczynił przyrodę obiektem badań naukowych i spośród wszystkich greckich filozofów przyrody miał najwyraźniejsze podejście empiryczne. Jak wyraził się Thomas Taylor [21]:

”... Arystoteles nawet teologię ujmował od strony fizycznej, Platon — przeciwnie rozważał nawet fizykę z punktu widzenia teologii.”

2. Arystoteles był jedynym uczonym Starożytności, który próbował opracować ilościową teorię dynamiki. Historia nauki wykazuje jasno, że jakakolwiek teoria jest lepsza od braku teorii.

3. Przekonanie Arystotelesa o niemożliwości istnienia próżni było w części oparte na jego dojrzałym rozumowaniu. W nieograniczonej przestrzeni nie ma możliwości określenia miejsca lub kierunku. Żaden kierunek nie może być preferowany w stosunku do innych, gdyż

”... próżnia jako taka nie dopuszcza żadnych różnic.” [22].

Ze względu na symetrię problemu, ciało umieszczone w takiej próżni nie mogło by rozpocząć ruchu ani też zatrzymać się, gdyby było w ruchu:

”... nikt nie potrafi wyjaśnić, wskutek czego ciało wprawione w ruch gdzieś musi się zatrzymać; dlaczego zatrzyma się raczej w tym niż w innym miejscu?” [23]

4. Widzieliśmy wyżej, że poglądy Arystotelesa na przestrzeń są bliższe dzisiejszej fizyce niż Newtona przestrzeń absolutna:

”... nie ma takiej próżni, która by istniała niezależnie od materii, jak to twierdzą niektórzy.” [24]

5. W przeszłości ”złej” fizyce Arystotelesa często przeciwstawiano ”dobrą” fizykę jego następcy Archimedesza. Boyer [14] wykazał przekonująco, że jest to nieuzasadnione. W szczególności, pierwsze ilościowe sformułowanie zasady dźwigni, powszechnie przypisywane Archimedesowi, zostało wypowiedziane co najmniej o stulecie wcześniej w arystotelesowskiej *Mechanice* [25].

„... w działaniu dźwigni są trzy czynniki, a mianowicie podpora, czyli zawieszenie, czyli oś, i dwie siły nacisku, a mianowicie siła poruszająca i ciężar poruszany. Ciężar poruszany ma się do siły poruszającej, jak się ma odwrotnie długość do długości. Zawsze im bardziej dłuższe ramię będzie oddalone od podpory, tym łatwiej wprawi w ruch.”

6. Dijksterhuis [26] podkreśla jeszcze jedno istotne osiągnięcie Arystotelesa. Dzięki stworzeniu logiki formalnej

„... Arystoteles, który w odróżnieniu od Pitagorejczyków, atomistów i Platona reprezentuje ogólnie niematematyczny kierunek w historii nauki, wydaje się mieć wkład w matematyzację nauki.”

Kiedy poproszono mnie o przygotowanie na tę konferencję referatu plenarnego o rozwoju fizyki pomyślałem od razu o hołdzie dla Arystotelesa. Miałem nadzieję przekonać słuchaczy, że ten największy człowiek starożytnej Grecji zasługuje na nasz podziw, a nie na śmieszność, ponieważ my, fizycy, jesteśmy w pewnym sensie jego dziećmi intelektualnymi. Stąd wziął się tytuł tego tekstu

Ale pewnego dnia otrzymałem list, którego nadawcą był Dileep Sathe z Pune w Indiach [27]. Zrozumiał on zapowiedziany tytuł mojego referatu jako odnoszący się do utrzymywania się arystotelesowskiej mechaniki wśród studentów. Nie planowałem w ogóle dyskusji na ten temat, ale list Sathy skłonił mnie do dodania paru uwag.

Jest prawdą, że każdy uczący się fizyki elementarnej musi zwalczać w sobie błędne koncepcje nasuwające się na podstawie codziennego doświadczenia. Dla wielu laików jest w ogóle niemożliwe uwierzenie w poprawność nowoczesnej dynamiki. Ale, jak pisze Dijksterhuis [28]:

”Powód jest oczywisty. Arystoteles po prostu sformułował najbardziej podstawowe spostrzeżenia dotyczące ruchu jako uniwersalne wnioski naukowe, natomiast dynamika klasyczna, z jej zasadą bezwładności i proporcjonalnością siły i przyspieszenia, formuluje twierdzenia, które nie tylko nie są nigdy potwierdzone przez codzienne doświadczenie, ale których bezpośrednie sprawdzenie doświadczalne jest niemożliwe ze względów zasadniczych: nie można wszak umieścić punktu materialnego samego przez się w nieskończonej przestrzeni, a potem podziałać nań siłą stałą co do kierunku i wartości; nie można nawet nadać takiemu sformułowaniu żadnego racjonalnego znaczenia. Żaden z eksperymentów, których wynikami podręczniki mechaniki starają się uzasadnić podstawowe prawa dynamiki, nie został nigdy wykonany w praktyce.”

Na zakończenie zacytuję zdanie otwierające drugą księgę *Metafizyki* Arystotelesa; jest ono wyryte na siedzibie Narodowej Akademii Nauk (National Academy of Sciences) w Waszyngtonie [29]:

”Badanie prawdy jest w pewnym sensie trudne, w innym sensie łatwe. Dowodzi tego fakt, że nikt nie potrafi osiągnąć jej w całym zakresie, ani też, z drugiej strony, nikt nie może błędzić zupełnie, lecz każdy filozof próbuje powiedzieć coś prawdziwego o naturze rzeczy i, podczas gdy indywidualnie nie wnosimy niczego albo niewiele do prawdy, razem dochodzimy do znacznych rezultatów.”

Jestem pewien, że niewielu uczonych może czytać te słowa bez emocji, trudno bowiem nie rozpoznać w nich pewnych naszych rysów intelektualnych.

Literatura

- [1] Arystoteles, *Fizyka* 200b, tłum. Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa 1968, str. 65.
- [2] *ibid.* 212a, str. 108.
- [3] *ibid.* 212a, str. 109.
- [4] *ibid.* 208b, str. 96.
- [5] Arystoteles, *O niebie* 279a, tłum. Paweł Siwek, PWN, Warszawa 1980, str. 38.
- [6] Arystoteles, *Fizyka* 212b, [1], str. 110-111.
- [7] M. Jammer, *Concepts of Space*, Harvard University Press, Cambridge 1970, str. 72-73.
- [8] M. Kopernik, *O obrotach*, Księga pierwsza, rozdział 10, tłum. Mieczysław Brożek, Ossolineum, Wrocław 1987, str. 54-55.
- [9] *ibid.*, rozdział 8, str. 41-42.
- [10] M. Laue, *Geschichte der Physik*, Bonn 1950; tłum. Armin Teske *Historia fizyki*, PWN, Warszawa 1957.
- [11] S. Świeżawski, *Dzieje filozofii europejskiej w XV wieku*, tom V: Wszechświat, ATK, Warszawa 1980, str. 186.
- [12] *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles 1966, str. 6-7.
- [13] S. Sambursky, *The Physical World of the Greeks*, Collier Books, New York 1962, str. 119.
- [14] C. Boyer, "Aristotle's Physics", *Sci. Amer.* **186**, (5) 48 (1950).
- [15] F. Sherwood Taylor, *A Short History of Science and Scientific Thought*, Norton, New York 1963, str. 31-32.
- [16] A. M. Alioto, *A History of Western Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1987.
- [17] J. B. Barbour, *Absolute or Relative Motion? A Study from a Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamic Theories*, vol. 1: *The Discovery of Dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge 1989.
- [18] Ch. Singer, *A Short History of Scientific Ideas to 1900*, Oxford University Press, Oxford 1962, str. 56.
- [19] B.M. Casper, "Galileo and the Fall of Aristotle: A Case of Historical Injustice?", *Amer. J. Phys.* **45**, 325 (1977); patrz także J. L. Redding, *Amer. J. Phys.* **46**, 689 (1978).
- [20] T.S. Kuhn, *The Essential Tension*, University of Chicago Press, Chicago and London 1977; tłum. Stefan Amsterdamski: *Dwa bieguny*, PIW, Warszawa 1985, str. 10-11.
- [21] B. Farrington, *Greek Science*, Penguin Books, London 1953; tłum. Zygmunt Glinka: *Nauka grecka*, PWN, Warszawa 1964, str. 131.
- [22] Arystoteles, *Fizyka* 241b, [1] str. 119.
- [23] *ibid.* 215a, str. 120.
- [24] *ibid.* 214b, str. 118.
- [25] Arystoteles, *Mechanika* 850b, w: *Pisma różne*, tłum. Leopold Regner, PWN, Warszawa 1978, str. 295.
- [26] E.J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, Oxford University Press, Oxford 1961, str. 42.
- [27] D.V. Sathe, list do autora z 1.V.1991.

[28] E.J. Dijksterhuis [26], str. 30-31.

[29] Arystoteles, *Metafizyka* 993ab, tłum. Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa 1984, str. 40.

Paweł Sobkowicz

*Instytut Fizyki PAN
Warszawa*

Sieci komputerowe

Computer networks

Abstract: The explosive growth of world wide computer networks begins to be felt in Poland. The present status of networks in the USA, Europe and in Poland is described, together with many uses of such networks.

W ostatnich latach jesteśmy świadkami (a od dwu lat uczestnikami) wybuchowego wręcz rozwoju wielkozasięgowych sieci komputerowych. Wystarczy powiedzieć, że sieć Internet, na samym terenie USA łączy co najmniej 25000 ośrodków, czyli ok. 300000 komputerów używanych regularnie przez 2 miliony użytkowników. Europejski odpowiednik nie pozostaje daleko w tyle — łączy już ok. 140000 maszyn. Związek sieci komputerowych z życiem społeczności naukowej, w tym z fizyką, jest coraz większy — i, dodać trzeba, dwustronny. Dyscypliny naukowe nie tylko korzystają z możliwości jakie dają sieci ale i same stymulują ich rozwój, „wynajdując” nowe zastosowania, rozwijając potrzebne technologie, czy tworząc i rozprowadzając oprogramowanie.

Zastosowania sieci komputerowych

Sieci komputerowe, w zależności od rodzaju, mogą być wykorzystywane na wiele sposobów. Najważniejsze z nich to:

E-mail — poczta elektroniczna. Umożliwia wymianę wiadomości między poszczególnymi użytkownikami, z prędkością i sprawnością niedostępną dla tradycyjnej poczty (przezywanej złośliwie przez użytkowników poczty elektronicznej *snail-mail* „poczta ślimacza”) czy nawet faxów. Co więcej, poczta elektroniczna umożliwia kontakt z komputerowymi bazami danych i programów. Osoby zainteresowane mogą odbierać wiadomości, żądać przesłania danych lub programów, wreszcie same przysyłać swoje informacje do archiwów.

Grupy dyskusyjne (*news groups, bulletin boards*) pozwalają na codzienne zbieranie informacji z wielu źródeł, dając zainteresowanym możliwość wymiany informacji, dyskusji, a nawet kłótni i flirtu (!).

Zdalny dostęp (*remote login*) do komputerów. Podzielić go można właściwie na dwie kategorie. Do pierwszej zaliczyć należy sytuacje, w których użytkownik wykorzystuje sieć do zdalnej pracy za pomocą komputera, którego jest legalnym użytkownikiem (gdzie posiada własne konto itd.) Druga kategoria to tzw. konta anonimowe, pozwalające na zdalne korzystanie z baz danych (takich jak np. katalogi bibliotek), oraz przesyłanie zbiorów danych i programów. Ta ostatnia możliwość ważna jest także ze względu na udostępnienie bogatego zasobu *legalnego*, tj. tzw. *public domain* oprogramowania, dotyczącego niemal każdego z istniejących typów komputerów.

Technika i pieniądze

Wzrost zainteresowania sieciami komputerowymi i ich rozwój stymulują się wzajemnie. Doświadczenie uczy, że każdy wzrost zdolności sieci do przekazywania informacji niemal natychmiast wykorzystywany jest do maksimum przez użytkowników. Stany Zjednoczone, kraj o niewątpliwie najbardziej rozwiniętej infrastrukturze sieci komputerowych, doczekały się niedawno aktu prawnego (*High Performance Computing and Communications Act*), mającego na celu „dramatyczne rozszerzenie” amerykańskiej części sieci Internet, która nadal „pozostaje za mało jednorodna i sprawna jak na infrastrukturę narodową”. Ustawa przewiduje wydatkowanie niemal 1 000 000 000 dolarów na powstanie nowej generacji sieci o wielkiej zdolności przesyłowej — początkowo 45 Mbs (Megabitów/s) a ostatecznie rzędu Gigabitów/s. Sieć ta łączyć ma ponad milion komputerów. Poszczególne linie o gigabitowych pojemnościach są już testowane.

W porównaniu z USA, gdzie już w chwili obecnej sieć NSF (*National Science Foundation*) łączy ponad 20 sieci regionalnych łączami 45 Mbs, stan sieci w Europie nie jest imponujący. Większość połączeń międzynarodowych, utrzymywanych przez odpowiednie poczty, ma zdolność przesyłową zaledwie 64 kbs. Kilka narodowych sieci oferuje, co prawda, linie 2 Mbs, ale wyłącznie dla użytku wewnętrznego. Nie ma w chwili obecnej planów instalacji gigabitowych sieci paneuropejskich. Istniejące projekty są natury narodowej i mają ograniczony zasięg. W opinii wielu jest to niebezpieczny znak pozostawiania w tyle. Wydaje się, że wymienić można kilka przyczyn tego stanu rzeczy: od braku koordynacji między zawiadującymi telekomunikacją poszczególnych krajów urzędami pocztowymi, przez wysokie opłaty za wynajmowane łącza, aż do braku w pełni europejskich producentów superkomputerów, będących naturalnymi partnerami społeczności naukowej w rozbudowywaniu zaawansowanych sieci.

Sieci komputerowe w Polsce

Polska, a w zasadzie cała Europa Wschodnia przeżywa w chwili obecnej szybki rozwój sieci komputerowych. Do niedawna znane tylko z relacji z zagranicy,

stały się już w niektórych ośrodkach akademickich codzienną rzeczywistością i narzędziem pracy. Za debiut ogólnopolskiej (w założeniu) sieci komputerowej uznać można powstanie w lipcu 1990 r. polskiego ośrodka sieci EARN: PLEARN¹. Od tego czasu sieć PLEARN rozrasta się w sposób ciągły, poprzez dołączanie coraz nowych ośrodków. W celu administrowania tą siecią powołana została Narodowa Akademicka Sieć Komputerowa (NASK). W październiku 1991 w ramach Inicjatywy Wschodnioeuropejskiej IBM, firma ta wyposażyła centrum PLEARN w komputer typu 3090.

Od zeszłego roku zaczyna także działać w Polsce sieć Internet: od czerwca 1991 linia Kraków–Warszawa, od września — linia Warszawa–Kopenhaga. Ta ostatnia została w ostatnim okresie zastąpiona przez szybszą (o standardzie europejskim — znacznie wolniejszym jednak niż amerykański) linię Warszawa–Sztokholm. Wraz z rosnącą stopniowo liczbą lokalnych sieci komputerowych wykorzystujących oprogramowanie sieciowe TCP/IP można mówić o włączaniu się naszego kraju do ogólnoświatowej sieci Internet. Podkreślić należy tu fakt, iż kluczową rolę w tworzeniu i koordynowaniu rozwoju tej sieci odegrała i odgrywa grupa młodych fizyków z Uniwersytetu Warszawskiego.

Sieci a fizyka

Szerokie zastosowanie komputerów we współczesnej fizyce w naturalny sposób spowodowało, iż fizycy byli i są na pierwszej linii użytkowników sieci komputerowych. Część istniejących w Europie sieci to sieci dedykowane fizyce. Przykładem może tu być HEPnet (*High Energy Physics net*), łącząca CERN z ponad 20 instytutami w wielu krajach. Innym przykładem jest ISAnet, łącząca cztery miasta–siedziby Europejskiej Agencji Kosmicznej. Fizycy odegrali też znaczącą rolę w „usieciowieniu” Europy Wschodniej. DESY w Hamburgu już w 1990 r. stworzyło powolne i wyspecjalizowane połączenie z Instytutem Lebedieva w Moskwie. CERN w Genewie połączony jest z ośrodkiem badawczym w Dubnej. HEPnet ma połączenia z Krakowem i Budapesztem. Praga ma połączenia z Wiedniem i Linzem.

Podsumowanie

W chwili obecnej trudno jest już wyobrazić sobie rozwój nauki bez sieci komputerowych. Obok czysto „komputerowych” skutków, jak szeroki dostęp do superkomputerów, baz danych i programów, sieci wywierają wpływ na inne aspekty działalności naukowej.

Opublikowany w maju zeszłego roku w *Physics Today* artykuł N. Davida Mermina proponujący przejście od tradycyjnych „papierowych” publikacji naukowych o recenzowanych artykułach do komputerowych „tablic”, które pozwalałyby

¹Por. artykuł T. Hofmoka, *Postępy Fizyki* 42, 527 (1991)

na „publikowanie” rezultatów, wywołał ogromny odzew czytelników. Komentarz do głosów (zarówno entuzjastycznych, przychylnych jak i całkowicie dezawuuujących proponowaną ideę) stanowić może fakt, że w niektórych dziedzinach fizyki takie rozwiązanie jest już faktem, a miejsce papierowych preprintów zajęły przesyłki poczty elektronicznej. Pozwala to na szybką, niemal bezpośrednią dyskusję z kolegami znajdującymi się „na końcu świata”.

Także „staromodne” wydawnictwa fizyczne coraz częściej akceptują artykuły w formie poczty elektronicznej. Prowadzi to do rozszerzania i utrwalania pewnych standardów (jak np. program $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$), przyspieszenia procesu druku, a więc i docierania informacji do czytelnika.

Niewątpliwie nadejdzie czas gdy Redakcja *Postępów Fizyki* także będzie przyjmować manuskrypty, przepraszam, „kompuskrypty” poprzez sieć komputerową.

WSPOMNIENIA — ROCZNICE

Marek Płoszajczak

*Instytut Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego
Kraków*

Adam Sobiczewski i Janusz Wilczyński

*Instytut Problemów Jądrowych
im. A. Sottana
Warszawa-Świerk*

Wspomnienie o Zbigniewie Bochnackim

Recollection of Zbigniew Bochnacki

Dnia 30 września 1990 r. zmarł prof. dr hab. Zbigniew Bochnacki, fizyk-teoretyk jądrowy, dyrektor Instytutu Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego w Krakowie. Zmarł nagle, w pełni sił twórczych, w pełni aktywności naukowej i organizacyjnej.

Profesor Bochnacki urodził się 18 lutego 1935 r. w Jeziorku (powiat kielecki), gdzie jego rodzice byli nauczycielami w szkole podstawowej. Sam ukończył szkołę podstawową w Świącicach (powiat miechowski) w r. 1948, a szkołę średnią i Liceum Ogólnokształcące im. Tadeusza Kościuszki w Miechowie w r. 1952. W tym samym roku wziął udział w pierwszej Olimpiadzie Fizycznej, której został jednym z laureatów. Pozwoliło mu to rozpocząć bez egzaminu wstępnego studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Studia te ukończył w 1956 r. uzyskując tytuł magistra fizyki. Jeszcze przed ukończeniem studiów, rozpoczął pracę w Katedrze Fizyki Teoretycznej UJ jako zastępca asystenta (wówczas, w okresie niedostatku kadry naukowej i dydaktycznej, proponowano szczególnie uzdolnionym studentom podjęcie takiej pracy). W Katedrze tej pracował niecały rok, do listopada 1956, kiedy to przeniósł się do powstającego właśnie Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie, gdzie pracował do końca życia.

Ożenił się w 1957 r. z panią Urszulą Nowak, wówczas studentką czwartego roku Wydz. Prawa UJ.

Wyszkolenie specjalistyczne otrzymał w bardzo dobrych ośrodkach fizyki teoretycznej. Zarówno pracę magisterską jak i doktorską wykonał na Uniwersytecie Jagiellońskim. Jego zainteresowanie teorią struktury jądra ukształtowało się ostatecznie w 1957 r. podczas półrocznego pobytu w Instytucie Fizyko-Technicznym w Leningradzie, gdzie pracował pod kierunkiem znanego teoretyka jądrowego prof. L.A. Sliwa. Zainteresowania te rozwinęły się i ugruntowały w latach 1959-60, podczas jego rocznego pobytu (jako stypendysty Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej) w Instytucie Fizyki Teoretycznej (obecnie Instytut Nielsa Bohra) w Kopenhadze, słynnej kopenhaskiej szkole fizyki jądrowej. Pracował tam pod kierunkiem czołowego przedstawiciela tej szkoły, prof. Aage Bohra (syna Nielsa Bohra), późniejszego laureata Nagrody Nobla z fizyki w r. 1975.

Właściwie wszystkie prace Bochnackiego są z zakresu teorii struktury jądra atomowego. Pierwsze z nich, a także wiele dalszych, dotyczą jąder zdeformowanych. Były to lata dużego zainteresowania skutkami jakie wywiera na obserwowane własności jądra jego deformacja. Ledwie co opracowany został przez szwedzkiego teoretyka jądrowego S.G. Nilssona, bardzo blisko związanego ze szkołą kopenhaską, model wewnętrznej struktury jądra zdeformowanego (tzw. model Nilssona), który stał się źródłem bardzo bogatych przewidywań własności tych jąder.

Pierwsza publikacja Bochnackiego [1] zajmuje się tzw. przejściami wzbronionymi w rozpadzie beta jądra zdeformowanego. Opiera się ona właśnie na modelu Nilssona. Wykonana została podczas pobytu u Sliwa. Prace wykonane w Kopenhadze koncentrują się na odstępstwach widma rotacyjnego jądra zdeformowanego od widma idealnego rotora. Odstępstwa te są wynikiem oddziaływania obrotu jądra z innymi stopniami swobody, np. z jego drganiem, podobnie jak to zachodzi przy rotacji molekul.

Cały cykl następných prac wykonany został wspólnie ze Stanisławem Ogazą, nie żyjącym już doświadczalnym fizykiem jądrowym z Krakowa (patrz artykuł wspomnieniowy o nim R. Brody, *Postępy Fizyki* 43, 179 (1992)). Dotyczy on zjawiska tzw. polaryzacji spinowej. Zjawisko to jest jednym z przykładów silnych efektów polaryzacyjnych, występujących w jądrach. W jądrach nieparzystych (tj. o nieparzystej liczbie nukleonów) polega ono na tym, że zewnętrzny (nieparzysty) nukleon indukuje w parzysto-parzystym rdzeniu (tj. całej reszcie jądra, o parzystej liczbie zarówno protonów jak i neutronów) pole zależne od względnego ustawienia spinów zewnętrznej cząstki i nukleonów rdzenia. Pole to stara się ustawić spiny cząstek rdzenia antyrównoległe do spinu cząstki zewnętrznej. W rezultacie, wartość średnia spinu rdzenia staje się różna od zera (normalnie jądro parzysto-parzyste ma w stanie podstawowym spin równy zeru) i modyfikuje średnią wartość spinu całego jądra, co z kolei zmienia wartość spinowej części momentu magnetycznego. Polaryzacja spinowa, oprócz własności magnetycznych, modyfikuje także pewne typy przejść beta. Polaryzacja ta była uprzednio rozważana w jądrach sferycznych. W jądrach zdeformowanych została jednak uwzględniona po raz pierwszy przez Bochnackiego i Ogazę, istotnie ulepszając

zgodność teorii z doświadczeniem. Prace tego cyklu opublikowane zostały w *Nuclear Physics* i *Acta Physica Polonica* (por. pracę [2] oraz cytowane tam publikacje wcześniejsze). Pewnego podsumowania ich dokonał Bochnacki w swojej rozprawie habilitacyjnej [3]. Podsumowanie to dokonane jest już jednak z ogólniejszego punktu widzenia niż zawarty w publikacjach oryginalnych, a rozwiniętego w następnym cyklu prac.

Ten dalszy cykl poświęcony jest zagadnieniu oddziaływań efektywnych między nukleonami wewnątrz jądra. Oddziaływania efektywne są zwykle punktem wyjścia do złożonych obliczeń wielkości, które można mierzyć w eksperymencie, takich jak np. energie wzbudzenia poziomów kolektywnych jądra oraz prawdopodobieństwa przejść elektromagnetycznych między tymi poziomami. Kłopot jest jednak w tym, że oddziaływań tych właściwie nie znamy. Różnią się one istotnie od stosunkowo nieźle znanych oddziaływań między swobodnymi nukleonami, z powodu modyfikacji jakie wnoszą do nich obecność innych nukleonów w jądrze. Są więc traktowane fenomenologicznie. Bochnacki, wspólnie ze współpracownikami, rozwinął metodę otrzymywania tych oddziaływań z potencjału jednocząstkowego, opisującego uśrednione oddziaływanie wszystkich nukleonów jądra na jeden z nich. Potencjał taki jest wprawdzie z reguły także wielkością fenomenologiczną (np. potencjał Nilssona czy Woodsa-Saxona), ale stojącą znacznie bliżej eksperymentu, a więc i znacznie lepiej znaną niż oddziaływanie efektywne. Odtwarzanie oddziaływań efektywnych z potencjału jednocząstkowego jest postępowaniem odwrotnym, "do tyłu", w stosunku do zwykłych obliczeń typu Hartree'ego-Focka w fizyce jądrowej, gdzie z oddziaływań efektywnych wyznacza się potencjał jednocząstkowy. Takie odwrotne do zwykłego postępowanie było w prostych wypadkach stosowane już wcześniej przez A. Bohra i B.R. Mottelсона, ale przez Bochnackiego i współpracowników zostało istotnie uogólnione i rozwinięte. Do wyznaczania zaś krótkozasięgowej składowej oddziaływania efektywnego (składowa ta kojarzy nukleony w pary) zostało zastosowane przez Bochnackiego po raz pierwszy. Prace tego cyklu stanowiły bardzo obszerną dyskusję postaci oraz własności oddziaływań efektywnych w jądrach (por. np. prace [4,5] i publikacje cytowane tam). Zaangażowana w nie była m.in. spora grupa fizyków pracujących w Laboratorium Fizyki Teoretycznej Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej, zgromadzona wokół Bochnackiego.

Ostatnie prace prof. Bochnackiego związane są z odkrytym w 1984 r. w jądrach zdeformowanych stosunkowo nisko leżącym (ok. 3 MeV) poziomem $1+$ (tj. o spinie 1 i parzystości dodatniej). Poziom ten został zinterpretowany jako kolektywne, dipolowe wzbudzenie izowektorowe jądra, tzn. polegające na drganiu protonów względem neutronów. W odróżnieniu jednak od znanego od dawna wzbudzenia izowektorowego $1-$, które można wyobrażać sobie jako drganie kul protonowej względem neutronowej, wzbudzenie $1+$ interpretowane jest jako drganie "nożycowe" elipsoidy protonowej względem neutronowej. Mówiąc dokładniej, jest to drganie polegające na obrocie wokół tej samej osi (prostopadłej do osi symetrii elipsoid), ale w przeciwnym kierunku (czy przeciwnej fazie), elipsoid proto-



Prof. Zbigniew Bochnacki w połowie lat siedemdziesiątych

nowej i neutronowej, przy czym obroty te polegają na niedużym tylko odchyleniu od stanu równowagi jądra zdeformowanego, tj. od sytuacji gdy obie elipsoidy pokrywają się. Ruch jest więc podobny do ruchu dwóch połówek nożyc względem siebie. Bochnacki, razem ze współpracownikami (por. pracę [6] i inną jego publikację cytowaną tam), wykonał obliczenia mikroskopowe (tzn. oparte na modelu wewnętrznej struktury jądra, za który przyjęty został potencjał Woods-Saxona) energii tego drgania oraz prawdopodobieństwa jego wzbudzenia dla kilku jąder z obszaru ziem rzadkich. Otrzymał dobrą zgodność z doświadczeniem, szczególnie dla energii wzbudzenia. Poznanie natury drgań nożycowych jąder uznane zostało za jedną z głównych nowości fizyki jądrowej w r. 1987. Wyboru takich wyróżniających się osiągnięć w poszczególnych działach fizyki dokonywały w końcu każdego roku w latach osiemdziesiątych odpowiednie oddziały towarzystw wchodzących w skład Amerykańskiego Instytutu Fizyki; były one następnie publikowane w dziale "Physics News" czasopisma *Physics Today*, w styczniowym numerze następnego roku. Przy omówieniu drgań nożycowych (*Physics Today*, styczeń 1988, s. S-58) cytowana jest praca [6] Bochnackiego i współautorów.

Z działalności przekładowej warto wspomnieć, że Bochnacki przetłumaczył, wspólnie z żoną, jedną z nielicznych książek z zakresu teoretycznej fizyki jądrowej przełożonych na język polski. Jest to książka *Jednolita teoria modeli jądrowych i sił jądrowych* (PWN, Warszawa 1969), napisana przez znanego amerykańskiego teoretyka jądrowego G.E. Browna, który przez wiele lat pracował w ośrodku kopenhaskim. Tłumaczenie jest bardzo dobre.

Bochnacki bardzo angażował się w sprawę kształcenia młodej kadry. Przez wiele lat prowadził wykłady teoretycznej fizyki jądrowej na Uniwersytecie Jagiellońskim. Kierował kilkoma pracami magisterskimi i kilkoma doktorskimi. Jeden z nas (M.P.) wykonał pracę magisterską i ukształtował swoje zainteresowania właśnie pod jego kierunkiem. Przez kilka lat prof. Bochnacki kierował także grupą

badawczą w Laboratorium Fizyki Teoretycznej Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej. Grupa ta, jak wspomnieliśmy wyżej, prowadziła badania nad efektywnymi oddziaływaniami w jądrze, zainicjowane przez Bochnackiego. Recenzował wiele prac doktorskich i habilitacyjnych. Na egzaminach doktorskich nie wnikał zwykle w jakieś szczegóły obliczeń, ale sprawdzał czy doktorant dobrze rozumie problem fizyczny, nad którym pracował, czy potrafi określić jego istotę i znaczenie, a także czy umie przedstawić go w prosty i przejrzysty sposób. Bezpośrednio po jednym z takich egzaminów, doktorant, wyraźnie podniecony i "ośniony", zwierzał się jednemu z nas, że dopiero teraz zrozumiał co właściwie zrobił. Nie był to więc komplement dla siebie samego, ani dla promotora, ale dla Bochnackiego - egzaminatora.

Przez kilkanaście lat (od 1976 r.) prof. Bochnacki był członkiem Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej.

Szczególnie wiele sił i energii poświęcił prof. Bochnacki rozwojowi Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie. W latach 1966-67 był on przez półtora roku sekretarzem naukowym, od r. 1971 - zastępcą dyrektora, a od r. 1976 aż do śmierci - dyrektorem tego Instytutu. Były to lata trudne do prowadzenia takiej placówki. Oprócz codziennego trudu, wymagały od dyrektora częstych interwencji, wystą-



Prof. Z. Bochnacki (z prawej) w rozmowie z prof. Andrzejem Hryniewiczem, poprzednim dyrektorem Instytutu Fizyki Jądrowej (1983 r.)

pień, niemal walki na różnych zebraniach, naradach i posiedzeniach o możliwość w miarę normalnego funkcjonowania Instytutu, utrzymywania kontaktów międzynarodowych, rozwoju kadry.

Bochnacki rozumiał konieczność zachowania właściwej rangi badań podstawowych. Było to szczególnie ważne w sytuacji gdy w kręgach decydentów politycznych przestano odróżniać naukę od techniki, a od instytucji naukowych oczekiwano jedynie "wdrożeń". W okresie tym fizycy przestali nawet marzyć o zdobyciu znacznych środków na inwestycje naukowe, chodziło wręcz o utrzymanie badań

podstawowych w ich najtańszej wersji. Instytutom takim jak Instytut Fizyki Jądrowej groziło przekształcenie w fabryczki sprzętu typu grubościomierzy atomowych. Wpadając wieczorami do domu prof. Bochnackiego można było najczęściej zastać go w trakcie pisania kolejnego memoriału do władz jakiegoś tam szczebla. Aby te memoriały odniosły jakikolwiek skutek, zrywał się co kilka dni na poranny ekspres warszawski by nakłaniać, molestować, przekonywać... Wiemy, że tego nie lubił, ale robił to z poczucia odpowiedzialności i z niezwykłą wytrwałością, dzięki czemu - na miarę ówczesnych możliwości - skutecznie.

Bochnacki jak mało kto przywiązywał wagę do podtrzymywania i rozwijania współpracy naukowej z silnymi ośrodkami zagranicznymi. Widział w tej współpracy główny warunek przetrwania polskiej fizyki w warunkach chronicznego braku środków i nacisku w kierunku "zwrotu ku zastosowaniom". A przecież przez wiele lat wyjazdy zagraniczne były traktowane jako coś podejrzanego, dreń na mózgow, rzecz, którą należy ograniczać. W wielu ośrodkach naukowych wykorzystywano tę niesprzyjającą odgórną aurę do przetrzymywania pracowników na miejscu, hamowania ich karier naukowych. Wystarczyło godzić się ze sztywnymi przepisami, limitami, z odmową wydania paszportu, czy czymś podobnym. Bochnacki toczył natomiast nieustanne boje, to o zgodę na czyjś wyjazd, to o zmianę decyzji odmownej, to o przedłużenie pobytu.



Podczas uroczystości 25-lecia pracy cyklotronu U-120 Instytutu Fizyki Jądrowej, w pokoju sterowania tego cyklotronu. Od lewej: inż. Zbigniew Radwański, prof. Andrzej Hryniewicz, prof. Zbigniew Bochnacki (stoi), mgr Marian Małaja (1983 r.)

Wyniki tej szarpaniny są widoczne dopiero teraz, gdy po latach Instytut Fizyki Jądrowej może pochwalić się liczącą się w skali międzynarodowej działalnością w dziedzinie badań podstawowych, intensywną, partnerską współpracą z najsilniejszymi zagranicznymi ośrodkami naukowymi, wreszcie liczną kadrą młodych profesorów i doktorów habilitowanych, których nazwiska są dobrze znane w

świecie.

W ostatnich latach swej działalności, Bochnacki, razem z fizykami pracującymi w zakresie wysokich energii, wniósł duży wkład w rozwój współpracy środowiska krakowskiego z ośrodkiem badań DESY w Hamburgu oraz w doprowadzenie do przyjęcia Polski, jako pełnoprawnego członka, do CERN-u w Genewie.

Swoje wystąpienia w sprawach nauki przeniósł także na szersze forum, na łamy ogólnokrajowej prasy. Polemizował tam z wypowiedziami różnych decydentów, przekonywał, że nie można znaczenia nauki mierzyć wartością bezpośrednich jej "wdrożeń", że nauka nie może sama na siebie zarabiać, że potrzebne jej są stałe, stabilne kontakty z nauką światową. Występował przeciwko częstym, radykalnym i jednocześnie arbitralnym "rewolucjom" w administrowaniu nauką, realizującym pomysły aktualnych decydentów. Zwracał uwagę na złożoność i subtelność organizmu jakim jest współczesna nauka. Niech pewną ilustracją tego będą wyjątki z jednego z jego artykułów, opublikowanego w *Polityce* z dnia 15 czerwca 1985 r. pod znamienym tytułem "Płynę pod prąd". Pisał tam:

"Widmo 'za krótkiej koldry' znów krąży nad polską nauką. Po raz kolejny wywołał je ostatnio minister Konrad Tott, oświadczając w wywiadzie dla *Polityki*: 'Na finansowanie wszystkich słusznych celów pieniędzy, oczywiście, nie wystarczy'. Widmo więc krąży, tak jak 5, 10, i 15 lat temu, a także przy każdej okazji korygowania planów pięcioletnich. Krąży i sieje spustoszenie.

Sprawą lokalnego i globalnego patriotyzmu staje się przecignięcie koldry w swoją stronę. W interesie zespołu, ale także interesie kraju, bo proszę mi pokazać uczonego, który swoich badań nie uważa za ważne. Rzetelna ocena propozycji sąsiada — pretendenta do miejsca pod tą samą koldrą — staje się zjawiskiem rzadkim. Może być przez kolegów uznana za zdradę interesów środowiska. Własne propozycje formułuje się z poprawką na obcięcie ich w końcu o połowę. Tak się to wszystko zresztą dotychczas na ogół kończyło, i to zupełnie niezależnie od stopnia karkołomności metod wymyślanych dla zapewnienia priorytetu tematyce badawczej preferowanej przez 'centrum'. [...] **Widmo sieje także spustoszenie** w postawach urzędników średniego szczebla. W ich poglądach na interes państwa nauka traci pozycję poszukiwanego partnera. Przechodzi na pozycję trochę podejrzanego petenta, ustawiającego się w kolejce po państwowe pieniądze. Pół biedy, gdy przychodzi z czymś prostym, zrozumiałym bez specjalistycznej wiedzy, najlepiej zamówionym przez kogoś, kto produkuje na rynek. Tu wystarczy patrzeć na ręce, czy aby nie usiłuje się przy okazji przemycić czegoś ambitniejszego. Gdy natomiast chodzi o rzeczy ambitne i mniej powszechnie zrozumiałe, to uważane są one z reguły za zbędny, a w każdym razie niekonieczny luksus. [...] Przejawem takiej postawy jest np. [...] pogląd, że instytut powinien sam zarobić na ambitne 'zachcianki' realizacją zamówień przemysłu lub eksportem. Są już instytuty, które przekształciły swoje zakłady doświadczalne w małe fabryczki, o profilu nie zawsze zgodnym z profilem naukowym instytutu, ale za to intratne.[...]

Świadomość tego, że bez udziału nauki nie da się odrobić opóźnień nazwanych luką technologiczną, że bez niej grozi nam ciągle powiększanie się tej luki, jest już dość powszechna, przynajmniej 'na górze'.

Dużo wolniej, chociaż już ze skutkiem dla kierunkowych decyzji, uświadamiamy sobie, że obecny poziom finansowania nauki nie przekroczył progu umożliwiającego skuteczne osiągnięcie celów. Usiłujemy ominąć ten próg metodą koncentracji środków na wybranych celach - czy ustalania priorytetów. Usiłujemy od



Prof. Z. Bochnacki (pierwszy z lewej) i doc. Jerzy Schwabe (pierwszy z prawej) demonstrują zwiedzającym Instytut Fizyki Jądrowej komorę budowanego cyklotronu AIC-144 (1986 r.) (Fot. Jan Motyka)

lat, prawie bezskutecznie. [...]

Jedną z głównych przyczyn niepowodzenia takich prób jest **złożoność nauki, której notorycznie nie doceniamy.**

Nauka to system z ogromną liczbą wewnętrznych i zewnętrznych powiązań; to organizm, któremu nie można odciąć ręki i podlewać jej w nadziei, że rozrośnie

się, będzie mocna i pożyteczna. [...]

Na styku z przemysłem leżą obszary, w których stosunkowo łatwo i precyzyjnie można określić konkretny cel badań, ich metody i niezbędne środki, a także stosunkowo prosto ocenić wartość końcowego wyniku w gospodarce. Na przeciwległym krańcu leżą badania podstawowe, nazywane także poznawczymi. Prowadzi się je po to, żeby poznawać lub tworzyć rzeczy nowe, to znaczy takie, o których nikt jeszcze na świecie nie wie, jakie są i czy w ogóle istnieją. Nie da się więc tutaj określić konkretnego celu badań. Można co najwyżej stawiać hipotezy, które będziemy w badaniach weryfikować. **Dotychczasowa historia nauki dowodzi, że najcenniejsze bywały odkrycia zrobione przy okazji prób weryfikacji zupełnie z nimi nie związanych hipotez, czyli wyniki zupełnie niezaplanowane.**

Kierunek badań i stosowane metody, a także 'taktyczne' cele, wybiera się tu przede wszystkim na podstawie światowych tendencji rozwojowych danej dyscypliny. Dlatego badania krajowe są tu z reguły częścią międzynarodowych programów badawczych, co realizuje w skali świata zasadę koncentracji przeznaczonych na nie środków. **Tendencji rozwoju nie ustala się przy tym ani w drodze umowy, ani przez referendum.**

Dyktuje je ten, kto ostatni odniósł sukces. Na sukces składa się zwykle pomysł i aparatura. To pierwsze może mieć każdy, to drugie, w dobrym wydaniu, zwykle ci bogatsi. Ale nowy, oryginalny pomysł jest zjawiskiem rzadkim. Stąd ogromne zapotrzebowanie na współpracę międzynarodową w badaniach podstawowych, tym bardziej że ze względu na dużą odległość wyniku od konkretnych jego zastosowań, nie ograniczają je bariery tajemnicy przemysłowej. Nie sprzedaje się tutaj patentów i licencji - wynik jest publikowany i w zasadzie dostępny dla każdego. **Próby samotnego prowadzenia badań, bez współpracy międzynarodowej, są z góry skazane na niepowodzenie, a jedyny poziom badań, jaki może tu być dobry, to poziom światowy.**

Trudność oceny wartości wyniku (decyduje o niej przydatność w dalszych badaniach podstawowych i stosowanych), a więc także poziomu zespołów i ludzi, jest kolejną cechą specyfiki tej dziedziny badań. [...]

Wszystkie sposoby samooceny środowiska naukowego, stanowiące w badaniach podstawowych punkt wyjścia dla ocen zewnętrznych, zaczynają działać skutecznie dopiero poczawszy od pewnego poziomu prac, umożliwiającego zespołowi kontakt z resztą nauki w danej dziedzinie. Poniżej niego można całymi latami produkować naukowe buble i publikować je w lokalnych czasopismach, których nikt nie czyta, nie zdając sobie nawet sprawy, że cała ta działalność nie jest wiele warta. **Barierę takiego niezbędnego poziomu bardzo trudno jest pokonać, to ją właśnie nazywa się poziomem 'światowym'. Przekracza się ją przypadkiem lub w wyniku wielu lat ciężkiej pracy, często pracy więcej niż jednego pokolenia - mówi się wtedy, że ktoś stworzył 'szkolę'. Dlatego wszędzie na świecie dobre zespoły są w cenie, a podstawową metodą koncentracji środków w badaniach podstawowych jest koncentracja na pracach dobrych zespołów.**



Podczas uroczystości 20-lecia śmierci prof. Henryka Niewodniczańskiego, założyciela Instytutu Fizyki Jądrowej. Od lewej: Irena Niewodniczańska (żona prof. Niewodniczańskiego), Tomasz Niewodniczański (syn prof. Niewodniczańskiego) i Zbigniew Bochnacki (1988 r.)

Zmian profilu pod kątem perspektywicznych potrzeb gospodarki dokonuje się bardzo ostrożnie i powoli, z reguły drogą rozszerzania tematyki badawczej dobrych zespołów. Obawiam się, że zbyt chyba łatwe deklarowanie u nas koncentracji na wybranych kierunkach również w badaniach podstawowych, stwarzające wrażenie perspektywy szybkich efektów, jest deklarowaniem rzeczy niemożliwych, a przynajmniej takich, które dwie wysokie pertraktujące strony — nauka i gospodarka — rozumieją zupełnie inaczej.

Pomiędzy skrajnymi obszarami nauki — rejonem styku z gospodarką i rejonami badań podstawowych — istnieje cały łańcuch ogniów pośrednich. Każde z nich wymaga innej specjalizacji, a przejście od jednego do drugiego — trudnego i ryzykownego przekwalifikowania. Dość częste przekonanie, że np. badania podstawowe mogłyby, gdyby chciały, pracować bezpośrednio dla gospodarki jest błędne. Nikt rozsądny nie wymaga przecież od górnika, żeby wydobytą rudę sam przetopił w hucie, a potem zaprojektował i zrobił samochód. Nie byłoby też mądrze wymagać od kury, żeby zniosła jajko dziobem.

Są procesy, w których głowa, tułów i kuper muszą spełnić każdy swoją funkcję. Sam kuper też nie wystarczy, choć to właśnie on pracuje 'na styku' z konsumentem. Można odciąć dumny grzebień, podciąć skrzydła, karmić pod kątem produkcji jaj lub mięsa, można pewnie nawet przez jakiś czas omijać głowę i karmić kropłówką, ale takie są z grubsza granice manewru, również w nauce. Odnosi się to, oczywiście, do zasadniczego rezultatu badań podstawowych, a nie do powstających w ich trakcie metod pomiarowych, urządzeń i materiałów, które zawsze znajdują zastosowanie i które można i trzeba wykorzystywać natychmiast.

Wizja 'za krótkiej koldry' nie może więc odegrać z przyczyn obiektywnych przynajmniej jednej ze swoich zamierzonych ról: roli straszidła, które nagoni zbyt ambitnych na nasze czasy naukowców do wzięcia się za rzeczy bardziej powszechnie uznane za pozytywne. Czy pozostaje jej rola obrazu możliwości finansowych kraju? Na naukę trzeba naprawdę wydawać więcej niż to robimy dotychczas. [...]"

Te dość długie wyjątki charakteryzują problemy i atmosferę tamtych (czy tylko tamtych ?), nicodległych przecież lat, ale także poglądy, zaangażowanie, zacięcie polemiczne Bochnackiego. Świadczą o dużej zdolności popularyzacji problemów nauki, umiejętności znalezienia trafnych, lapidarnych, nie pozbawionych humoru sformułowań. Pokazują jak Bochnacki przeciwstawiał się niebezpiecznym dla nauki polskiej tendencjom i niezrozumieniu potrzeb nauki. A niewiele osób mogło, potrafiło lub chciało przeciw tym tendencjom występować, czy wreszcie wierzyło w skuteczność tych wystąpień. Nie takich bowiem rzeczy chciano "u góry" słuchać. Bochnacki rzeczywiście więc "płynął pod prąd".

A swoją drogą, po zacytowaniu tych wystąpień, warto może postawić sobie pytanie: czy po tylu i tak gruntownych zmianach, jakie zaszły od tamtych lat w naszym kraju, wypowiedzi te wiele straciły na swej aktualności?

Na koniec, po przypomnieniu powyższych faktów z życia i działalności prof. Bochnackiego, pozwólmy sobie na pewną ogólniejszą refleksję, jaka narzuca się ludziom, którzy go bliżej znali. Otóż mogą oni odczuwać pewien niedosyt, mogą mieć przekonanie, że człowiek o tak błyskotliwym umyśle i takich uzdolnieniach mógł zrealizować więcej swych pomysłów, opublikować więcej prac (prof. Bochnacki opublikował ogółem ponad trzydzieści prac naukowych). Tym bardziej, że prace jego powstawały błyskawicznie, jakby od niechcienia, "po mozartowsku". Można więc z uczuciem żalu zapytać dlaczego nie powstało ich więcej. I tu chyba są dwie przyczyny. Jedna, to bardzo duży krytycyzm w stosunku do własnych osiągnięć. Nielatwo publikował swoje wyniki i doprowadzenie do ogłoszenia ich drukiem wymagało zwykle sporej presji współpracowników. Drugi powód, to fakt, że do maksymalizacji indywidualnych osiągnięć, intensywnego tworzenia i promocji swoich prac potrzebna jest chyba spora doza egocentryzmu, może nawet egoizmu. Tych cech charakteru Bochnacki "niestety" nie posiadał w najmniejszym nawet stopniu. To co robił dla innych, a więc pełne zaangażowanie w losy badań naukowych w Polsce i szczególnie w sprawy Instytutu, jego pasja kształcenia i szybkiej promocji naukowców z prawdziwego zdarzenia, niespotykana życzliwość i chęć niesienia pomocy w każdym indywidualnym przypadku - wszystko to odbywało się niewątpliwie kosztem jego osobistego dorobku. Dzięki temu jednak zaangażowaniu, mimo nienormalnych warunków zewnętrznych, kwitło w Instytucie, jak w cieplarni, prawie normalne życie naukowe.

I tutaj dochodzimy do istoty naszej refleksji. Otóż to wszystko o czym wspomnieliśmy, zawdzięcza Instytut Fizyki Jądrowej, a w pewnym stopniu i inne ośrodki naukowe w kraju, nie tyle sprawnemu i oddanemu swej działalności administratorowi nauki, co błyskotliwemu fizykowi-teoretykowi, który świadomie do-

konywał wyboru i systematycznie poświęcał swe siły i energię tworzeniu pewnej "oazy normalności". A sił tych nie oszczędzał i pewnie w jakimś stopniu wskutek tego przyszło mu zapłacić wysoką cenę przedwczesnego odejścia.

Chyba nieczęsto można mieć tak dobrze uzasadnione przekonanie, jak w przypadku prof. Bochnackiego, że jego dorobek będzie trwał nie tylko w jego własnych publikacjach, lecz również w dziesiątkach i setkach dawniejszych, obecnych i przyszłych prac, które powstawały i nadal będą powstawać dzięki jego niestrudzonej działalności na rzecz innych. Ta właśnie część jego dorobku, chyba większa i ważniejsza od dużego przecież dorobku wyrażonego bezpośrednio w jego publikacjach, ale równocześnie i trudniejsza do zmierzenia, będzie jednak w pełni dostrzegana tylko przez tych, którzy mieli szczęście znać go osobiście i śledzić drogę jego życia.

*

Pragniemy serdecznie podziękować Pani Teresie Mikułowskiej za nieocenioną pomoc w zebraniu materiałów o prof. Bochnackim oraz Profesorom: Andrzejowi Budzanowskiemu, Andrzejowi Hryniewiczowi, Edwardowi Kapuścikowi i Janowi Kwiecińskiemu za cenne uwagi.

Niektóre publikacje prof. Bochnackiego

- [1] Z. Bochnacki, "Osobiennost' zapreszczennych beta pierichodov v dieformirovannykh jadrach", *Izv. Akad. Nauk SSSR, ser. fiz.* **22**, 158 (1958).
- [2] Z. Bochnacki, S. Ogaza, "Spin polarization effect on the fast allowed beta transitions between deformed odd-mass nuclei", *Nucl. Phys.* **A102**, 529 (1967).
- [3] Z. Bochnacki, "Zjawiska polaryzacyjne w strukturze jąder atomowych", Raport IFJ No 536/PL (Kraków 1967).
- [4] Z. Bochnacki, "On the dependence of QQ-force strength on deformation", *Phys. Lett.* **31B**, 175 (1970).
- [5] Z. Bochnacki, E.B. Balbutsev, M. Płoszajczak, "Simplified HFB pairing calculation and the VCP method", *Acta Phys. Pol.* **B7**, 649 (1976).
- [6] R. Nojarov, Z. Bochnacki, A. Faessler, "Microscopic calculation of the restoring force for scissor isovector vibrations", *Z. Phys.* **A324**, 289 (1986).

ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH

Henryk Wrembel, Zbigniew Meger

*Katedra Fizyki
Wyższa Szkoła Pedagogiczna
Słupsk*

Promieniowanie ciała doskonale czarnego

Black body radiation

Abstract: The evaluation of Planck's black body radiation law according to Einstein is given. A computer program in Turbo Pascal showing the respective relations has been evaluated.

1. Wstęp

Promieniowanie ciała doskonale czarnego jest klasycznym składnikiem wykładu podstaw fizyki atomowej. Dydaktyczny walor tego problemu polega na możliwości wykazania w dostępnym sposób istnienia w układach atomowych skwantowanych stanów energii. Wagę tego zagadnienia podnosi dodatkowo fakt, że stanowiło ono punkt wyjścia starszej teorii kwantów, jak zresztą całej współczesnej fizyki. Badania promieniowania ciała doskonale czarnego odegrały też istotną rolę przy kształtowaniu się poglądów dotyczących struktury materii, a w szczególności poglądów dotyczących natury światła.

Dość powszechnie utarło się przekonanie, że na początku bieżącego stulecia znane były dwa "prawa promieniowania" ciała doskonale czarnego, umożliwiające ocenę ilościową tego zjawiska. Jedno z nich to tzw. prawo promieniowania Wiena, sformułowane w 1893 r. przez W. Wiena (1864 - 1928) laureat nagrody Nobla w 1911 r.), a podane w postaci "wzoru Wiena" w 1896 r.. Drugie to "prawo promieniowania Rayleigha-Jeansa". Jego wstępną wersję podał lord Rayleigh (J.W. Strutt, 1842-1919; laureat nagrody Nobla w 1904 r.) już w 1900 r. Udoskonalony przez sir J.H. Jeansa (1877-1946) wariant tego "prawa" opublikowany został

wspólnie przez obu tych uczonych w 1905 r.¹ Obydwa te "prawa" dają się bez trudności uzasadnić na gruncie klasycznej termodynamiki [1-3]. Jak łatwo jednak wykazać każde z nich ma jedynie przybliżony charakter i w miarę dobrze opisuje zjawisko tylko w ograniczonym zakresie fal promieniowania elektromagnetycznego.

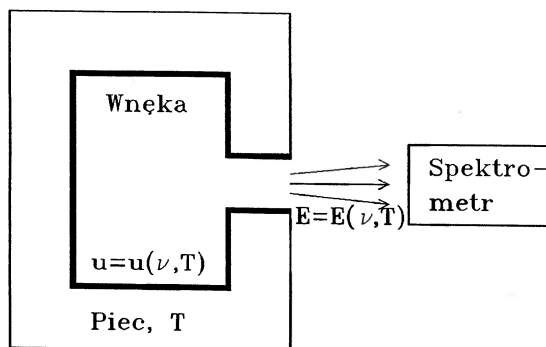
W niniejszym artykule proponujemy pewne dydaktyczne ujęcie tego problemu z zastosowaniem mikrokomputera, co umożliwi wykonanie pełniejszej analizy przebiegu krzywych ilustrujących te prawa [4, 5]. To ujęcie umożliwia realizację tego tematu na niższych latach studiów, a także w klasach licealnych o poszerzonym programie fizyki. Wersja źródłowa stosownego programu komputerowego w języku Turbo Pascal ew. Simons- Basic na C64) dostępna jest po przesłaniu autorom sformatowanej dyskietki.

2. Ciało doskonale czarne

Ciało nazywamy doskonale czarnym jeśli pochłania całą energię padającą na nie fali elektromagnetycznej niezależnie od jego temperatury i bez względu na częstotliwość drgań elektromagnetycznych. Wynika z tego, że dla fali elektromagnetycznej o dowolnej długości współczynnik absorpcji ciała doskonale czarnego jest równy jedności. Odwrotnie, ciało doskonale czarne podgrzane do temperatury wyższej niż temperatura otoczenia jest źródłem promieniowania elektromagnetycznego w szerokim zakresie długości fal.

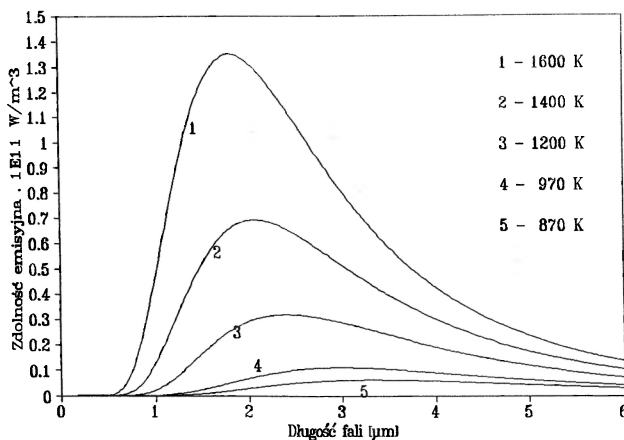
Własności ciała doskonale czarnego odtwarza najlepiej mały otwór łączący dużą wnękę z otoczeniem (rys. 1). Fotony wiązki światła przechodzące przez otwór do wnęki ulegają wielokrotnemu odbiciu od jej ścianek, a także absorpcji zarówno w atomach gazu wypełniającego wnękę, jak i w atomach wchodzących w skład jej ścianek. Dzięki temu otwór wejściowy ma podobne własności absorpcyjne jak ciało doskonale czarne. Z drugiej strony ścianki wnęki emitują również promieniowanie. Ostatecznie więc między ściankami wnęki, a wypełniającym ją polem promieniowania ustala się równowaga termodynamiczna. Zgodnie z założeniem powierzchnia otworu stanowi tylko niewielką część powierzchni wnęki. Toteż tylko znikoma część promieniowania wydostaje się na zewnątrz wnęki. Zrozumiałe jest więc, że natężenie światła wydostającego się z wnęki (przez ów otwór) jest wielokrotnie mniejsze od natężenia wiązki padającej na otwór wejściowy. Przykładem tego są okna, które na tle budynku wydają się czarne, nawet wtedy gdy natężenie światła w samym pomieszczeniu jest niewiele tylko niższe od natężenia panującego na zewnątrz. Podobnie mały otwór przez który wydostaje się promieniowanie z wnęki nagrzanej do temperatury wyższej od temperatury otoczenia (np. z

¹Warto tu zauważyć, że ostateczna postać prawa promieniowania Rayleigha-Jeansa opublikowana została bez mała pięć lat później niż prawo promieniowania Plancka. Toteż w istocie rzeczy prawo Plancka nie było próbą, jak to się często sugeruje, "połączenia" prawa promieniowania Wiena i prawa promieniowania Rayleigha-Jeansa. Miało ono raczej stanowić udoskonalenie prawa Wiena, dobrze znanego Planckowi.



Rys. 1. Schemat urządzenia do badania rozkładu widmowego promieniowania ciała doskonale czarnego. Otwór wężki izotermicznej ustawiony jest naprzeciwko okienka wejściowego spektrometru, za pomocą którego określa się rozkład widmowy promieniowania

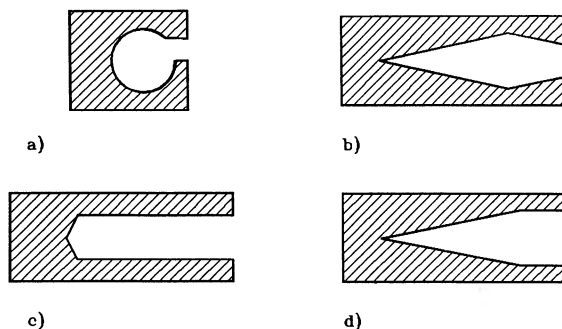
rozżarzonego pieca) stanowi dobre przybliżenie emisji promieniowania przez nagrzane ciało doskonale czarne. Zdolność emisyjna tego źródła określona jest przez



Rys. 2. Wyznaczone doświadczalnie, dla różnych temperatur, rozkłady widmowe promieniowania ciała doskonale czarnego

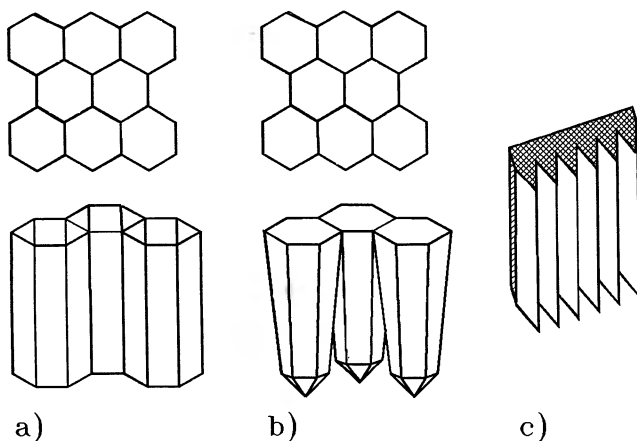
częstość ν emitowanej przez nie fali elektromagnetycznej oraz temperaturę T samego ciała, tj. $\varepsilon = \varepsilon(\nu, T)$ (rys. 2), przy tym zgodnie z prawem podanym przez G. Kirchhoffa (1824 - 87) nie zależy ona od materiału z jakiego sporządzono wężkę [1-3, 6].

Realne ciała materialne nie mają własności ciała doskonale czarnego. Niemniej, dla określonego przedziału częstości fal elektromagnetycznych, niektóre ciała mają własności zbliżone do własności ciała doskonale czarnego. Dla promieniowania widzialnego takie zbliżone właściwości mają np. sadze, czerń platynowa, czarny aksamit, powierzchnia utworzona z ostrzy bloku ściśniętych żyłek itd. Produkowane obecnie przemysłowo "ciała czarne" posiadają powierzchnie od 1 mm^2 do $2,3 \text{ m}^2$ i temperaturę pracy od 10 do 3300 K [7]. Stosuje się przy tym



Rys. 3. Konfiguracje wnęk stanowiących praktyczną realizację ciała czarnego

różne rodzaje wnęk pochłaniających światło (rys. 3). Są one stosowane zarówno w konstrukcjach ciał czarnych z jedną wnęką, jak również w konfiguracjach powierzchniowych. W tym ostatnim przypadku istnieje tendencja do stosowania maksymalnie prostych wnęk (rys. 4).

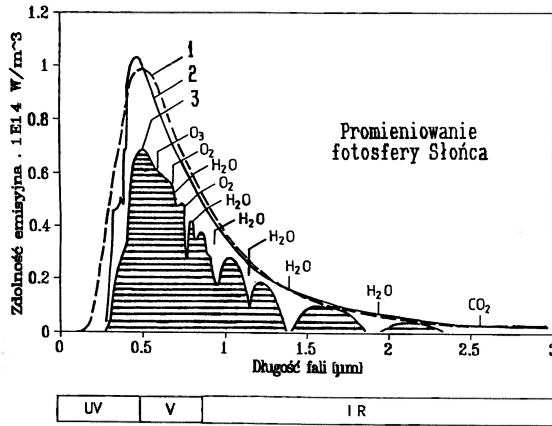


Rys. 4. Konfiguracje powierzchniowe przemysłowo produkowanych ciał czarnych

Prawo promieniowania ciała doskonale czarnego znajduje liczne praktyczne zastosowania. Poza wykorzystaniem w produkcji wzorców świetlnych, stosuje się je przy wyznaczaniu (za pomocą pirometrów) temperatury rozżarzonych ciał. W szczególności określa się za jego pomocą temperaturę powierzchni gwiazd, które z pewnym przybliżeniem można traktować jako ciała doskonale czarne (rys. 5).

3. Prawa promieniowania ciała czarnego

Przy ustalonej temperaturze, gęstość energii pola promieniowania - w ma-



Rys. 5. Przebieg krzywej rozkładu widmowego $\epsilon = \epsilon(\lambda, 6000 \text{ K})$ według prawa Plancka (1) oraz widmo promieniowania fotosfery słonecznej poza zasięgiem atmosfery ziemskiej (2) i na poziomie morza (3). Deformacja krzywej spowodowana jest w przede wszystkim absorpcją światła w drobinach tlenu i wody

łym zakresie częstości drgań pola elektromagnetycznego (od ν do $d\nu$) - określa zależność

$$u(\nu, T) = \frac{\Sigma h\nu}{V},$$

gdzie ν - częstość fotonu, $h = 6,6260755(40) \cdot 10^{-34}$ stała Plancka² ($h\nu$ - energia fotonu), zaś V objętość pola promieniowania, np. wnętrza stanowiącej model ciała doskonale czarnego. Podaną przez Wiena zależność aproksymującą rozkład widmowy gęstości energii promieniowania ciała doskonale czarnego (czyli wspomniane wyżej "prawo promieniowania Wiena"), wyraża się we współczesnej notacji w postaci

$$u_W(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right), \tag{1}$$

przy czym $k = 1,380658(12) \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ jest stałą Boltzmann, a $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ prędkością światła w próżni.

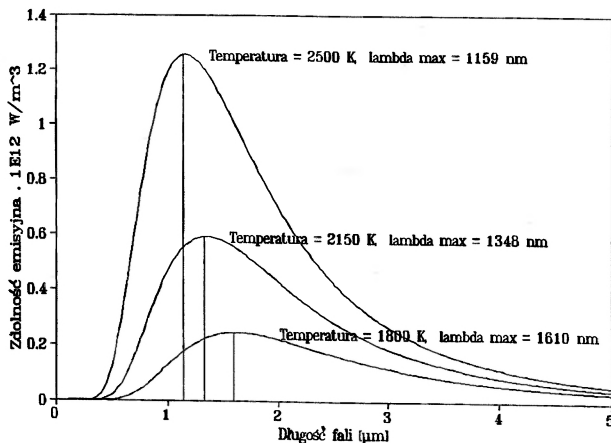
Prawo promieniowania Wiena było na początku bieżącego stulecia powszechnie akceptowane. Przez pewien czas również i Planck sądził, że jest ono poprawne [6]. Stanowi ono dobre przybliżenie danych doświadczalnych jedynie gdy $h\nu/kT \gg 1$, tj. dla małych długości λ fal elektromagnetycznych. W pozostałych przypadkach wartości obliczone za pomocą tej zależności różnią się znacznie od wyników pomiarów. Doświadczalnie wykazali to O. Lummer i E. Pringsheim [9].

²Wartości stałych fizycznych podano zgodnie z [8].

Łatwo zauważyć,³ że przy określonej temperaturze $T = \text{const.}$, długość fali λ_m odpowiadająca maksymalnej zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego (zdolność emisyjna: $\varepsilon(\nu, T) = (c/4)(\nu, T)$) spełnia związek

$$\lambda_m T = b = \text{const.},$$

znany jako tzw. “prawo przesunięć Wiena” (podane przez tego uczonego w 1893 r.). Wyznaczona doświadczalnie wartość stałej b wynosi: $2.897756(24) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.



Rys. 6. Rozkłady widmowe Plancka odpowiadające najczęściej stosowanym temperaturom włókna wolframowego w lampach oświetleniowych

Prawo przesunięć Wiena orzeka więc, że długość fali λ_m odpowiadająca maksimum zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego jest odwrotnie proporcjonalna do temperatury bezwzględnej ciała. Obniżając zatem temperaturę ciała (nagrzanego pierwotnie do wysokiej temperatury) powoduje się przemieszczanie λ_m w kierunku fal dłuższych (rys. 6). W zakresie promieniowania widzialnego objawia się to w postaci zmiany barwy świecącego ciała - od fioletowoniebieskiej

³Wynika to z warunku: $\frac{\delta \varepsilon(\lambda, T)}{\delta \lambda} = 0$ dla ekstremum krzywej rozkładu $\varepsilon = \varepsilon(\lambda, T)$. Uwzględniając (4) oraz $\varepsilon(\lambda, T) = \frac{c u}{4} \cdot u(\lambda, T)$ i podstawiając $x = hc/kT\lambda$ otrzymujemy

$$\frac{\delta \varepsilon(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^6} \cdot \frac{1}{\exp(x) - 1} \cdot \left(\frac{x \cdot \exp(x)}{\exp(x) - 1} - 5 \right),$$

a stąd

$$\frac{x \cdot \exp(x)}{\exp(x) - 1} = 5.$$

Pierwiastkiem tego równania jest $x = 4.96511$, a zatem

$$\lambda_m T = b = \frac{1}{4.965} \frac{hc}{k} = 2.897 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

(dla wyższych temperatur), poprzez niebieskozieloną i żółtą, do ciemnoczerwonej (przy niższych temperaturach).

Prawo promieniowania Rayleigha-Jeansa dla rozkładu gęstości energii pola promieniowania zapisuje się we współczesnej notacji) w postaci

$$u_R(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3 kT}{c^3 h\nu}. \quad (2)$$

Jak łatwo zauważyć (a doświadczalnie potwierdził to również eksperyment Lummera i Pringsheima) ta z kolei zależność dobrze przybliży wartości pomiarowe gdy $h\nu/kT \ll 1$. Dla fal elektromagnetycznych nie spełniających tego warunku, "prawo" to prowadzi do dużych niezgodności z danymi doświadczalnymi. Dzieje się tak ponieważ ze wzrostem częstości $u_R(\nu, T)$ dąży do nieskończoności, co jest sprzeczne z prawem zachowania energii. Fakt ten odnotowano w literaturze jako tzw. "katastrofę w nadfiolecie". Prawo promieniowania Rayleigha-Jeansa dobrze obrazuje rzeczywistość dla długości fal spełniających warunek $\lambda \gg \lambda_m$, co łatwo można uzyskać w podczerwieni, a zwłaszcza w zakresie fal radiowych. Toteż prawo to z powodzeniem wykorzystuje się w obliczeniach radioastronomicznych.

Prawa Wiena i Rayleigha-Jeansa, możliwe do wyprowadzenia na gruncie klasycznej termodynamiki, mają więc jedynie przybliżony charakter. Pierwsze można stosować gdy $\lambda \ll \lambda_m$, drugie, gdy $\lambda \gg \lambda_m$. Natomiast żadne z nich nie zapewnia "dobrego" przybliżenia w obszarze pośrednim. Jednakże już w 1900 r. Max Planck (1858 - 1947; laureat nagrody Nobla w 1918 r.) podał tzw. "prawo promieniowania Plancka", dobrze opisujące dane pomiarowe w całym zakresie fal elektromagnetycznych ⁴ (rys. 7). Łatwo przy tym zauważyć, że prawa Wiena i Rayleigha-Jeansa są szczególnymi przypadkami tego prawa.

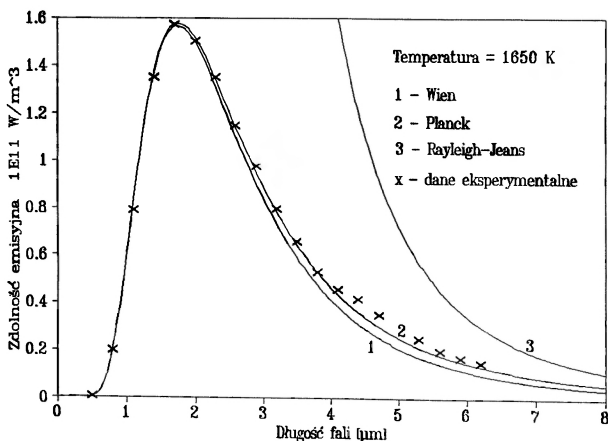
Prawo Plancka (dla gęstości energii promieniowania ciała doskonale czarnego) przedstawia się w postaci

$$u_P(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}, \quad (3)$$

lub, w zależności od długości fali λ w postaci

$$u_P(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}. \quad (4)$$

⁴Promieniowaniem ciała doskonale czarnego zajmował się Max Planck intensywnie w latach 1896 - 1900. Z tego okresu pochodzi pięć jego rozpraw, w których próbował wyjaśnić to zjawisko opierając się na drugiej zasadzie termodynamiki. Na ostateczne skryształizowanie się jego poglądów bezpośredni wpływ miały wyniki doświadczeń Kurlbauma i Rubensa przedstawione na posiedzeniu Berlińskiego Towarzystwa Fizycznego 19 października 1900 r. Niespełna dwa miesiące później na posiedzeniu tegoż towarzystwa w dniu 14 grudnia 1900 r. Max Planck pokazał możliwość uzasadnienia jego formuły pod warunkiem przyjęcia istnienia skwantowanych stanów energetycznych "drgających ładunków". W ten to sposób rozpoczął erę "fizyki kwantowej" [7].



Rys. 7. Porównanie krzywych rozkładów widmowych ciała doskonale czarnego według Wiena, Plancka i Rayleigha-Jeansa z wynikami doświadczalnymi (przykład działania programu)

Wzór Plancka nie daje się wyprowadzić na gruncie fizyki klasycznej. Planck wyprowadził go przyjmując, że ładunek elektryczny, oscylator drgań elektromagnetycznych, może znajdować się tylko w pewnych, dyskretnych stanach energetycznych - co było niezgodne z panującymi powszechnie poglądami. W konsekwencji przejściu oscylatora z wyższego stanu energetycznego E_j do niższego E_i towarzyszy emisja dyskretnej, ściśle określonej co do wielkości "porcji", "kwantu", energii $\Delta E = h\nu_{ij}$. Założenie to umożliwiło Planckowi "teoretyczne" uzasadnienie swej formuły. Przyjęcie przez niego rewolucyjnej wówczas hipotezy o istnieniu w przyrodzie dyskretnych, skwantowanych stanów energii było jednym z donioślejszych momentów zwrotnych w historii nauki.

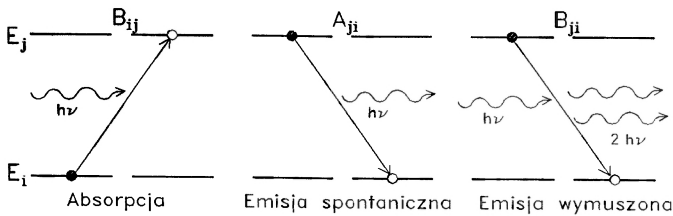
4. Wywód wzoru Plancka

Prawo Plancka otrzymuje się na wiele sposobów [1–2, 10]. W elegancki sposób uzasadnił je Albert Einstein 1979 - 1955 laureat nagrody Nobla w 1921 r.⁵). Jego wywód tego prawa jest interesującym przykładem powiązania teorii kwantów (*de facto* starszej teorii kwantów), optyki, termodynamiki i metod statystycznych [2, 3, 9, 11].

Prawo Plancka uzasadnia się wg koncepcji Einsteina przy założeniu, że w rezultacie oddziaływania atomu z fotonem rezonansowym tj. spełniającym warunek $E_{\text{fot}} = h\nu_{ij} = E_j - E_i$ może *a priori* nastąpić jedno z trzech wydarzeń (rys. 8):

- i) absorpcja fotonu przez atom znajdujący się w stanie E_i i w jej konsekwencji

⁵Nagrodę Nobla przyznano Einsteinowi za interpretację zjawiska fotoelektrycznego, a nie - jak mogłoby wynikać z tego kontekstu - za uzasadnienie formuły Plancka.



Rys. 8. Schematy przejść promienistych w atomie w wyniku absorpcji, emisji spontanicznej i emisji wymuszonej

wzbudzenie atomu do stanu E_j , tj. *przejście wymuszone* $E_i \rightarrow E_j$;

- ii) emisja wymuszona fotonu przez atom znajdujący się w stanie wzbudzonym E_j , czyli *przejście wymuszone* $E_j \rightarrow E_i$;
- iii) emisja spontaniczna fotonu przez atom znajdujący się w stanie wzbudzonym E_j , czyli *przejście spontaniczne* ($E_j \rightarrow E_i$), a w jej konsekwencji deekscytacja atomu.

Niech $f_{ij}(w)$, $f_{ji}(w)$ oznaczają odpowiednio częstość występowania obu rodzajów przejść wymuszonych, natomiast $f_{ji}(s)$ częstość występowania przejść spontanicznych. Z warunku o znajdowaniu się układu w równowadze termodynamicznej wynika zależność

$$f_{ij}(s) + f_{ji}(w) = f_{ij}(w) \tag{5}$$

Zauważmy, że depopulacja poziomu E_j wskutek emisji spontanicznej spełnia równanie kinetyki pierwszego rodzaju

$$- dN = N A_{ji} dt. \tag{6}$$

Rozwiązując (6) otrzymuje się

$$N_j = N_{j0} e^{-A_{ji} t},$$

gdzie N_j oznacza liczbę atomów znajdujących się w stanie E_j w chwili t , N_{j0} początkową liczbę atomów w stanie E_j , natomiast A_{ji} jest współczynnikiem Einsteina dla przejść spontanicznych, tj. prawdopodobieństwo wystąpienia emisji spontanicznej w jednostce czasu. Odwrotność tego współczynnika, tj. $\tau_{ji} = 1/A_{ji}$ jest tzw. "średnim czasem życia" atomu w stanie wzbudzonym E_j (jeśli uwzględnić wyłącznie przejścia spontaniczne). Po upływie tego czasu (tj. dla $t = \tau_{ji}$) w stanie E_j pozostaje jedynie $N_j(\tau_{ji}) = N_{j0}/e$ atomów.

Z definicji otrzymuje się zależności

$$f_{ij}(s) = N_j A_{ij}, \tag{7}$$

$$f_{ji}(w) = N_j B_{ij} u(\nu_{ij}, T), \quad (8)$$

$$f_{ij}(w) = N_j B_{ij} u(\nu_{ij}, T), \quad (9)$$

przy czym B_{ij} oraz B_{ji} oznaczają odpowiednio współczynniki Einsteina dla absorpcji i emisji wymuszonej. Ich miarą jest prawdopodobieństwo pojawienia się odpowiedniego procesu (absorpcji, lub emisji wymuszonej) na jednostkę czasu i jednostkę gęstości energii pola promieniowania. Uwzględniając (5) oraz (7) - (9) otrzymuje się

$$N_j A_{ji} + N_j B_{ji} u(\nu_{ij}, T) = N_i B_{ji} u(\nu_{ij}, T). \quad (10)$$

Biorąc pod uwagę, że układ fizyczny ścianki wnęki - pole promieniowania wypełniające tę wnękę znajduje się w równowadze termodynamicznej, obsadzenie poziomów energetycznych E_i , E_j spełnia rozkład Boltzmanna, a więc

$$N_j = N \exp(-E_j/kT), \quad (11)$$

oraz

$$N_i = N \exp(-E_i/kT), \quad (12)$$

gdzie N jest stałą. Podstawiając do (10) odpowiednio (11) i (12) otrzymuje się

$$[A_{ji} + B_{ji} u(\nu_{ij}, T)] \exp(-E_j/kT) = B_{ji} u(\nu_{ij}, T) \exp(-E_i/kT),$$

a stąd

$$u(\nu_{ij}, T) = \frac{A_{ji}}{B_{ji} \exp(-h\nu_{ij}/kT) - B_{ji}}.$$

Z zależności tej wynika bezpośrednio związek między współczynnikami Einsteina B_{ij} oraz B_{ji} . Nieograniczonemu bowiem wzrostowi temperatury T (tj. gdy $T \rightarrow \infty$) towarzyszy nieograniczony wzrost gęstości energii promieniowania $u(\nu_{ij}, T)$, z czego wynika $B_{ij} = B_{ji}$. Uwzględniając tę zależność otrzymuje się

$$u(\nu_{ij}, T) = \frac{A_{ji}}{B_{ji}} \frac{1}{\exp(h\nu_{ij}/kT) - 1}. \quad (13)$$

W przypadku gdy spełniona jest zależność $h\nu/kT \ll 1$ składnik wykładniczy mianownika wyrażenia (13) można rozwinąć w szereg

$$\exp(h\nu/kT) = \sum \frac{1}{n!} \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^n,$$

a więc

$$\exp(h\nu/kT) = 1 + \frac{h\nu}{kT} + \frac{1}{2!} \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^3 + \dots,$$

W rozwinięciu tym istotne są dwa pierwsze składniki (z uwagi na to, że dalsze są pomijalnie małe); podstawiając je w miejsce składnika wykładniczego do (13) otrzymuje się

$$u(\nu_{ij}, T) = \frac{A_{ji} kT}{B_{ji} h\nu_{ij}}. \quad (14)$$

W przypadku gdy $h\nu/kT \ll 1$ rozkład widmowy gęstości energii $u(\nu, T)$ dobrze opisuje prawo promieniowania Rayleigha-Jeansa. Porównując więc (2) i (14) otrzymuje się

$$\frac{A_{ji}}{B_{ji}} = \frac{8\pi h\nu_{ij}^3}{c^3} \quad (15)$$

Podstawiając z kolei (15) do (13) otrzymuje się

$$u(\nu_{ij}, T) = \frac{8\pi h\nu_{ij}^3}{c^3} \frac{1}{\exp(h\nu_{ij}/kT) - 1}, \quad (16)$$

czyli wzór Plancka w postaci (3).

Zależność (15) wiąże współczynnik A_{ij} z pozostałymi, bowiem

$$A_{ji} = \frac{8\pi h\nu_{ij}^3}{c^3} B_{ji}.$$

Ze wzoru (16) łatwo otrzymuje się prawo promieniowania Wiena. Dla $h\nu/kT \gg 1$ mamy bowiem $\exp(h\nu/kT) \gg 1$, zatem $\exp(h\nu/kT) - 1 \approx \exp(h\nu/kT)$. Zaniedbując więc jedynkę w mianowniku (16) otrzymuje się bezpośrednio (1).

Uwzględniając z kolei zależność

$$u(\nu, T)d\nu = u(\lambda, T)d\lambda$$

otrzymuje się

$$u(\lambda, T) = u(\nu, T) \frac{d\nu}{d\lambda},$$

a biorąc ponadto pod uwagę związek $\lambda\nu = c$, otrzymuje się⁶

$$u(\lambda, T) = u(\nu, T) \frac{d(c/\lambda)}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2} u(\nu, T). \quad (17)$$

Znak "minus" można w tym przypadku pominąć z uwagi na to, że wyraża on jedynie fakt iż zmiana długości fali $d\lambda$ przebiega w kierunku przeciwnym do zmiany częstości $d\nu$. Podstawiając w (17) na miejsce $u(\nu, T)$ wyrażenie (3) otrzymuje się wzór Plancka w postaci (4). W podobny sposób można wyrazić w zależności od długości fali λ prawa promieniowania Wiena i Rayleigha-Jeansa.

⁶Warto zauważyć, że konsekwencją takiego związku jest $\lambda_m \neq c/\nu_m$.

Prawo Plancka dla zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego przedstawia się w postaci

$$\epsilon(\nu, T) = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

Całkowaną zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego przy określonej temperaturze ($T = \text{const.}$) otrzymuje się całkując funkcję $\epsilon(\nu, T)_{T=\text{const.}} = \epsilon_T(\nu)$ w przedziale $(0, \infty)$:

$$\epsilon_T(\nu) = \int_0^\infty \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1} d\nu.$$

Podstawiając $x = \frac{h\nu}{kT}$ (skąd $d\nu = \frac{kT}{h} dx$) otrzymuje się

$$\epsilon_T(\nu) = \frac{2\pi k^4}{c^2 h^3} T^4 \cdot \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{2\pi k^4}{c^2 h^3} T^4 \cdot \frac{\pi^4}{15},$$

ponieważ wartość całki eliptycznej wchodzącej w skład tego wyrażenia wynosi $\pi^4/15$. Całkowaną zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego wyraża się więc za pomocą zależności

$$\epsilon_T(\nu) = \frac{2\pi^5}{15} \frac{k^4}{c^2 h^3} T^4. \quad (18)$$

W 1879 r. D. Stefan (1835 - 1893) wykrył doświadczalnie, że dla określonej temperatury całkowita zdolność emisyjna — tj. w przedziale $0 < \nu < \infty$ — ciała doskonale czarnego jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury, czyli

$$\epsilon_T(\nu) = \sigma T^4,$$

gdzie $\sigma = 5,67051(19)10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ jest stałą Stefana-Boltzmanna. W 1884 r. L.E. Boltzmann (1844 - 1906) wykazał na gruncie klasycznej termodynamiki słuszność tej zależności - stąd też związek ten nosi nazwę prawa Stefana-Boltzmanna. Łatwo zauważyć, że stała σ wyraża się poprzez zależność

$$\sigma = \frac{2\pi^5}{15} \frac{k^4}{c^2 h^3} \quad (19)$$

a stąd

$$h = \pi k \sqrt[3]{\frac{2\pi^2 k}{15c^2 \sigma}}. \quad (20)$$

Warto zauważyć, że z tej zależności Planck po raz pierwszy wyznaczył wartość swojej stałej h .

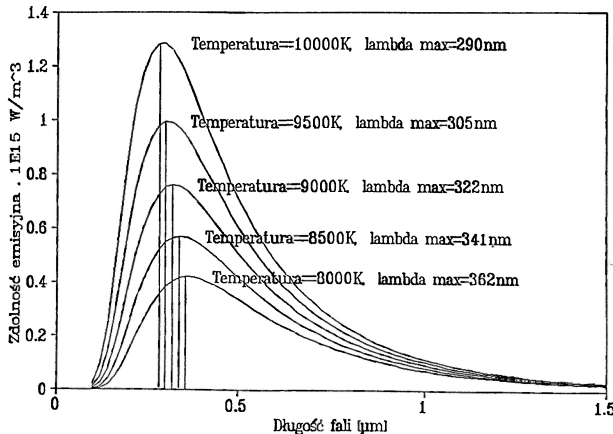
5. Opis programu

Program przygotowano w języku TURBO PASCAL, co ma niewątpliwe zalety dydaktyczne, chociaż nie stanowi jedynej możliwości przedstawienia problemu. Zastosowanie standardu języka pozwala na wykorzystanie programu w różnych komputerach. Także różna rozdzielczość kart graficznych nie powinna stanowić problemu. Zasadniczo, ze względu na zakres operacji arytmetycznych, wymagane są dodatkowe możliwości sprzętowe (koprocessor), jednak program działa równie poprawnie (choć z nieistotnie większym zakresem błędów) w najprostszej konfiguracji mikrokomputera IBM PC wyposażonego w minimalne możliwości graficzne.

Program składa się z czterech części głównych. Pierwsza część pozwala na porównanie wartości natężenia promieniowania ciała czarnego obliczonych z prawa Plancka, Wiena i Rayleigha-Jeansa, druga umożliwia ilustrację prawa przesunięć Wiena dla kolejnych temperatur, trzecia doprowadza do określenia zdolności emisyjnej na podstawie prawa Plancka, wreszcie czwarta część porównuje wyniki stosowania tych trzech praw dla danej temperatury.

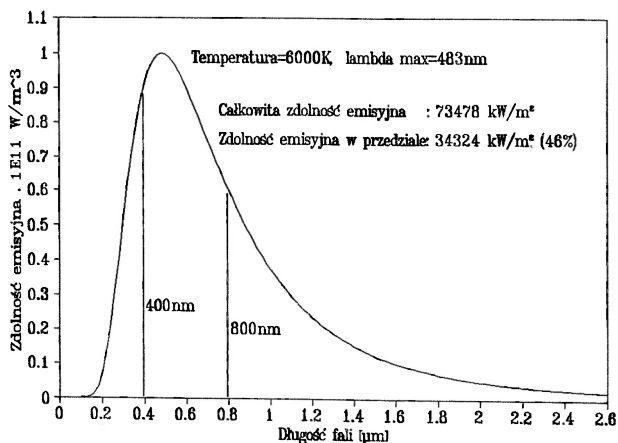
Temperatura	Lambda	Prawo Plancka	Przybliżenie Wiena	Rayleigha-Jeansa
6000	100	1.441233E+09	1.441233E+09	1.560423E+18
6000	400	9.126087E+13	9.103352E+13	6.095401E+15
6000	560	9.516660E+13	9.385205E+13	1.586683E+15
6000	780	6.280513E+13	5.990230E+13	4.215643E+14
6000	10000	1.380799E+10	2.944061E+09	1.560423E+10
6000	1000000	1.558553E+02	3.732922E-01	1.560423E+02

Rys. 9. Wydruk wartości $\epsilon = \epsilon(\lambda, T)$ otrzymanych z prawa Plancka, prawa Wiena i prawa Rayleigha-Jeansa (przykład działania programu)



Rys. 10. Ilustracja "prawa przesunięć Wiena" (przykład działania programu)

Program umożliwia obliczenie (dla określonej długości fali świetlnej i temperatury) zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego wg prawa Plancka i "praw" Wiena i Rayleigha-Jeansa (rys. 9). Przy doborze odpowiednich danych otrzymane



Rys. 11. Obliczanie zdolności emisyjnej w wybranym przedziale częstości na podstawie prawa Plancka (przykład działania programu)

wyniki umożliwiają stwierdzenie zbieżności - we właściwym krańcu widma - określonego przybliżenia z wzorem Plancka. Ponadto istnieje możliwość zilustrowania (dla dużego zakresu temperatur) prawa przesunięć Wiena. Przesunięcie maksimum zobrazowane jest w sposób graficzny oraz liczbowy (rys. 10). Istnieje również możliwość przedstawienia przebiegu krzywej Plancka i określenia wartości niektórych wielkości z tym "prawem" związanych (rys. 11). Wreszcie program umożliwia wizualne porównanie przebiegu odpowiednich krzywych wg wzorów Plancka, Wiena i Rayleigha-Jeansa. Przy temperaturze ciała doskonale czarnego $T = 1650$ K istnieje ponadto możliwość porównania krzywych "teoretycznych" z wynikami pomiarów (rys. 7) wykonanych przez O. Lummera i Pringsheima [10].

Literatura

- [1] M.Y. Bielyj, B.A. Ochrimienko, *Atomnaja Fizika*, Vyzshaya Shkola, Kijów 1984.
- [2] H. Haken, H.C. Wolf, *Atomic and Quantum Physics*, Springer, Berlin 1987.
- [3] T. Mayer-Kuckuk, *Atomphysik*, B.G. Teubner, Stuttgart 1985.
- [4] F. Bader, R.U. Sexel, *Computerprogramme zur Physik*, Schrödel Schulbuchverlag, Hannover 1983.
- [5] K. Ebert, H. Ederer, *Computeranwendungen in der Chemie*, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1985.
- [6] H. Hartmann, *Max Planck als Mensch und Denker*, Verlag Karl Siegmund, Berlin 1943.
- [7] A.J. Cussen, *Infrared Sensor Technology* 2, 344 (1982).
- [8] E.R. Cohen, B.N. Taylor, *Physics Today*, 41, B.G 9-13 (1991).
- [9] O. Lummer, E. Pringsheim, *Verhandl. Deut. Phys. Gesel.* 1, 23 (1999) oraz 1, 215 (1999) i 2, 163 (1900).
- [10] E. Hecht, A. Zajac, *Optics*, Addison-Wesley Publ. Comp., Reading, 1987.
- [11] A.N. Matveev, *Optika*, Vyzshaya Shkola, Moskwa 1985..

Waldemar Gorzkowski

*Instytut Fizyki PAN
Warszawa*

I Ogólnopolski konkurs uczniowskich prac naukowych z fizyki

1st National Competition in Research Projects in Physics for Secondary School Students

Abstract: In 1991/92 the Institute of Physics organized the 1st National Competition in Research Projects in Physics for Secondary School Students. A short description of the competition and its results is given.

Idea konkursu powstała w wyniku kontaktów autora artykułu z olimpijczykami czyli uczestnikami zawodów Olimpiady Fizycznej. Z bardzo wielu rozmów, szczególnie częstych podczas obozów przygotowawczych przed Międzynarodowymi Olimpiadami Fizycznymi a także w czasie tych Olimpiad wynikało, że niektórzy uczniowie próbują prowadzić swe własne badania naukowe. Co więcej, niektórzy z nich stwierdzali, że formuła Olimpiady Fizycznej, gdy bezbłędnie sformułowane zadania o znanych rozwiązaniach rozwiązuje się w ściśle kontrolowanym czasie, nie bardzo odpowiada ani im, ani części ich kolegów. Nie była to jednak krytyka Olimpiady Fizycznej. Każdy z rozmówców Olimpiadę Fizyczną lubił. W dodatku każdy z nich odniósł w niej sukces kwalifikując się do zawodów międzynarodowych. Wspomniane opinie były raczej wyrazem niedosytu form prezentacji osiągnięć czy też współzawodnictwa oferowanych młodzieży. Podkreślano, że brak jest form preferujących pracę długotrwałą nad różnymi ciekawymi problemami o nie znanych jeszcze rozwiązaniach. Praca taka z reguły wymaga cierpliwości, organizacji własnego warsztatu pracy, wypracowania metod badawczych itp. Krótko mówiąc, prowadzenie własnych badań wymaga innych predyspozycji niż rozwiązywanie zadań precyzyjnie sformułowanych i mających znane, jednoznacznie określone rozwiązania.

Z myślą o takich osobach w roku szkolnym 1991/92 Instytut Fizyki PAN, przede wszystkim dzięki energicznemu poparciu idei Konkursu przez Dyrektora Instytutu, prof. dr hab. Henryka Szymczaka, zorganizował I Ogólnopolski Konkurs Uczniowskich Prac Naukowych z Fizyki. W konkursie mogli uczestniczyć uczniowie szkół średnich dowolnego typu. Temat pracy, sposób jego opracowania, poziom trudności, metody badawcze itp. wybierali sobie sami zainteresowani.

Organizatorzy Konkursu niczego uczniom nie narzucali (poza oczywistym warunkiem, że praca ma dotyczyć fizyki). Ważne było dla nas, by praca zawierała jakiś istotny wkład własny o charakterze badawczym.

Konkurs cieszył się bardzo dużym zainteresowaniem; wpłynęło 59 prac. Jeden z uczestników przysłał dwie prace, natomiast kilka prac miało więcej niż jednego autora. Łączna liczba autorów lub współautorów wyniosła 66. Z licznych telefonów i listów, które wpłynęły do Komitetu Organizacyjnego, można wnosić, że ogólna liczba osób próbujących swych sił, ale które zdecydowały się ostatecznie nie przysyłać wyników swych przemyśleń lub doświadczeń, była co najmniej pięć razy większa. (Wniosek ten można wysnuć z faktu, że spośród osób, które dzwoniły lub pisały do nas, mniej więcej co piąta przysłała pracę konkursową.) Cieszy to tym bardziej, że czasy nie sprzyjają zainteresowaniom naukowym. Szczególną uwagę zwrócił fakt, że z Warszawy, największego przecież ośrodka naukowego, przysłano tylko jedną pracę. Większość prac została nadesłana z miejscowości małych lub bardzo małych, z reguły bardzo odległych od większych miast. Niewątpliwie autorzy tych prac mieli bez porównania więcej trudności w zdobywaniu niezbędnych materiałów naukowych niż ich rówieśnicy z ośrodków uniwersyteckich. Za tę ich pracę chcemy tu szczególnie serdecznie podziękować. Zauważone duże zainteresowanie Konkursem w ośrodkach mniejszych dobitnie wskazuje, że talenty rodzą się wszędzie. Trzeba tylko do nich dotrzeć. Mamy nadzieję, że nasz Konkurs, który będzie powtarzany corocznie, pod tym względem odegra dużą rolę.

Na powodzenie Konkursu w dużym stopniu wpłynął zapewne sposób rozpowszechnienia informacji o nim. Informacje te dzięki życzliwości Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej znalazły się w druczku olimpijskim, jaki co roku jest rozsyłany do wszystkich szkół średnich. Taka droga rozprowadzania różnych informacji zawsze była bardzo skuteczna. Część ogłoszeń o Konkursie rozesłał do swych stypendystów Krajowy Fundusz na Rzecz Dzieci. Pewna część została rozesłana wraz z afiszami o wykładach z fizyki organizowanych w IF PAN, część przez Kuratorium, część ogłoszeń rozesłano do nauczycieli znanych z działalności olimpijskiej. Część ogłoszeń wysłano bezpośrednio do zwycięzców bądź wyróżnionych w ubiegłych olimpiadach, którzy jednak jeszcze byli uczniami. Ważne było również opublikowanie informacji o Konkursie w *Fizyce w Szkole*.

Nadesłane prace były na bardzo wysokim poziomie, znacznie wyższym niż oczekiwano. Tematyka prac była bardzo zróżnicowana. Część prac dotyczyła dziedzin pokrewnych fizyce, takich jak geofizyka, astronomia czy nawet ochrona środowiska. Jeżeli tylko w pracach takich fizyka była reprezentowana w sposób istotny a nie zupełnie marginalny, to były one traktowane jak inne prace z "czystej" fizyki. Przeważały prace teoretyczne, chociaż było również kilka prac doświadczalnych. Fakt ten zasługuje na szczególne odnotowanie, gdyż wiadomo, że na poziomie szkolnym bardziej złożone doświadczenia trudno jest wykonać zarówno z powodu braku wielu przyrządów jak i odpowiednich materiałów. Poza tym doświadczenia są z reguły dość kosztowne. W związku z tym warto zwrócić

uwagę, że niektórzy uczestnicy w celu wykonania swych zamierzeń doświadczalnych nawiązali kontakty z różnymi instytucjami naukowymi. Kontakty te pewnie będą owocowały również w przyszłości.

Przy ocenie prac zwracano uwagę na wkład własny autora bądź autorów. Prace przeglądowe nie zawierające w wystarczającym zakresie własnych sądów lub wyników własnych badań, polegające na zebraniu wiadomości z książek czy artykułów i ich mniej lub bardziej popularnym przedstawieniu, nie były dyskwalifikowane, jednakże miały znikome szanse na nagrodę. Często jednak były to opracowania bardzo interesujące i dla takich prac stworzono osobną kategorię wyróżnień. Niektóre z takich prac mogą służyć za podstawę ciekawego artykułu popularnonaukowego.

Poza niewielką liczbą prac wyraźnie słabych i prac niewiele mających z fizyką wspólnego, wszystkie były starannie recenzowane.

Komitet Organizacyjny w początkowym okresie działał pod kierownictwem prof. Henryka Szymczaka, którego po kilku miesiącach zastąpił prof. Jacek Kosut. Sekretarzem Naukowym Konkursu przez cały okres był autor niniejszego artykułu. Zespół recenzentów oceniających prace był następujący: prof. Iwo Białynicki-Birula (CFT PAN), dr Daniel Dobrowolski (IF PAN), dr Waldemar Gorzkowski (IF PAN), doc. Maciej Kolwas (IF PAN), prof. Jacek Kosut (IF PAN), prof. Jan Mostowski (IF PAN), dr Stefan Nadolski (IF PAN) i dr Władysław Żakowicz (IF PAN).

W wyniku decyzji Komitetu Organizacyjnego nagrody otrzymały następujące osoby (wszystkie nagrody są równorzędne - kolejność autorów alfabetyczna):

- Konrad Banaszek (Gdynia) za pracę "Zastosowanie metody dyskretyzacji (FGH) do obliczania ewolucji czasowej jednowymiarowych układów kwantowych",
- Longin Brzeziński (Opole) za pracę "Wyznaczanie niektórych parametrów plazmy w oparciu o analizę jej widma promieniowania",
- Krzysztof Giaro (Gdańsk) za pracę "Sieć oporników",
- Arkadiusz Kowalski (Lublin) za pracę "O odbiciu pewnej piłki i co z tego wynika",
- Krzysztof Markowicz (Strzyżów) za pracę "Klimat Strzyżowa",
- Piotr Szymczak (Warszawa) za pracę "Chaos w prostym układzie hamiltonowskim",
- Roman Wencel (Komprachcice) za pracę "Efekty relatywistyczne w kinetycznej teorii gazu doskonałego".

Autorzy nagrodzonych prac zostaną zaproszeni do Instytutu Fizyki PAN na koszt organizatorów na dwutygodniowy staż naukowy w terminach uzgadnianych

indywidualnie. W czasie tego stażu zostaną oni włączeni do regularnych badań prowadzonych w Instytucie.

Oprócz nagród Komitet Organizacyjny postanowił przyznać wyróżnienia (książki). Otrzymali je: A) w kategorii prac badawczych:

- Krzysztof Giaro (Gdańsk) za pracę "Układ dipoli w pobliżu nadprzewodnika pierwszego rodzaju",
- Marcin Grenz (Bydgoszcz) za pracę "Elektroniczny detektor zjawisk elektrostatycznych - budowa, działanie i zastosowanie",
- Marek Korkusiński (Włoszczowa) za pracę "Analogie w opisie zjawisk fizycznych",
- Mariusz Materski (Kolbuszowa Dolna) za pracę "Elektroniczny stoper cyfrowy",
- Andrzej Sobczak (Zgierz) za pracę "Podstawowe właściwości mikropołączeń elektrycznych drutów (Ni i kowaru) wykonywanych metodą spawania laserowego",
- Wojciech Seniuk (Chełm) za pracę "Momenty bezwładności - teoretyczne i doświadczalne metody wyznaczania",
- Joanna Wysocka (Łódź) za pracę "Fotoogniwo elektrochemiczne i co dalej? - badanie potencjału zależności elektrody wykonanej z domieszkowanego arsenku galu od długości fali i natężenia padającego światła",
- Tomasz Zdrach (Wisła) za pracę "O rozchodzeniu się zaburzeń w ośrodkach materialnych".

B) w kategorii opracowań przeglądowych:

- Mateusz Andrzejewski, Janusz Grot (Poznań) za pracę "Energetyka jądrowa - tak czy nie?",
- Zbigniew Karkuszewski (Hrubieszów) za pracę "Lasery, irasery, masery",
- Dariusz Komosa (Stężyca) za pracę "Energia w szklance wody",
- Grzegorz Piotr Kubalski (Jabłonna k. Warszawy) za pracę "Zagadnienie dualistycznej natury światła",
- Robert Lasowski, Grzegorz Rapala (Sanok) za pracę "Kwarki i ich kolor",
- Wojciech Tarnawski (Kluczbork) za pracę "Wielka unifikacja i jej aspekt kosmologiczny w świetle współczesnego stanu wiedzy",
- Andrzej Tęcza (Wieluń) za pracę "Neutrino i ich właściwości",

- Krzysztof Tokarz (Kolbuszowa) za pracę "Hipoteza Wielkiego Wybuchu",
- Iwona Toporowicz (Sobieszyn) za pracę "Układ planetarny i jego tajemnice",
- Paweł Wróbel (Krotoszyn) za pracę "Gwiazdy i materia międzygwiazdowa",
- Mikołaj Ungiert (Kolbuszowa) za pracę "Tajemnice półprzewodników - ich właściwości i zastosowania".

Podobnie jak w przypadku nagród, wyróżnienia w każdej z obu wymienionych kategorii są równorzędne (nazwiska w każdej grupie wyróżnień podano alfabetycznie).

Zarówno nagrodzeni jak i wyróżnieni otrzymali dyplomy. Nagrody (książki) ufundowali: Fundacja "Pro Physica", Wydawnictwo PWN i Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Uroczyste zakończenie Konkursu odbyło się 15 czerwca br. Przytoczona wyżej pełna lista laureatów i wyróżnionych obejmuje 44% nadesłanych prac, co świadczy o ich bardzo wysokim poziomie. Listę tę publikujemy nie tylko po to, by dać satysfakcję autorom prac. Konkurs będzie organizowany corocznie i pełny przegląd tematów prac może być cenną wskazówką dla osób pragnących wziąć udział w naszym Konkursie w przyszłości. Proszę zwrócić uwagę, że tematyka prac była bardzo zróżnicowana. Niektóre tematy były bardzo rozległe, niektóre zaś bardzo wąskie. Nad niektórymi można było pracować w domu, niektóre zaś wymagały nawiązania współpracy z różnymi ośrodkami naukowymi. Organizatorzy Konkursu nie narzucali uczestnikom jakiejś określonej tematyki. Przytoczone tytuły prac oddają więc rzeczywiste zainteresowania młodzieży w zakresie fizyki. Uwaga ta może być bardzo cenna dla osób zajmujących się popularyzacją tej gałęzi wiedzy.

Można tu zapytać: ogłoszono Konkurs, uczniowie przysłali prace, zdobyli różne trofea i co dalej? Niewątpliwie najważniejszym elementem Konkursu jest dwutygodniowy staż naukowy laureatów w IF PAN. W czasie tego stażu każdy z laureatów będzie mógł sprawdzić się jako badacz w warunkach takich, w jakich pracują fizycy. Skonfrontowanie własnych wyobrażeń o pracy naukowej z rzeczywistością z pewnością okaże się bardzo istotne w podejmowaniu ważnych decyzji życiowych przez laureatów. Mamy też nadzieję, że wielu z naszych młodych Kolegów po tym wstępnym kontakcie trafi do nas w przyszłości, tj. po skończeniu studiów, na stałe. Jeżeli zaś chodzi o same prace, to część z nich da się racjonalnie zagospodarować. Trzy spośród prac po niezbędnych zmianach można będzie opublikować w czasopismach naukowych. Czy zostaną opublikowane? Teraz nie możemy na to odpowiedzieć. Wszystko zależy od redakcji czasopism i od gotowości autorów do wprowadzenia odpowiednich zmian bądź uzupełnień. Jedna z prac, zawierająca bardzo dużo wartościowych danych obserwacyjnych, została przesłana do działu rękopisów dwóch bibliotek do ewentualnego wykorzystania w przyszłości przez osoby prowadzące badania klimatu. Wyróżnione prace przeglądowe, a także kilka innych ciekawszych prac (np. praca o starożytnym Egipcie), które z różnych powodów nie zdobyły wyróżnienia, zostały przekazane Redakcji *Wiedzy i Życia* do przeanalizowania i ewentualnego nawiązania kontaktu z

autorami. Wydaje się nam, że niektóre z tych prac po pewnych przeróbkach mogłyby być opublikowane jako artykuły popularnonaukowe. Czy zostaną tak wykorzystane? Z tych samych powodów, co poprzednio, również nic nie możemy teraz na ten temat powiedzieć. Niezależnie jednak od tego, jaki będzie dalszy los prac, nie ulega wątpliwości, że Konkurs przyniósł bardzo interesujące wyniki i wykazał, że mimo kryzysu w kraju młodzież nie tylko interesuje się nauką, ale ma ambicję twórczo w niej działać. Konkurs stworzył wielu osobom możliwość pokazania swego dorobku i porównania swych osiągnięć z osiągnięciami innych. Ponadto Konkurs wytworzył pewien standard wymagań. Wprawdzie Konkurs był przeznaczony dla uczniów, jednakże z licznych rozmów telefonicznych i kontaktów listowych wynika, że zaangażowało się w jego przebieg sporo innych osób, a konkretnie osób, które starały się młodym naukowcom stworzyć jak najlepsze warunki pracy. Osobom tym składamy serdeczne podziękowanie. W przyszłości planujemy wprowadzić jakąś formę uhonorowania ich wysiłku. Może Czytelnicy mają pomysł, jak to najlepiej zrobić. Wszelkie uwagi prosimy kierować do autora tego artykułu na adres: Instytut Fizyki PAN, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa.

Waldemar Gorzkowski

Instytut Fizyki PAN

Warszawa

Wykłady dla uczniów i nauczycieli w IF PAN

Lectures for secondary school students and teachers at the Institute of Physics

Abstract: The Institute of Physics of the Polish Academy of Sciences organized two sessions (spring and autumn) of lectures for secondary school students and teachers; each lecture was preceded by visiting the appropriate research laboratory. A short information is given on the program and the outcome of this activity.

Inicjatorami zorganizowania systematycznie prowadzonych wykładów fizyki dla uczniów i nauczycieli byli profesorowie Jacek Kossut i Henryk Szymczak. Podjąłem się tego zadania z ochotą, gdyż od wielu lat byłem przekonany, że wykłady takie z pewnością dobrze by służyły rozwojowi zainteresowania tą dziedziną wiedzy. Instytut Fizyki ma wielu wyśmienitych pracowników, są też stojące na wysokim poziomie laboratoria badawcze. Jedyłą trudnością jest brak odpowiedniej sali wykładowej, przystosowanej do przeprowadzania publicznych pokazów z fizyki. Piękne, duże Audytorium Maximum Instytutu, wyposażone w bardzo dobrą aparaturę nagłaśniającą, projektory itp., nie ma niestety urządzeń, które umożliwiałyby przeprowadzanie doświadczeń podczas wykładów bez nadmiernie uciążliwych wcześniejszych przygotowań. "Suche" wykłady teoretyczne zawsze są mniej pociągające i mają mniejszą siłę przekonywania niż wykłady ilustrowane pokazami.

Trudność tę postanowiliśmy obejść dwoma sposobami. Po pierwsze, niektórym wykładom postanowiliśmy nadać wyłącznie doświadczalny charakter (jak już transportować sprzęt do sali to nie po to, by go używać sporadycznie w czasie wykładu, lecz po to, by był używany przez cały czas na wykład przeznaczony). Po drugie zaś postanowiliśmy zorganizować godzinne zwiedzanie pracowni Instytutu tuż przed każdym wykładem. Oczywiście każdego z wykładowców prosiłiśmy, aby w miarę możliwości postarał się ilustrować wykład możliwie prostymi eksperymentami, nie wymagającymi złożonej aparatury. Mieliśmy przy tym pełną świadomość, że czasami może to być zbyt trudne do zrealizowania. Niemniej jednak paru wykładowcom udało się wymyślić proste eksperymenty nadające się do pokazania w opisanych warunkach.

Wykłady z założenia miały być przeznaczone dla uczniów i nauczycieli szkół średnich. Określało to od razu ich poziom. Niedobrze byłoby jednak, gdyby wykłady miały być powieleniem wiadomości programowych. Postanowiliśmy, że wykłady nawiązując do tematyki szkolnej powinny ją istotnie poszerzać i uzupełniać. Poza tym powinny one być prowadzone przez osoby mniej lub bardziej związane zawodowo z tematyką wykładu. Dobór wykładowców nie nastęrczał żadnych trudności. Ludzie podejmowali się tej pracy niezwykle chętnie.

Wykłady postanowiono organizować w dwóch sesjach: jesiennej (październik, listopad, grudzień) i wiosennej (marzec, kwiecień, maj). Do dobrych rezultatów prowadzi organizowanie systematycznych imprez w terminach podlegających pewnej, łatwej do zapamiętania regule. W naszym przypadku regułą tą było: pierwszy i trzeci poniedziałek miesiąca o godz. 17.00 w IF PAN; zwiedzanie Instytutu - godzina przed wykładem.

Pewne wątpliwości budziła częstotliwość wykładów (czy nie zbyt rzadko są one organizowane) i długość sesji (po trzy miesiące każda). Wyszliśmy z założenia, że zbyt częste wykłady mogą zmęczyć słuchaczy, tym bardziej, że IF PAN znajduje się na Służewcu, spory kawałek od Śródmieścia, i dojazdy trwają dość długo. Zmęczenie słuchaczy byłoby równoważne niepowodzeniu całego przedsięwzięcia. Pewne wątpliwości budziła też sprawa ciągłości tematycznej wykładów. Po przeanalizowaniu tego problemu doszliśmy do wniosku, że poszczególne wykłady powinny być niezależne od siebie. Dzięki temu opuszczenie jednego z wykładów nie pozbawiałoby słuchacza pożytku z wykładów następnych. Wykłady rozpoczęto jesienią 1991 r. Można zapytać dlaczego właśnie wtedy. Otóż niewątpliwym czynnikiem pobudzającym nasze działania była sytuacja w oświacie. Wskutek różnych przyczyn, jednak głównie z powodów finansowych, zaczęto skracać programy, zamierała praca pozalekcyjna z uczniami. Wymienione tutaj przykładowo, negatywne zjawiska uznaliśmy za bardzo niebezpieczne dla rozwoju fizyki w Polsce. I chociaż sami nie byliśmy w najlepszej kondycji finansowej, uznaliśmy, że naszym obowiązkiem jest przeciwdziałanie złu w takim zakresie, w jakim możemy to uczynić. Bez troski o następców żadna gałąź nauki nie może prawidłowo się rozwijać.

Każda akcja, nawet najlepiej przemyślana, może się nie powieść, jeżeli nie trafi się do zainteresowanych. Dlatego też szczególną wagę przywiązywaliśmy do treści ogłoszeń o wykładach i sposobu ich rozprowadzenia gwarantującego dotarcie do szerokiego grona potencjalnych słuchaczy. Przede wszystkim, ze względu na problemy komunikacyjne postanowiliśmy ograniczyć się do rozprowadzenia zawiadomień tylko do szkół średnich województwa warszawskiego (do wszystkich!). Zawiadomienia zostały rozesłane pocztą, a także poprzez Kuratorium, w czym bardzo pomagały nam nieocenione panie mgr Zuzanna Suwald i mgr Zenobia Mróz. Dzięki uprzejmości p. Ryszarda Rakowskiego, Dyrektora Krajowego Funduszu na Rzecz Dzieci, część ogłoszeń została rozesłana przez ten Fundusz. Pozostałe zawiadomienia rozesłaliśmy indywidualnie do nauczycieli znanych z działalności olimpijskiej oraz do byłych olimpijczyków.

Dużą wagę przywiązywaliśmy do treści ogłoszenia o wykładach. Uznaliśmy, że musi ona zawierać wszystkie dane niezbędne do podjęcia decyzji o wzięciu lub niewzięciu udziału w wykładach lub zwiedzaniu. Dlatego po podaniu terminu, nazwiska wykładowcy i tematu wykładu zawsze krótko opisywaliśmy temat tak, by uczestnik wiedział, czego może się spodziewać. Początkowo wydawało się to zbędne, jednakże potem okazało się, że umożliwiało to świadomy wybór wykładów przez uczestników. Oto przykład takiej informacji:

Jerzy Rauluszkiewicz – "Mikroskop tunelowy"

Czy można przeniknąć przez ścianę? Oczywiście, że nie - zdarza się to tylko na filmach. A jednak, choć to wydaje się nieprawdopodobne, w mikroświecie cząstki, takie jak np. elektrony, mogą z pewnym niezerowym prawdopodobieństwem przenikać przez różne bariery potencjału. Zjawisko to nosi nazwę tunelowania elektronów przez barierę potencjału. Zostało ono wykorzystane w nowym rodzaju mikroskopu, który pozwala rozróżniać poszczególne atomy na powierzchni badanej próbki. Zwiedzanie: Oddział Fizyki Magnetyków - Andrzej Reich, tel. 437001 w. 374

Zakres tematyczny najlepiej zilustrować przez podanie spisu wykładów pierwszych dwóch serii. Oto on:

Sesja jesienna (1991):

Adam Kujawski "Światło laserowe"

Zbysław Wilamowski "Defekty kryształów"

Jerzy Kowalczyński "Tachiony"

Tadeusz Skośkiewicz "Nadprzewodnictwo - nowe odkrycia"

Waldemar Gorzkowski "Symetrie i wymiary"

Maciej Kolwas "Atomy rydbergowskie"

Sesja wiosenna (1992):

Jan Mostowski "Czy foton można podzielić?"

Jędrzej Jędrzejewski (Politechnika Warszawska) "Zasada Pauliego"

Jerzy Rauluszkiewicz "Mikroskop tunelowy"

Ludwik Lis "Doświadczenia z promieniowaniem laserowym"

Andrzej Nadolny "Elektrony i dziury"

Jerzy Zagrodziński "Solitony"

Jak widać, wśród wykładowców jest jedna osoba spoza IF PAN. To nie przypadek. To zaledwie skromny początek. W przyszłości chcielibyśmy bowiem zjednać do współpracy fizyków z innych ośrodków.

Jeżeli chodzi o frekwencję podczas wykładów, to zaskoczyła ona nas w dobrym znaczeniu. Słuchaczy przychodzi dużo i bardzo nas to cieszy. Przy okazji zauważyliśmy, że zdecydowana większość naszych słuchaczy pochodzi spoza Śródmieścia Warszawy lub spoza Warszawy. Zdarzają się nawet grupy młodzieży z miejscowości położonych w dużej odległości od stolicy. Tak przynajmniej wynika z listy obecności prowadzonej w celach pamiątkowych (wyłącznie!). Jest to

bardzo budujące zjawisko. Szczególnie zaś budujące jest to, że często uczniowie przychodzą ze swoimi nauczycielami. Wydaje się, że szczególnie silnym magnesem przyciągającym młodzież i nauczycieli do naszej akcji jest zwiedzanie. W sesji jesiennej nie mieliśmy jeszcze doświadczenia w organizacji zwiedzania Instytutu. Przybywające grupy chętnych kierowaliśmy do uprzednio przygotowanych pracowników. Był to sposób dobry, jeżeli chętnych nie było zbyt wielu. Bywały jednak dni, gdy na zwiedzanie przychodziło 130-150 osób i wtedy pojawiały się pewne kłopoty, które musieliśmy rozwiązywać na bieżąco. Z tego względu od sesji wiosennej po informacjach dotyczących wykładu zaczęliśmy podawać zakres zwiedzania oraz nazwisko i telefon osoby odpowiedzialnej za zwiedzanie w danym dniu. Uznaliśmy też za celowe stworzenie możliwości zwiedzania laboratoriów w innych terminach pod warunkiem wcześniejszego uzgodnienia tego z osobą wymienioną w ogłoszeniu. System ten zdał egzamin, chociaż jest jeszcze daleki od doskonałości. Rzecz w tym, że nie wszystkie działy fizyki cieszą jednakową popularnością. Na zwiedzanie obejmujące lasery, czy nadprzewodnictwo przychodzi niewspółmiernie dużo osób w stosunku do liczby zwiedzających np. pracownie półprzewodników. Trzeba pomyśleć, jak uatrakcyjnić zwiedzanie pracowni zajmujących się tematyką bardziej znaną a przez to mniej pociągającą. Bardzo często w pracowniach takich można znaleźć niezwykle interesujące rzeczy.

Czytelnik może zapytać czemu ten artykuł ma służyć. Czy temu, że chcemy się pochwalić? Pewnie w jakimś tam stopniu i temu też. Jednakże głównym motywem przy pisaniu była chęć podzielenia się pewnymi przemyśleniami dotyczącymi organizacji naszych wykładów. Jestem głęboko przekonany, że niektóre z nich mogą się przydać kolegom już organizującym podobne akcje w innych ośrodkach lub tym osobom, które zamierzają coś pokrewnego przedsięwziąć w przyszłości. Ze swej strony mogę zapewnić Czytelników, że osoby zaangażowane w naszą akcję z chęcią zaznajomiłyby się ze szczegółami organizacyjnymi podobnych działań prowadzonych gdzie indziej.

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Komputery w fizyce — europejska szkoła letnia

W dniach od 10 do 20 września 1991 r. w miejscowości Skalsky Dvur na Morawach odbyła się kolejna, dziewiąta już, europejska szkoła letnia zastosowań technik komputerowych w fizyce ("Ninth European Summer School on Computing Techniques in Physics"). Szkoły te zwołuje się w cyklu dwuletnim od 1975 r. na terenie Czecho-Słowacji. Są one przemienne z konferencjami "Physics Computing", które organizuje się, również co dwa lata, w latach parzystych. Zgodnie z tą zasadą kolejna konferencja, "Physics Computing '92", odbędzie się w dniach od 24 do 28 sierpnia 1992 r. w Pradze.

Organizatorem obu tych ważnych imprez naukowych, od początku ich istnienia, jest dr J. Nadrchal z Instytutu Fizyki Czecho-Słowackiej Akademii Nauk. Obie te imprezy zwoływane są pod protektoratem tej instytucji. Obecna szkoła odbywała się pod egidą Europejskiego Towarzystwa Fizycznego, Czecho-Słowackiego Stowarzyszenia Matematyków i Fizyków, oraz Instytutu Fizyki Czecho-Słowackiej Akademii Nauk w Pradze. Nad programem czuwał dwunastoosobowy międzynarodowy komitet naukowy pod przewodnictwem J. Nadrchala.

Coraz powszechniejsze zastosowania w fizyce znajdują komputery równoległe (parallel computers). Duża ich elastyczność i stosunkowo wielka moc obliczeniowa sprawia, że w wielu zastosowaniach fizycznych zastępują superkomputery wektorowe (vector supercomputers). Argumentem świadczącym na ich korzyść jest stosunek nakładów do efektów. Upowszechnianie się komputerów równoległych w krajach Europy Środkowej (dzięki częściowemu zniesieniu embarga na te urządzenia) sprawiło, że cieszą się one żywym zainteresowaniem fizyków właśnie w tej części Europy. Wart podkreślenia jest fakt, że jednym z najtrafniej dobranych zadań omawianej szkoły było wyjście naprzeciw tym zainteresowaniom.

Program Szkoły obejmował trzy zasadnicze kierunki. Pierwszy dotyczył zagadnień numerycznych w fizyce, drugi zastosowań w fizyce komputerów równoległych i wektorowych, a trzeci poświęcony był zaawansowanym systemom edytorskim typu $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$. Sesje obu pierwszych grup zagadnień wypełniły pierwszy tydzień i część drugiego, trzecią wyodrębniono w postaci oddzielnego bloku w ostatnich trzech dniach Szkoły.

Ważną grupę zagadnień (w szczególności dla fizyków doświadczalnych) stanowiło zagadnienie algorytmów numerycznych w fizyce. Problematyka ta, wywodząca się z klasycznych metod numerycznych, jest nadal bardzo aktualna. W tej sytuacji wykład G.M. Phillipsa z Instytutu Matematyki w St. Andrews (Szkocja) na temat możliwości aproksymacji danych doświadczalnych za pomocą funkcji giętej spotkał się z bardzo dobrym odbiorem. Podobnie było i z wykładem dra H. Maisa z DESY (Hamburg) o niecałkowalnych hamiltonianach użytych przy modelowaniu pierścieni magazynujących protony. Problemowi użycia metod numerycznych w fizyce poświęcona też była zdecydowana większość wykładów sekcyjnych. W tej części szkoły dużą aktywność wykazali uczestnicy z Polski (a w szczególności z Instytutu Informatyki AGH w Krakowie), którzy byli autorami większości komunikatów i plakatów poświęconych zagadnieniom numerycznym.

Najwięcej wykładów plenarnych (prawie 50% łącznego czasu przewidzianego na wykłady) poświęcono zastosowaniom w fizyce komputerów równoległych i wektorowych. Problematyka ta cieszyła się dużym zainteresowaniem. Tym bardziej, że poruszane tu zagadnienia stanowiły dla wielu uczestników pewną nowość. Organizatorom Szkoły (a praktycznie drowi J. Nadrchalowi) udało się pozyskać dla niej kilku znakomitych znawców tych zagadnień. Ważne problemy związane z zastosowaniami w fizyce komputerów wielkiej mocy poruszył Z. Sekera, z CRAY Research Centre w Genewie. Z drugiej strony interesujące możliwości użycia komputerów równoległych w badaniach fizycznych pokazał T.E. Tezduyar z Minesota Supercomputer Institute (USA).

Nieco mniej ciekawie - co zresztą wynikało z celu jaki przyjęto dla tej części szkoły - przedstawiała się trezcia grupa tematyczna. Poświęcona była zaawansowanym systemom edytorskim typu $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$. Adresowana była przede wszystkim do potencjalnych użytkowników systemu $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ (w szczególności wersji $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -3 oraz $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -M) i miała raczej czysto praktyczny charakter. Nie bardzo też wiązała się ona (ani pod względem tematycznym, ani organizacyjnie) z poprzednimi częściami Szkoły. Specjalnie na tę część Szkoły przybyło zresztą sporo osób, które nie uczestniczyły w poprzednich jej częściach. W tych ramach odbyła się również narada krajowych przedstawicieli międzynarodowego stowarzyszenia użytkowników systemów edytorskich $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ ($\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -International Users Group). Celem jej było określenie działań prowadzących do dalszego upowszechnienia tego systemu. W grę wchodzi zwłaszcza wydawnictwa naukowe publikujące prace z zakresu fizyki i matematyki, gdzie system ten jest szczególnie przydatny. Rozpatrywano również możliwości powołania (np. w Polsce) nowych oddziałów krajowych stowarzyszenia.

We wszystkich częściach Szkoły wzięło ogółem udział około 150 osób z 14 krajów. Najliczniejszą grupę stanowili gospodarze (łącznie ponad 60 osób) następnie co do liczebności grupy to uczestnicy z Polski, RFN i ZSRR - po ok. 20 osób. Pozostałe kraje były reprezentowane mniej licznie.

Szkoła była bardzo dobrze zorganizowana, a jej sześcioposobowy komitet organizacyjny działał bardzo sprawnie. Wykłady plenarne i streszczenia wykładów sekcyjnych ("Preliminary Proceedings" pt. *Numerical Techniques and Parallelism in Physics*) opublikowano przed jej rozpoczęciem. Toteż uczestnicy otrzymali na samym początku komplet materiałów. Przekazano im też materiały informacyjne firm komputerowych i niektórych instytucji naukowych. Referaty wygłoszone w trakcie Szkoły opublikowane zostaną w *Computer Physics Communications* w 1992 r.

Organizacja Szkoły, jak i jej przebieg były bez zarzutu. To samo można również powiedzieć o części "krajoznawczej", na którą złożyło się kilka atrakcyjnych wycieczek. Bez wątplenia najbardziej emocjonującą był wypad do systemu grot i jaskiń powiązanych ze znaną na Morawach przepaścią "Macocho". Szczególną atrakcją stanowili kilkusetmetrowy rejs łodziami szlakiem podziemnej rzeki w tym zaczarowanym świecie.

Aktywnemu udziałowi uczestników w zajęciach Szkoły służyło zakwaterowanie uczestników w komfortowym ośrodku konferencyjnym Czecho-Słowackiego Ministerstwa Rolnictwa. Ośrodek ten jest bardzo dobrze przygotowany do tego rodzaju działalności, a panujący w nim w czasie Szkoły klimat sprzyjał pracy intelektualnej. Do tego właściwy dobór treści programowych i rozsądne dawkowanie czasu przyczyniały się do wytworzenia odpowiedniej atmosfery. Toteż frekwencja na wszystkich wykładach była praktycznie stuprocentowa. Mimo to, być może wskutek zróżnicowania tematyki, a trochę nierównego poziomu wykładów, obecna Szkoła - wg opinii uczestników wcześniejszych - wypadła nieco słabiej. Generalnie jednak biorąc warto było w niej uczestniczyć. Potwierdziła też wyrażenie potrzeby, a może wręcz konieczność, systematycznego organizowania tego rodzaju

spotkań.

Na zakończenie warto wspomnieć, że Szkoła była subwencjonowana przez Europejskie Towarzystwo Fizyczne, Instytut Fizyki Czecho-Słowackiej Akademii Nauk, Biuro Badań Naukowych Marynarki USA, Szwajcarską Fundację Badań Naukowych, oraz Niemieckie Towarzystwo Fizyczne. Szczodre subwencje ze strony tych organizacji umożliwiły liczny udział młodzieży, a także przyjazd wielu osób z krajów, w których tradycyjnie są kłopoty z wymianą waluty. Dzięki tym subwencjom możliwe też się stało zapewnienie uczestnikom, za stosunkowo niską opłatą, całkiem przyzwoitego komfortu.

Henryk Z. Wrembel

Katedra Fizyki WSP

Ślusk

Charakterystyka półprzewodnikowych materiałów i struktur Konferencja w Smolenicach

W dniach 1—4 kwietnia 1992 r. odbyła się w Smolenicach w Czecho-Słowacji międzynarodowa konferencja "Characterization of Semiconductor Substrates and Structures" zorganizowana przez Instytut Elektroniki Fizycznej Słowackiej Akademii Nauk oraz Sekcję Fizyki Towarzystwa Słowackich Matematyków i Fizyków. Konferencja miała charakter sympozjum satelitarne w stosunku do 12-tej Generalnej Konferencji Oddziału Materii Skondensowanej Europejskiego Towarzystwa Fizycznego, która odbyła się następnie w Pradze. Miejscem Konferencji był pięknie położony, sprawiający zabytkowe wrażenie zamek.

W Konferencji uczestniczyło ok. 70 osób, głównie ze Słowacji i Włoch, ponadto naukowcy z Belgii, Czech, Francji, Japonii, Niemiec, Ukrainy, Węgier i Wielkiej Brytanii, a także 4 osoby z Polski reprezentujące Instytut Technologii Elektronowej i Instytut Fizyki PAN.

Na sesjach plenarnych przedstawiono 14 referatów i 17 komunikatów; ponadto wystawiono ok. 40 prac na sesjach plakatowych. Obrady Konferencji odbywały się w języku angielskim.

Tematyka konferencji obejmowała rozwój i wykorzystanie komplementarnych metod (w tym rentgenowskich, elektronomikroskopowych i elektrycznych) do charakterystyki materiałów półprzewodnikowych (krzem, związki $A^{III}B^V$) oraz realizowanych przy ich użyciu układów i struktur.

Jako charakterystykę podłoża lub naniesionej na nim warstwy rozumiano głównie określenie ich składu (stopnia domieszki, stechiometrii) jak również struktury defektowej. Najciekawsze prace z tej dziedziny były przedstawione przez A.M. Huber i C. Grattepaina (Francja), C. Claeysa (Belgia) oraz Y. Fujisaki (Japonia). Omówiono m.in. obecny stan wiedzy na temat defektów pierwotnych oraz powstałych w trakcie procesów technologicznych w podłożach krzemowych. G.K. Booker z Wielkiej Brytanii prezentował pracę dotyczącą badania mikrowytrąceń, dyslokacji i domieszek w związkach $A^{III}B^V$ przy zastosowaniu dużego zespołu zróżnicowanych metod takich jak skaningowa (SEM) i transmisyjna (TEM) mikroskopia elektronowa i skaningowa mikroskopia w podczerwieni (SIRM).

O zastosowaniu metod rentgenowskich do pomiarów składu, grubości i struktury półprzewodnikowych warstw epitaksjalnych bardzo ciekawie mówił B.K. Tanner (Wielka

Brytania). Między innymi, autor podkreślił użyteczność wysokorozdzielczej, wielokrystalicznej dyfraktometrii rentgenowskiej do określenia grubości cienkich warstw.

Należy zaznaczyć, że w związku z coraz szerszym udostępnieniem źródeł synchrotronowych następuje renesans badań topograficznych (J. Matsui, Japonia). Topografia rentgenowska przy użyciu konwencjonalnych źródeł promieni X nie jest odpowiednia lub wymaga nazbyt długiego czasu do rejestracji defektów generujących słabe pola naprężeń podczas gdy promieniowanie synchrotronowe ze względu na jego moc i kolimację umożliwia m.in. uwidocznienie małych naprężeń na głębokości ok. 10 nm od powierzchni płytek Si oraz GaAs.

Prace przedstawione przez włoskich naukowców (P. Franzosi, C. Ferrari i in.) dotyczyły głównie badań warstw cienkich przy zastosowaniu metod rentgenowskich i elektronomikroskopowych. Polskie prace dotyczyły metodyki badań jednorodności rozkładu tlenu w Cz-Si (A. Misiuk i współpracownicy, ITE, Warszawa) oraz charakteryzacji defektów przy zastosowaniu techniki komputerowej analizy obrazów (M. Adamiec, K. Kucharski, ITE), a także rentgenowskiej metody (przy wykorzystaniu słabych/pseudozabronionych refleksów) do badań zawartości Al w cienkich warstwach (Ga,Al)As (J. Bąk-Misiuk i współpracownicy, IF PAN).

W trakcie konferencji zorganizowano panelową dyskusję na temat sytuacji nauki i przemysłu elektronicznego w krajach postkomunistycznych. W warunkach ostrej konkurencji, przy zniesionych barierach importowych dochodzi do postępującego upadku krajowej bazy mikroelektroniki we wszystkich państwach należących uprzednio do RWPG. W związku z trudnościami w przemyśle, instytuty o orientacji przemysłowej tracą rację bytu i przeżywają narastające trudności (szczególnie na Węgrzech i w Polsce; struktura nauki byłego NRD już uległa głębokiej przemianie). Przedstawiciele krajów zachodnich doradzali włączenie się w system projektów typu TEMPUS, EUREKA, PHARE pod warunkiem nawiązania uprzednich kontaktów z ośrodkami zachodnimi.

W ostatnim dniu konferencji organizatorzy umożliwili zwiedzenie Instytutu Elektroniki Fizycznej Słowackiej Akademii Nauk w Piestanach, w tym linii badawczo-produkcyjnej instytutu skoncentrowanej na opracowywaniu czujników obrazowych CCD (na bazie krzemu) oraz układów MESFET na bazie GaAs. Materiały konferencji zostały opublikowane w postaci streszczeń; wybrane prace ukażą się w specjalnym wydaniu *J. Cryst. Growth*.

Jadwiga Bąk-Misiuk

Instytut Fizyki PAN

Warszawa

RECENZJE

M. Herman, A. Kalestyński, L. Widomski: *Podstawy fizyki dla kandydatów na wyższe uczelnie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991, s. 700, Wyd. V zmienione.

Recenzowana książka liczy sobie 700 stron. Dokładna analiza tak dużej książki znacznie przekraczałaby ramy zwykłej recenzji. Mam więc nadzieję, że Czytelnik mi wybaczy, iż przy ocenie książki skupię się tylko na kilku, moim zdaniem najważniejszych, aspektach. W ostatnich latach na kilku największych uczelniach polskich zniesiono egzaminy wstępne przy przyjmowaniu na studia fizyczne. Wszystko wskazuje na to, że akcja ta zostanie rozszerzona i wcześniej lub później obejmie wszystkie uczelnie wyższe w Polsce. Pojawia się więc problem celowości wydawania książek przeznaczonych dla dość szybko zanikającego grona odbiorców. Gdyby książkę rozpatrywać zgodnie z tytułem tylko jako pomoc dla kandydatów na wyższe uczelnie, to odpowiedź byłaby jasna i prosta i nie podjąłbym się pisania recenzji. Wydaje mi się jednak, że mimo niezbyt fortunnego tytułu nawiązującego do historii egzaminacyjnej z lat ubiegłych, gdy wszystkie publikacje mniej lub bardziej odnoszące się do egzaminów wstępnych szły jak woda, książkę mogą zechcieć kupić nie tylko osoby bezpośrednio zainteresowane egzaminami wstępnymi przypuszczając, że jest to podręcznik fizyki na poziomie szkoły średniej. Warto więc zastanowić się, czy książka może takie oczekiwania spełnić.

Warto tu zwrócić uwagę na ogólną sytuację w naszym szkolnictwie, a zwłaszcza na sytuację w szkolnictwie średnim. Z powodu ogromnych trudności finansowych doszło do znacznej redukcji programów szkolnych, w tym programów fizyki. Co więcej, proces redukcji programów w znacznej części pozostawiono samym szkołom lub nawet nauczycielom. Praktycznie zamarała działalność kółek fizycznych i innych form pracy pozalekcyjnej (z wyjątkiem Olimpiady Fizycznej, która wprawdzie jeszcze żyje, ale nie wiadomo, czy będzie miała za co żyć za parę miesięcy). Tak ciężkiej sytuacji nauczanie fizyki jeszcze chyba nigdy wcześniej nie przeżywało. Nawet tuż po wojnie. Przedłużanie się lub, co gorsze, utrwalenie się wymienionych zjawisk może doprowadzić do załamania się nauczania fizyki w naszym kraju i do obniżenia się poziomu znajomości tego działu wiedzy ludzkiej do poziomu takiego jak w krajach trzeciego świata lub jeszcze niższego. Wydaje się, że wiele spraw nie uległo jeszcze całkowitemu zawaleniu się bądź wskutek pewnej bezwładności zachodzących procesów, bądź dzięki entuzjazmowi i poświęceniu niektórych ludzi, którym sprawy fizyki, jej nauczania i rozwoju, nie są obojętne. Zapewne dzięki temu niektórzy wydawcy publikują jeszcze książki i czasopisma z myślą o uczniach zainteresowanych fizyką i ich nauczycielach. Z ekonomicznego punktu widzenia jest to pewnie szaleństwo. Teraz najlepiej jest przecież publikować kryminały, wspominki z okresu komunizmu czy stalinizmu, książki kombatanckie z okresu stanu wojennego, horoskopy, przepisy kulinarne i inne podobne pozycje odpowiadające "zapotrzebowaniu społecznemu". To, że nie pomagają one w budowaniu bardziej oświeconego społeczeństwa, dla zainteresowanych wysokim zyskiem nie ma najmniejszego znaczenia. Pewnie za parę lat sytuacja poprawi się. Na razie jednak jest marnie i należy tylko cieszyć się, że Państwowe Wydawnictwo Naukowe jeszcze istnieje i działa ku pożytkowi naszej nauki, a w tym i fizyki. No, ale wróćmy do omawianej książki. Otóż pierwszą rzeczą, która odróżnia ją od innych książek jest część poświęcona technice dawania egzaminu konkursowego, samemu procesowi uczenia się, wielkościom fizycznym i ich jednostkom oraz modelom fizycznym. Wprawdzie nie ma tutaj nic odkrywczego, ale wydaje się, że parę uwag na powyższe tematy rzeczywiście może się przydać. Część taka w książce przeznaczonej dla uczniów niewątpliwie jest bardzo pożądana, chociaż wydaje mi się, że zagadnienie zostało potraktowane zbyt płytko. Oto trzy przykłady. Pierwszy z nich dotyczy układów jednostek. Otóż przy określaniu układu jednostek nie położono dostatecznego nacisku na rolę związków definicyjnych. Do określenia układu jednostek nie wystarczy przecież wybrać takie czy inne wielkości podstawowe i ich

układu jednostek nie położono dostatecznego nacisku na rolę związków definicyjnych. Do określenia układu jednostek nie wystarczy przecież wybrać takie czy inne wielkości podstawowe i ich jednostki oraz przyjąć odpowiednie założenia dotyczące niektórych stałych fizycznych. To jeszcze nie wszystko. Trzeba jeszcze ustalić zbiór wzorów, według których będzie się określać inne wielkości. Ta sama wielkość może wiązać się z innymi wielkościami za pomocą różnych zależności. Przy ustalaniu układu jednostek należy zdecydować się, które z tych zależności będą używane do definiowania wielkości nie obranych jako podstawowe. W mechanice jest to bardzo proste, ale już w elektrodynamice nie, czego przykładami są układy CGS es i CGS em. Poza tym, nic nie wspomniano o tzw. racjonalizowaniu wzorów, czyli o wprowadzaniu czynnika zawierającego π do wzorów odnoszących się do zagadnień o symetrii walcowej lub kulistej. Zagadnienie to wiąże się w oczywisty sposób ze związkami definicyjnymi. Drugi przykład dotyczy wymiaru wielkości fizycznych. Podano pewne informacje, ale znów niepełne, gdyż na ich podstawie nie można rozstrzygnąć, jaki jest wymiar radiana, steradiana, a także wstydliwie pominiętego mola. Ostatni przykład dotyczy paragrafu o wielkościach skalarnych i wektorowych. Autorzy nie rozróżniają wektorów swobodnych i wektorów związanych (mających punkt zaczepienia). W rezultacie część podawanych informacji jest niejasna, a nawet nieprawdziwa. Ogólnie biorąc, mam wrażenie, że część początkowa książki była pisana w pośpiechu. Wskazują na to wymienione przykłady, które z pewnością nie są wynikiem niewiedzy autorów. Sądzę, że w przyszłości wymienione, a także inne, tutaj nie wyliczone, braki bez trudu można by wyeliminować, gdyby zaszła potrzeba wznowienia książki. Jeżeli chodzi o zasadniczą część książki, to starałem się przeanalizować sposób wprowadzania poszczególnych pojęć, sposób przedstawiania materiału, a szczególnie to, czy Autorom przyświeca jakaś myśl przewodnia, oraz sposób egzekwowania zdobytej wiedzy, czyli zakres i treść zadań. Dodatkowo sprawdziłem, w jakim stopniu zakres książki odpowiada programowi nauczania fizyki w liceach bądź klasach zwanych dawniej, choć jeszcze nie tak dawno, matematyczno-fizycznymi. Uznałem to za ważne, gdyż, niezależnie od wszelkich cięć programowych na egzaminach wstępnych (tam, gdzie one jeszcze istnieją) wymaga się całościowego spojrzenia na fizykę w zakresie szkoły średniej i często za miarę tego przyjmuje się zakres materiału z dawnych liceów matematyczno-fizycznych.

Ogólnie biorąc, odnoszę wrażenie, że książka stanowi pewną kompilację wiadomości szkolnych nieco tylko przetworzoną, a w każdym bądź razie nie na tyle przetworzoną, by uznać, że do nauczania fizyki wnosi coś nowego. Jest dużo różnego rodzaju podręczników fizyki na poziomie szkoły średniej i na ich tle recenzowana książka (jeżeli nie brać pod uwagę pewnych pożytecznych wiadomości o samym procesie uczenia się a także dość dobrze przyjmowanego przez uczniów zwyczaju brania ważniejszych wzorów w ramki) nie wyróżnia się. Nawet powiedziałbym mocniej: sporo spraw jest przedstawionych słabiej niż gdzie indziej.

Oto kilka przykładów. Przykład pierwszy (str 469 i 470): "... doprowadził do podania przez Heisenberga tzw. związków nieokreśloności (nieoznaczoności) $\Delta p \Delta x \geq h$, $\Delta E \Delta t \geq h$. Stwierdzają one, że im dokładniej ustalimy pęd cząstki, tym mniej dokładnie znamy jej położenie i odwrotnie, im dokładniej znamy położenie cząstki tym mniej dokładnie znamy jej pęd. To samo dotyczy związku między energią a czasem."

Już część dotycząca pędu i położenia budzi pewne zastrzeżenia, ale niech tam. Znacznie poważniejsza sprawa jest z energią i czasem. Cóż to znaczy zacytowane zdanie: "To samo dotyczy związku między energią i czasem"? "To samo" zwykle oznacza, że można niektóre słowa pozostępować wskazanymi odpowiednikami i otrzyma się coś prawdziwego. Postępując tak, czyli zastępując "pęd" przez "energię" a "położenie" przez "czas", dostajemy: *Stwierdzają one, że im dokładniej ustalimy energię cząstki, tym mniej dokładnie znamy jej czas i odwrotnie, im dokładniej znamy czas cząstki tym mniej dokładnie znamy jej energię.* Widać, że nie ma to żadnego sensu. Zasada nieoznaczoności dla energii i czasu mimo formalnie podobnego zapisu ma istotnie różną treść i wynika z zupełnie innych własności energii i czasu niż własności pędu i położenia. Wystarczy tu zwrócić uwagę na znany fakt, że w mechanice falowej nie ma czegoś takiego, jak operator czasu, chociaż jest w niej operator położenia. Myślę, że zasada nieoznaczoności dla energii i czasu powinna być szczegółowo omówiona, bo w postaci takiej, jak ją przedstawiono, budzi ona tylko nieporozumienia.

Przykład drugi (str. 373, rys. 12.2.1): Rysunki takie, jak ten, znajdują się w różnych książkach i są dość chętnie powielane. Tymczasem wprowadzają one tylko zamęt i niczego nie wy-

jaśniają. Jeżeli się je zamieszcza, to należałoby uwypuklić ich symboliczne znaczenie. Tymczasem Autorzy zdają się traktować omawiany rysunek realistycznie, o czym świadczy następujące zdanie w podpisie pod rysunkiem: "Rysunek przedstawia chwilowy obraz pola". Jeżeli tak, to zgodnie z rysunkiem należałoby przyjąć, że maksima pola elektrycznego w fali elektromagnetycznej wypadają między maksimami pola magnetycznego i odwrotnie, co przecież nie jest prawdą (następny rysunek przedstawia rzecz poprawnie).

Przykład trzeci (str. 94): Przy formułowaniu twierdzenia Steinera pominięto istotny element, a mianowicie, nie wspomniano, że rozważane dwie osie są równoległe.

Podaję tu typowe przykłady o celowo dobranej różnej wadze. Czytelnik sam bez trudu znajdzie ich więcej. Wydaje mi się, że Autorzy nad niektórymi sprawami niezbyt się zastanawiali i przedstawili je w obiegowej, dalekiej od poprawności wersji. Oczywiście nie dotyczy to wszystkich części książki. Niektóre problemy zostały przedstawione szerzej i głębiej niż w książkach szkolnych. Na przykład, bardzo mi się podoba wprowadzenie gęstości prądu i podkreślenie, że natężenie prądu jest skalarem (ileż to razy w różnych książkach można zauważyć i na oznaczenie natężenia prądu!). Znacznie bardziej rozbudowana niż w podręcznikach szkolnych jest część poświęcona budowie ciał stałych, co też jest warte pochwały. Niemniej jednak w całej książce jest tak dużo niedoróbek różnego charakteru, że pożytki z książki jako całości stają pod znakiem zapytania. Aby z książki był pożytek, trzeba mieć do niej zaufanie. Niestety, liczne niedoróbki powodują, że co rusz to trzeba się zastanawiać, czy w tekście książki nie ma czegoś nieścisłego, czy też wręcz niepoprawnego.

Jeżeli chodzi o myśli przewodnie, to muszę przyznać, że mam tu mieszane odczucia. Przede wszystkim fizyka, jaka mi się jawi z książki, wydaje mi się fizyką zapostulowaną. Związek podstaw fizyki z doświadczeniem nie został dostatecznie silnie wyeksponowany. Oczywiście są pewne nawiązania do doświadczenia, ale dotyczy to tylko niewielkiej części materiału i w zasadzie odnosi się głównie do zastosowań fizyki. Natomiast problem, skąd się wzięły takie czy inne prawa i jakie jest ich uzasadnienie doświadczalne, jest niezbyt jasny. Trzeba po prostu wierzyć, że kiedyś jakimś tam sposobem mądrzy ludzie przyjęli pewne zasady i kropka. Może i tak trzeba przedstawiać fizykę osobom, których jedynym celem jest zdanie egzaminu, ale z pewnością tak być nie powinno, jeżeli chciałoby się traktować książkę jako podręcznik. Od książki przeznaczonej dla uczniów mających za sobą cały kurs fizyki oczekiwałbym głębszych syntez, pozwalających na lepsze zrozumienie wielu zagadnień. Ponadto oczekiwałbym, że niektóre pojęcia trudne do poprawnego a zarazem przystępnego zdefiniowania przy pierwszym ich wprowadzaniu, zostaną w książce określone dokładniej i jaśniej niż w szkole. Niestety, w tym zakresie Autorzy nie wykorzystali wszystkich możliwości. Poza tym często pojedyncze fakty podawane w szkole nadal pozostają pojedynczymi faktami, a pojęcia budzące wątpliwości nadal budzą wątpliwości. Wskutek tego książka w wielu miejscach ma charakter bryku a nie podręcznika. Zilustruję te zarzuty przykładami.

Typowo brykowy charakter książki widać szczególnie dobrze w rozdz. 7, poświęconym elementom mechaniki relatywistycznej. Autorzy nie bardzo się tutaj przyłożyli do wyjaśnienia podstaw relatywistyki. Zacytowanie Einsteina zamiast własnego, odpowiadającego potrzebom uczniów, przedstawienia podstaw sprawia wrażenie chowania się za tarczę autorytetu znakomitego fizyka, tym bardziej, że wyróżnione kursywą zdanie poprzedzające cytaty, a niezbyt pasujące do reszty tekstu, głoszące, że "Istotą teorii względności jest stwierdzenie względności ruchu" jest dalekie od prawdy. Samo stwierdzenie względności ruchu nie jest istotą teorii względności i nie to odkrył Einstein. O tej właściwości ruchu wiedziano przecież na długo przed Einsteinem. Dalsze części tego rozdziału też zostały potraktowane po macoszu.

Wrażenie o brykowym charakterze opracowania odnoszę również w przypadku termodynamiki. Termodynamika należy do najtrudniejszych działów fizyki wykładanych w szkole średniej. Chociażby z tego powodu powinna ona być potraktowana z większą troską o zrozumiałość przez czytelnika. Należałoby, moim zdaniem, wiele spraw omówić dokładnie, a nie tylko wyliczyć to i owo (np. brak mi w książce wiadomości o zerowej zasadzie termodynamiki).

Niektóre części książki są napisane przejrzyście, natomiast niektóre partie materiału są przedstawione zbyt sucho, niemal jak program komputerowy. Użyteczność książki staje się wtedy iluzoryczna, nawet jeżeli gdzieś nie ma błędów.

Jeżeli chodzi o zgodność zakresu materiału przedstawionego w książce z zakresem materiału dla byłych klas matematyczno-fizycznych, to jest ona dość dobra. Znalazłem jednak pewne odstępstwa. Najważniejszym z nich jest pominięcie przez Autorów wiadomości o błędach pomiarowych, ich przyczynach i ocenie. Wiem, że niedocenywanie tych problemów jest dość powszechne na poziomie szkoły średniej. Niemniej jednak, np. za obliczenia z dokładnością taką, ile cyfr można z kalkulatora "wydusić" niezależnie od tego z jaką dokładnością podane są dane, na niejednym egzaminie można sporo stracić.

Jeżeli chodzi o zadania zamieszczone w recenzowanej książce, to nie są one najlepszego gatunku. Stanowią często ciało obce w książce. Ich "współpraca" z tekstem wydaje mi się niedostateczna. Co więcej, duża ich część jest sformułowana niedbale. Jest to tak łatwo zauważyć, że nie będę podawał wielu przykładów. Bardzo często pominięto założenia niezbędne do rozwiązania. Z reguły w zadaniach brak założeń o jednorodności takiego czy innego obiektu, jak np. krążka, walca, pręta itp. (przykład: zad. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5), o punktowości obiektu (np. rzucanego ciała), o zaniedbaniu energii ruchu obrotowego (np. pocisku artyleryjskiego z zad. 4.10 - każdy, kto zetknął się z bronią, doskonale wie, że współczesne działa zawsze nadają pociskowi dodatkowy ruch obrotowy). Niedoróbki takie są niemal regułą. Można, oczywiście, zawsze powiedzieć, że uczeń powinien sobie sam założenia dorobić. Jednak nie zawsze jest to takie jednoznaczne. Przykładem takiego zadania jest zad. 5.7 dotyczące naczynia, z którego wylewa się ciecz. Odpowiedź, czego Autorzy nie zauważyli, zależy od tzw. współczynnika wypływu, który w przypadku niedużego otworu w płaskiej ściance, położonego daleko od dna oraz daleko od powierzchni cieczy, wynosi bodajże 0,62. Skąd uczeń ma to wiedzieć? Zadanie jest zresztą źle rozwiązane. Zadań, do których trzeba dorabiać założenia, jest pełno w rozmaitych zbiorach takich, jak zbiór zadań Zillingera. Zadania dla kandydatów na studia powinny być dobrane znacznie bardziej starannie i znacznie lepiej sformułowane.

Każdą recenzję można kontynuować bez końca. Trzeba jednak gdzieś rozważania przerwać. Wydaje mi się, że nadeszła już na to właściwa pora. Sądzę, że na podstawie tego, co zostało napisane wyżej, Czytelnik ma już niezbędne dane do wyrobienia sobie własnego zdania i na temat recenzowanej książki i na temat niniejszej recenzji. Tym, którzy jeszcze nie wiedzą, czy książkę kupić, powiem, że w pierwszym odruchu książkę pewnie bym kupił, ale po dokładniejszym przejrzeniu żałowałbym tego.

Waldemar Gorzkowski

Instytut Fizyki PAN
Warszawa

Kazimierz Gniadek: **Optyczne przetwarzanie informacji**,
Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992, s. 435, wyd. I, cena zł
70.000,-.

Optyczne przetwarzanie informacji Kazimierza Gniadka jest świetną monografią poświęconą jednej z najważniejszych dziedzin optyki stosowanej. Poprzednią, wydaną przez PWN książką polskiego autora, która również była poświęcona najnowszej technice optycznej był doskonały podręcznik *Podstawy fizyczne optyki scalonej* Jana Petykiewicza. Petykiewicz i Gniadek są kontynuatorami najlepszych tradycji polskiej optyki. Warto przypomnieć, że obaj są uczniami Wojciecha Rubinowicza.

Książka Gniadka jest rezultatem jego wieloletniej pracy dydaktycznej na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Składa się na nią 14 rozdziałów niezwykle trafnie dobranych zarówno pod względem tematyki jak i zakresu materiału. Rozwijane od 30 lat optyczne przetwarzanie informacji polega na traktowaniu

przekształceń fal świetlnych w układach optycznych w sposób analogiczny do przetwarzania sygnałów elektrycznych w telekomunikacji. Dlatego też książka zaczyna się od rozdziałów poświęconych dyskretnej i ciągłej reprezentacji sygnałów oraz układom liniowym. W porównaniu z innymi, zbliżonymi tematycznie książkami autorów zagranicznych obecne rozdziały poszerzone są o użyteczne w optyce przekształcenie Hilberta, stosowane w uwidacznianiu (wizualizacji) obiektów fazowych, i przekształcenie Mellina, używane w rozpoznawaniu obrazów. Dwa następne rozdziały poświęcone są monochromatycznym falom świetlnym i podstawom skalarnej teorii dyfrakcji. Celem Autora jest wyprowadzenie niezbędnych w dalszej części książki wzorów na dyfrakcję Fresnela i Fraunhofera w przybliżeniu przyosiowym. Szósty rozdział opisuje zdolność soczewek i zwierciadeł sferycznych do wykonania dwuwymiarowego przekształcenia Fouriera amplitudy zespolonej fali świetlnej. Ten fakt jest podstawą optyki fourierowskiej, która daje podstawy fizyczne optycznym metodom przetwarzania obrazów. Następny rozdział, który omawia zdolności filtrujące układu optycznego, bezpośrednio wywodzi się z teorii sygnałów elektrycznych i telekomunikacji. Obrazujący układ optyczny jest przedstawiony jako układ liniowy, który na sygnał wejściowy reaguje odpowiedzią impulsową. Działanie takiego układu opisuje najlepiej funkcja przenoszenia, której kształt zależy od spójności użytego światła. Rozdział ósmy zawiera niezbędne w tego typu książce minimum informacji o holografii optycznej. Kolejny rozdział to dosyć kompletny przegląd materiałów do zapisu natężenia pól świetlnych i modulacji fal świetlnych. Autor przedstawia zarówno klasyczne halogenkowe materiały fotograficzne jak i ostatnio opracowywane, również z myślą o optycznym przetwarzaniu informacji, materiały fotorefrakcyjne. Omawia również modulację przestrzenną fal świetlnych w ciekłych kryształach i w modulatorach akustooptycznych.

Ostatnie cztery rozdziały książki są poświęcone najistotniejszemu problemom optycznego przetwarzania informacji. Rozdział dziesiąty i jedenasty traktują o przetwarzaniu obrazów w układach z oświetleniem spójnym. Autor omawia procesor typu 4f i jego zastosowanie do filtracji częstości przestrzennych i do optycznego wykonywania działań matematycznych takich jak mnożenie, dodawanie i odejmowanie, różniczkowanie i całkowanie oraz splot i korelacja. Dalej następuje dokładny opis różnych metod rozpoznawania obrazów za pomocą filtrów dopasowanych i tworzonych komputerowo hologramów Fouriera oraz filtrów fazowych. W rozdz. jedenastym Autor zajmuje się nowoczesnymi problemami związanymi z budową komputerów optycznych. Omawia zastosowanie rezonatora współogniskowego (konfokalnego) ze sprzężeniem zwrotnym do optycznego rozwiązywania równań różniczkowych i całkowych. Mimo popularności badań nad komputerami optycznymi niewiele jest książek na świecie, w których można znaleźć tak jasny opis zastosowania układów współogniskowych ze sprzężeniem zwrotnym do rozwiązywania cząstkowych równań różniczkowych i całkowych równań Fredholma czy Volterry. W dwunastym rozdziale Autor przedstawia szereg metod przetwarzania obrazów w świetle niespójnym. Omawia sposoby syntezy bipolarnych odpowiedzi impulsowych w układach niekoherentnych, gdzie obraz opisuje rzeczywista i nieujemna wartość natężenia światła. Korelatorom cieniowym, które umożliwiają wykonanie splotu i korelacji w białym świetle poświęca znacznie więcej miejsca niż inni autorzy podobnych monografii. Świadczy to o wielkiej intuicji Autora, bo korelatory cieniowo-rzutowe stanowią podstawowe narzędzie w rozwijanym ostatnio nieliniowym przetwarzaniu obrazów za pomocą operacji morfologicznych i filtrów porządkujących. Trzynasty rozdział jest poświęcony przestrzennie zmienniczemu przetwarzaniu obrazów, które w moim przekonaniu jest dziedziną daleką od wyczerpania wszystkich możliwości. I na koniec, czternasty roz-

dział przedstawia nieliniowe przetwarzanie obrazów. Omawiane techniki przetwarzania półtonowego i pseudokolorowania zajęły w naszym życiu trwałe miejsce. Zdjęcia w codziennych gazetach drukuje się wykorzystując półtonowe maski. Natomiast użytkownicy komputerów przyzwyczaili się do pseudokolorowania obrazów ze skalą szarości ponieważ oko ludzkie jest bardziej wrażliwe na zmianę barwy niż stopnia szarości.

Ogromną zaletą książki Gniadka jest to, że obejmuje ona prawie wszystkie ważne dziedziny optycznego przetwarzania informacji. Dlatego uważam, że przez wiele lat będzie służyła jako podstawa wykładu politechnicznego i uniwersyteckiego z optyki stosowanej.

Książka jest wydana bardzo starannie, ma bardzo czytelne i świetnie dobrane ilustracje. Zauważyłem kilka drobnych błędów. Rys.2.17 — dwie części rysunku powinny występować w zmienionej kolejności, tzn. najpierw $f(x)$ a potem spłot $f(x)$ z funkcją grzebieniową. Na Rys.12.14 nie zaznaczono odległości i_2 od soczewki do płaszczyzny pozornego obrazowania przezrocza $s(x', y')$ leżącej po lewej stronie rysunku i wyznaczonej przez przecięcie promieni zaznaczonych liniami przerywanymi. Poniżej Rys.12.14 we wzorze (12.68) pomyłone są współczynniki przeskalowania przezroczy f oraz s . Dla przezrocza f skala zmienia się o czynnik m_1 , więc w mianowniku drugiego argumentu powinno być m_1 a nie m_2 . Natomiast przezrocze s jest przeskalowane o czynnik m_2 , zatem w mianowniku pierwszego argumentu powinno być m_2 a nie m_1 . Ilość drobnych błędów drukarskich jest minimalna. Jediną wadą książki Gniadka jest jej wysoka cena, sądzę jednak że jest to doskonała lokata 70 tysięcy złotych.

Tomasz Szoplik

Instytut Geofizyki UW
Warszawa

K R O N I K A

PTF

Zmieniamy statut

Od paru kadencji kolejne Zarządy Główne PTF rozważały potrzebę wprowadzenia zmian w statucie naszego Towarzystwa. Celem tych zmian byłoby przystosowanie statutu do nowej ustawy o stowarzyszeniach (z 1989 r.) i nowej sytuacji ustrojowej i ekonomicznej, tak aby usprawnić działalność Towarzystwa w nowych warunkach, a także pozbyć się ze statutu sformułowań będących zbędnym balastem przeszłości.

Prace nad zmianami w statucie były dotychczas wstrzymywane, gdyż słusznie uważano, że nowe stosunki ustrojowe i ekonomiczne powinny się ustabilizować i dopiero wtedy będzie można wypracować nowe zasady i możliwości działania Towarzystwa. Miano także nadzieję, że nastąpi nowelizacja ustawy o stowarzyszeniach, która w szczególności uwzględniałaby odrębny charakter towarzystw naukowych. Wprawdzie oba te warunki nie zostały spełnione, ale w chwili obecnej wydaje się, że ani stabilizacja ani nowelizacja nie nastąpią szybko.

Jakie są zasadnicze propozycje zmian w statucie?

1) Działanie PTF w nowej sytuacji wymaga od Zarządu Głównego pełnienia nowych zadań. Należą do nich:

a) założenie banku danych o członkach, środowisku naukowym i instytucjach naukowych w dziedzinie fizyki;

b) samodzielna działalność wydawnicza i informacyjna: wydawanie biuletynu informacyjnego dla członków, zdobywanie funduszy na dotowanie czasopism wydawanych z udziałem PTF i pomoc meryto-

ryczna w pracy redakcji tych czasopism;
c) uzyskanie funduszy (a nie tylko zarządzanie nimi) na działalność statutową;
d) koordynacja pracy oddziałów i sekcji.

Wydaje się, że wypełniania tych zadań nie można zapewnić tylko działalnością społeczną członków Zarządu. Zarząd potrzebuje menadżera (dyrektora) ze statutowymi uprawnieniami decyzyjnymi, który kierowałby całą działalnością organizacyjną, administracyjną i finansową, byłby powoływany i kontrolowany przez Zarząd Główny i miałby do swojej dyspozycji biuro.

2) Towarzystwo powinno zabiegać o członków wspierających. Członkowie wspierający (którymi mogą być instytucje popierające cele Towarzystwa) powinni mieć wpływ na działalność PTF i mieć swoje przedstawicielstwo w Zarządzie Głównym.

3) Podział organizacyjny naszego Towarzystwa jest prawie wyłącznie terytorialny - obecnie istnieje tylko jedna sekcja branżowa (Sekcja Optyki). Obecny statut traktuje sekcje na równi z komisjami. Wydaje się, że sekcjom należy nadać rangę podobną do rangi oddziałów i starać się o powiększenie ich liczby. Bardzo pożądane byłoby utworzenie sekcji nauczycielskiej.

4) Niektóre grupy zawodowe mają swoje specyficzne problemy i starają się tworzyć małe towarzystwa branżowe. Mogłyby one wchodzić do naszego Towarzystwa jako sekcje. Dobrze byłoby wprowadzić do statutu możliwość afiliowania towarzystw specjalistycznych przy PTF.

Komisja Legislacyjna Zarządu Głównego PTF, której przewodniczę, przystępuje do opracowania projektu nowego statutu. Projekt ten zostanie następnie poddany pod dyskusję członków wszystkich oddziałów. Komisja z radością powitałaby już teraz

wszelkie propozycje dotyczące zmian w statucie - można je nadsyłać albo bezpośrednio do Zarządu Głównego albo za pośrednictwem swoich oddziałów. Tekst obecnie obowiązującego statutu jest do wglądu w zarządach wszystkich oddziałów PTF.

Stanisław G. Rohoziński

Oddział Wrocławski PTF

Dnia 23 kwietnia 1992 odbyło się Walne Zebranie Oddziału Wrocławskiego PTF. Ustępujący Zarząd, któremu przewodniczyła Maria Suszyńska, przedstawił sprawozdanie z dwuletniej działalności.

Odbyło się 16 posiedzeń naukowych poświęconych zagadnieniom ściśle fizycznym i z pogranicza innych nauk. Wystąpiła tylko jedna osoba spoza Wrocławia: prof. P. Stichel (Bielefeld, RFN) z wykładem "Efekt cieplarniany a zagadnienie entropii". Spośród miejscowych referentów najwięcej słuchaczy przyciągnął ks. biskup dr Adam Dyczkowski mówiący na temat filozoficznej koncepcji przestrzeni. Liczba słuchaczy na spotkaniach naukowych wahała się od 7 do 58 osób. Na Zjeździe Fizyków w Poznaniu przedstawiciele naszego Oddziału przedstawili 5 plakatów.

W tej kadencji Zarząd nie podjął działalności popularyzatorskiej z fizyki wśród uczniów szkół średnich. Jedną z przyczyn było to, że akcje takie były prowadzone samodzielnie przez Uniwersytet i Politechnikę Wrocławską.

Od lutego 1991 ukazuje się co miesiąc czterostronicowy powielany *Wrocławski Informator Fizyków (WIF)*, początkowo w nakładzie 600 egz., obecnie 450. Otrzymują go bezpłatnie wszyscy pracownicy naukowcy Instytutów Fizyki Uniwersytetu i Politechniki oraz Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, a ponadto wszyscy członkowie Oddziału. W piśmie tym ogłoszono ankietę na temat obecności PTF we wrocławskim śro-

dowisku fizyków i oczekiwań tego środowiska wobec PTF. Wynik ankiety był raczej mierny [patrz notatka w *Postęпах Fizyki* zes.5 (1991)]. Informator zamieszcza krótkie notatki o wydarzeniach środowiska, pobieżne omówienia działalności poszczególnych grup naukowych, ale największą jego wartością jest wykaz planowanych na najbliższy miesiąc referatów naukowych pt. "Kalendarz fizyka — seminaaria". Pozwala on dowiedzieć się, że poza własnym instytutem odbędą się ciekawe referaty, i zdarzało się już, że czekając na te informacje czytelnicy upominali się o nowy numer *WIF*.

Na Walnym Zebraniu wybrano nowy Zarząd w składzie: przewodniczący — Zygmunt Galasiewicz, z-ca przewodniczącego — Lucjan Jacak, sekretarz — Zygmunt Petru, skarbnik — Wojciech Cegła, członkowie — Bernard Jancewicz, Stefan Mróz, Władysław Nawrocka, Ryszard Poprawski i Maria Suszyńska. Nowy Zarząd postanowił kontynuować działalność rozwiniętą przez poprzedników, a nadto podjąć na nowo popularyzację fizyki wśród nauczycieli i młodzieży szkół średnich i podstawowych.

Bernard Jancewicz

Nominacje profesorskie

W dniu 18 lutego 1992 tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej otrzymali: Zygmunt Henkie (INTiBS, Wrocław), Andrzej Maria Murasik (IEA, Świerk), Andrzej Turowski (IPJ, Świerk).

Biul. KBN, 2(4), 1992

Nowi członkowie PAN

W trakcie XVII sesji Zgromadzenia Ogólnego Polskiej Akademii Nauk na członków rzeczywistych PAN zostali wybrani spośród fizyków i astronomów dotychczasowi członkowie korespondenci: Jerzy Kołodziejczak, Bohdan Paczyński, Andrzej K. Wróblewski i Kacper Zalewski.

Na członków korespondentów w Wydziale III zostali wybrani: Stefan Pokorski, Henryk Szymczak i Stanisław Woronowicz, a w Wydziale VII — Jerzy Dera.

Stefan P o k o r s k i (ur. 1942) studia fizyki odbywał na Uniwersytecie Warszawskim, obecnie jest profesorem tego Uniwersytetu. Zajmuje się fenomenologią i teorią cząstek elementarnych. Stworzył szkołę naukową podstaw teoretycznych fizyki oddziaływań silnych i elektroslabych. Jest autorem monografii *Gauge field theories* (1987). Był współtwórcą dorocznych (od 1977) międzynarodowych sympozjów w Kazimierzu n. Wisłą poświęconych fizyce wysokich energii. Laureat Nagrody Marii Skłodowskiej-Curie (1985).

Henryk S z y m c z a k (ur. 1937), studiował fizykę na Uniwersytecie Łomnosowa w Moskwie, jest profesorem w Instytucie Fizyki PAN. Zajmuje się badaniami teoretycznymi i doświadczalnymi zjawisk magnetycznych w ciele stałym. Z osiągnięć ostatnich lat można wymienić odkrycia: magnetostrykcji powierzchniowej w cienkich warstwach i supersieciach magnetycznych, ekscytonów magnetycznych w granatach antyferromagnetycznych i efektu wzmocnienia prądów krytycznych w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych pod wpływem promieniowania jonizującego. Jest przedstawicielem Polski w Międzynarodowym Komitecie Doradczym Międzynarodowej Konferencji Magnetyzmu. Uprawia także działalność dydaktyczną — poza wykładami dla doktorantów był przez kilka lat przewodniczącym Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej, współpracuje też z Krajowym Funduszem na Rzecz Dzieci patronując wykładom i zajęciom laboratoryjnym dla wybitnie uzdolnionych uczniów, organizowanym w Instytucie Fizyki PAN.

Lech W o r o n o w i c z (ur. 1941) fizykę i matematykę studiował na Uniwersytecie Warszawskim i jest profesorem tego Uniwersytetu. Jest specjalistą w dziedzinie metod matematycznych fizyki teoretycz-

nej. Na szczególną uwagę zasługuje jego wkład do teorii C^* -algebry i ich zastosowań w fizyce oraz teorii grup kwantowych. Laureat Nagrody Fundacji Alfreda Jurzykowskiego (1988).

Jerzy D e r a studiował fizykę na Uniwersytecie Adama Mickiewicza w Poznaniu. Jest profesorem w Instytucie Oceanografii PAN (Sopot). Prowadzi badania wpływu energii słonecznej do wód morskich, działania podwodnego pola światła na fotosyntezę i funkcjonowanie ekosystemów morskich oraz kontroli środowiska morskiego metodami optycznymi. W szczególności bada absorpcyjno-rozpraszające właściwości wód Bałtyku, ich zmiany przestrzenne i czasowe (odkrycie krótkookresowych fluktuacji podwodnego pola światła). Jest autorem monografii *Fizyka morza* (1983), która ukazała się także w wersji anglojęzycznej *Marine physics* (1991). Jest członkiem międzynarodowego komitetu SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research). Od wielu lat jest redaktorem naczelnym czasopisma *Oceanologia*.

B. W.

Rada ds. Nauki

Przewodniczącym Rady ds. Nauki przy prezydencie Rzeczypospolitej Polskiej został wybrany fizyk - prof. Andrzej K. Wróblewski, rektor Uniwersytetu Warszawskiego.

Życie *Warszawy*
21.7.1992

PAN członkiem ESF

W listopadzie 1991 Zgromadzenie Ogólne Europejskiej Fundacji Naukowej (European Science Foundation - ESF) przyjęło na członka, po półtorarocznym okresie przygotowawczym, Polską Akademię Nauk.

Fundacja ta jest międzynarodowym, porządowym stowarzyszeniem organizacji powołanych do popierania badań naukowych. Siedzibą ESF jest Strasburg, a członkami 59 organizacji powołanych do popierania badań naukowych (akademie nauk,

rady badań naukowych, centra badawcze itp.) z 21 krajów europejskich.

Głównym zadaniem ESF jest koordynacja i wspieranie finansowe wspólnych działań uczonych europejskich w dziedzinach, w których współpraca międzynarodowa może okazać się szczególnie korzystna, przy czym ESF działa nie tylko jako koordynator badań lecz również jako promotor konferencji i kursów. Fundacja popiera ruchliwość (mobilność) uczonych jak również powstawanie europejskich wspólnot naukowych w konkretnych dziedzinach, wspiera też współpracę w projektowaniu, ocenie a nawet zarządzaniu wielkimi urządzeniami. Wart uwagi jest fakt, że ESF ma nieliczne i sprawnie działające biuro, dzięki czemu koszty administracyjne są niewielkie.

Najwyższą władzą ESF jest Zgromadzenie Ogólne, zbierające się raz w roku. Uczestniczą w nim przedstawiciele wszystkich organizacji członkowskich. Działalnością bieżącą kieruje Komitet Wykonawczy, w skład którego wchodzi: prezes ESF, dwóch wiceprezesów oraz do 23 członków (po 1 z małych i po 2 z dużych krajów członkowskich), wybieranych na okresy trzyletnie.

Obecnie prezesem ESF jest Umberto Colombo (Włochy), wiceprezesami — Sir William Mitchel (Wielka Brytania) i D.M.X. Donnelly (Irlandia), zaś sekretarzem generalnym jest Michael Posner (Wielka Brytania). Jednym z członków Komitetu Wykonawczego jest Leszek Kuźnicki (sekretarz naukowy PAN).

Współpraca w ramach Fundacji realizowana jest w formie programów naukowych (scientific programmes) oraz sieci współpracujących zespołów (networks). Liczba programów wynosi obecnie 23 (udział ok. 1000 uczonych), liczba sieci — 20 (500 — 600 uczonych).

Nowe propozycje współpracy naukowej są analizowane i oceniane przez Stałe Komitety i zatwierdzane przez Zgromadzenie Ogólne. Sprawy fizyki wchodzi przed wszystkim w zakres działania Europej-

skiej Rady Badań w Naukach Ścisłych i Przyrodniczych, która działa od 1975 r. jako Stały Komitet ESF. Przedstawicielem PAN w tym komitecie jest prof. Ryszard Sosnowski (Warszawa).

Szczególną rolę wśród Stałych Komitetów odgrywa Komitet ds. Sieci Współpracujących Jednostek, gdyż programy badawcze realizowane w jego ramach są całkowicie finansowane przez ESF. Przedmiotem badań objętych siecią mogą być tylko zamierzenia, które mają być rozwiązywane wspólnie przez placówki i uczonych z różnych krajów europejskich, reprezentujących te same lub różne dziedziny (interdyscyplinarność traktowana jest jako zaleta projektu). Zatwierdzone sieci otrzymują dotację ESF (do 700 000 FF) wystarczającą na pokrycie kosztów zarządzania i współpracy, natomiast środków na same badania uczestnicy sieci muszą szukać u innych sponsorów. Nie przewiduje się tworzenia struktur typu administracyjnego. Wszystkie sprawy związane z organizacją i nadzorem muszą uczeni prowadzić we własnym zakresie.

Programy, w odróżnieniu od sieci, są rozpatrywane przez odpowiednie specjalistyczne Stałe Komitety. Często program jest zatwierdzany próbnie na tzw. rok zerowy (bez wsparcia finansowego) i dopiero gdy się sprawdzi, otrzymuje pomoc.

Komitet Konferencji Naukowych (przewodniczący — H.G. Wagner) przyznaje pomoc finansową konferencjom, w toku których mają być przedstawiane niekonwencjonalne idee i nowe podejścia, nawet gdy nie są do końca rozwiązane. Materiałów konferencyjnych nie publikuje się. Oto przykładowo kilka konferencji z fizyki pod egidą ESF w 1992 r.:

- Fundamental Aspects of Surface Science: Crystal Growth and Epitaxy, Davos, 8 — 12 czerwca,
- Nuclear Physics: Prospects of Heavy Ion Inertial Fusion, Aghia Pelaghia (Grecja), 27 września — 1 paźdż.,

- Advanced Quantum Field Theory: Low Dimensional Field Theory, Como, 23 — 27 października.

Nauka i Przyszłość
dod. 1992

B. W.

Międzynarodowe Centrum Fizyki Teoretycznej

Z dniem 1 czerwca 1992 dziekan Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego za jednomyślną zgodą Senatu UW z dnia 20 maja 1992 powołał Międzynarodowe Centrum Fizyki Teoretycznej przy Instytucie Fizyki Teoretycznej UW. Jako główne rodzaje działalności Centrum przewiduje się:

1. Organizowanie podoktorskich staży dla młodych fizyków polskich i zagranicznych, ze szczególnym uwzględnieniem krajów sąsiednich ze wschodu.

2. Organizowanie cykli wykładów prowadzonych przez wybitnych teoretyków, adresowanych do naszych doktorantów i pracowników, a także do stażystów i gości z innych ośrodków.

3. Organizowanie spotkań roboczych, konferencji i szkół specjalistycznych.

4. Wydawanie periodycznych raportów i innych publikacji, a także ścisłą współpracę z innymi ośrodkami tego typu (ICTP w Trieście, Nordita w Kopenhadze, ITP w Santa Barbara).

Centrum ma zamiar prowadzić badania w zakresie wszystkich działów fizyki teoretycznej, a w szczególności w zakresie:

- 1) teorii oddziaływań fundamentalnych,
- 2) teorii materii skondensowanej,
- 3) nieliniowych teorii pola.

Centrum powstało z inicjatywy prof. Stefana Pokorskiego i prof. Jana Kalinowskiego. Pierwszym kierownikiem Centrum jest prof. Jan Kalinowski, a jego zastępcami są prof. Józef Spałek i prof. Antoni Sym. Wcześniej zespół fizyków z IFT UW uzyskał z Komitetu Badań Naukowych grant interdyscyplinarny "Łamanie symetrii w fizyce". Podjęto się także organizacji interdyscyplinarnego seminarium grup

fizyki wysokich energii, teorii pola i fizyki materii skondensowanej, co jest zadaniem niełatwym ze względu na silną specjalizację tych dziedzin. Oczywiście, nadrzędnym celem Centrum jest promocja fizyki polskiej, a także uwypuklenie charakteru interdyscyplinarnego współczesnych badań teoretycznych w zakresie oddziaływań fundamentalnych i materii skondensowanej poprzez np. położenie nacisku na symetrię cechowania w modelach teoriopolowych i ciała stałego.

W chwili obecnej Centrum jest w fazie organizacji; faktyczną działalność rozpocznie po oddaniu do użytku rozbudowanego gmachu Instytutu Fizyki Teoretycznej UW (Hoża 69), co ma nastąpić na początku 1993 r. Wtedy też planujemy powołanie Rady Naukowej złożonej z przedstawicieli Centrum i wszystkich głównych ośrodków fizyki w kraju a także z przedstawicieli niektórych ośrodków zagranicznych.

Jan Kalinowski
Józef Spałek
Antoni Sym

Dyplom dla Brazisa

Dyplom za wybitne zasługi dla kultury polskiej otrzymał z rąk ministra spraw zagranicznych Krzysztofa Skubiszewskiego fizyk działający na Litwie prof. Romuald Brazis.

Brazis jest kierownikiem Laboratorium Zjawisk Plazmowych w Instytucie Fizyki Półprzewodników Akademii Nauk Litwy w Wilnie. Jest on jednym z założycieli i prezesem Stowarzyszenia Naukowców Polskich w Republice Litewskiej, a również współtwórcą i rektorem Uniwersytetu Polskiego w Wilnie (patrz Kronika 2/92). Przyczynił się znacząco do integracji polskiego środowiska naukowego i kulturalnego w Republice Litewskiej. Ma częste kontakty z Polską. Kilku jego uczniów odbywało i odbywa staże naukowe w naszych instytucjach.

Życie *Warszawy*
2.6.1992

B. W.

Nagroda ICO

Nagrodę Międzynarodowej Komisji Optyki (International Commission for Optics — ICO) za rok 1991 otrzymał David A.B. Miller, brytyjski naukowiec pracujący obecnie w USA. Nagrodę ICO przyznawaną dorocznie osobom, które nie ukończyły 40 roku życia, Miller otrzymał za znaczący wkład w badania optyki nieliniowej i kwantowego przestrzennie ograniczonego efektu Starka oraz za zbudowanie licznych urządzeń wykorzystujących wyniki tych badań.

Miller urodził się w Hamilton (Wielka Brytania) w 1954 r. Stopień B.Sc. w zakresie fizyki otrzymał w 1976 r. na Uniwersytecie Herriota-Watta w Edynburgu. W 1981 r. przeniósł się do AT&T Bell Laboratories (USA), gdzie od pięciu lat jest kierownikiem Działu Badań Fotonowych Układów Przełączających (Photonics Switching Devices Research Department). Tematyka jego badań obejmuje podstawy optyki, nieliniową optykę półprzewodników, fizykę przestrzennie ograniczonych struktur kwantowych oraz ich zastosowanie w urządzeniach optycznych.

Podczas pracy na uniwersytecie w Edynburgu zajmował się badaniem nieliniowych optycznych własności półprzewodników. Wykrył wówczas i rozwinął stosowany dotychczas opis teoretyczny nieliniowości optycznej o charakterze rezonansowym w InSb. Wykorzystał ten efekt do zademonstrowania całkowicie optycznej bistabilności w półprzewodnikach, uzyskiwanej przy niskim natężeniu światła. Otrzymane wyniki pobudziły światowe zainteresowanie wykorzystaniem nieliniowych efektów w optycznym przetwarzaniu informacji. Jego działalność w dziedzinie nieliniowej optyki i zjawisk elektrooptycznych w strukturach o ograniczonej wymiarowości przedstawiona jest w ponad 150 publikacjach w różnych czasopismach. Jest również właścicielem 25 patentów. Nazwisko Millera wiąże się z kwantowym przestrzennie ograniczonym efektem Starka, który został przez niego nie tylko odkryty i przebadany

teoretycznie oraz doświadczalnie, ale również wykorzystany w modulatorach optycznych. Najbardziej znanym spośród nich jest SEED (Self Electro-optic Effect Device), czyli element półprzewodnikowy wykorzystujący wewnętrzne sprzężenie elektrooptyczne do sterowania światłem.

ICO Newsletter, Jan. Miroslaw Karpierz
1992

Powstrzymali budowę bomb

Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne przyznaje nagrodę Forum Fizyka i Społeczeństwo za wybitne dokonania prowadzące do publicznego zrozumienia spraw wynikających na styku fizyki i społeczeństwa. W 1992 r. nagrodę tę otrzymali Luis Masperi i Alberto Ridner z Argentyńskiego Stowarzyszenia Fizyków oraz Fernando de Souza Barros i Luis Pinguelli Rosa z Brazylijskiego Towarzystwa Fizycznego za "stworzenie podstaw do osiągnięcia porozumienia między Argentyną i Brazylią w sprawie odstąpienia od wywoływania wybuchów jądrowych".

Maspero, poprzedni prezes Argentyńskiego Stowarzyszenia Fizyków jest profesorem fizyki w Centrum Atomowym w Bariloche, Ridner jest kierownikiem centrum komputerowego w Argentyńskiej Narodowej Akademii Nauk. Souza Barros i Pinguelli Rosa są profesorami Federalnego Uniwersytetu w Rio de Janeiro i członkami Brazylijskiego Towarzystwa Fizycznego. Będąc przedstawicielami swoich Towarzystw, fizycy ci w znaczący sposób wpłynęli na decyzje rządów Argentyny i Brazylii zaniechania programów budowy broni jądrowych.

W latach 70-tych i początku lat 80-tych kraje te były pod rządami wojskowych. Istniała wtedy obawa, że pod płaszczykiem pokojowych badań jądrowych zdołają wyprodukować broń jądrową. Rządy cywilne zostały przywrócone w 1983 r. w Argentynie i w 1985 r. w Brazylii. Wykryto wtedy, że oba te kraje zbudowały małe urządzenia ze wzbogaconym uranem, które wkrótce

byłyby zdolne produkować wysoko wzbogacony uran. Urządzenia te nie podlegały inspekcji Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej.

W 1991 r. Argentyńskie Towarzystwo Fizyczne zaproponowało wprowadzenie uzupełnienia do konstytucji Argentyny zakazującego produkowania broni jądrowej i ustalającego bezpośrednią kontrolę parlamentu nad argentyńskim programem jądrowym. Brazylia miała już wówczas odpowiedni przepis prawny. Oba kraje wprowadziły dwustronną kontrolę urządzeń jądrowych, której inspektorzy mają swobodny dostęp do wszystkich urządzeń i mogą sprawdzać, że nie jest produkowany wzbogacony uran.

Prawdopodobnie oba kraje przystąpią wkrótce do umowy o zakazie broni jądrowej w Ameryce Łacińskiej. Umowa ta zabrania produkcji wszelkich jądrowych materiałów wybuchowych, nawet do tzw. celów pokojowych.

APS News 1, No 4
(1992)

B. W.

Międzynarodowa Nagroda za Nowe Materiały

Międzynarodowa Nagroda za Nowe Materiały została ufundowana przez firmę IBM w 1974 r. i jest przyznawana przez Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne w uznaniu osiągnięć i dla zachęty do dalszych badań materiałowych, zarówno doświadczalnych jak i teoretycznych.

W 1992 r. nagrodę tę otrzymali Harold W. Kroto (Univ. of Sussex, Wielka Brytania) oraz Robert F. Curl i Richard E. Smalley (Rice Univ., USA) za "odkrycie C₆₀, nowej postaci węgla".

Odkrycia C₆₀ dokonali wprawdzie Andrew Kaldor i Donald Cox z laboratorium firmy Exxon. Zaobserwowali oni niezwykle rozkład skupisk węglowych i dla wytłumaczenia obserwacji zaproponowali model sczepiających się ze sobą układów C₂.

Dopiero jednak Kroto (który był gościem Uniwersytetu Rice'a) razem z Curlem i

Smalleyem powtórzyli eksperymenty poprzedników i zaproponowali model "piłki futbolowej". Dalsze badania w wielu laboratoriach potwierdziły słuszność tego modelu.

APS News 1, No 3
(1992)

B. W.

Piękno toruńskiej fotografii

Brytyjski Instytut Fizyki już po raz trzeci przeprowadził konkurs fotograficzny pod nazwą "Piękno fizyki".

W kategorii nauczycieli zwycięzcą w 1992 r. został Andrzej Borowski z Instytutu Fizyki UMK w Toruniu. Nagrodzona fotografia "Krystalizacja w zbliżeniu" przedstawia powiększony fragment kamienia kotłowego, puszystego osadu, który może zatykać czajniki lub rury.

Phys. World 5, No5
(1992)

B. W.

Przedszkole Jaszowca

Jaszowiec — mała miejscowość wypoczynkowa na południu Polski w pobliżu granicy z Czecho-Słowacją — od ponad 20 lat jest miejscem spotkań naukowców zajmujących się fizyką półprzewodników. Szkoła Fizyki Związków Półprzewodnikowych, w zamyśle twórców pomyślana jako spotkanie krajowe, stopniowo przeradzała się w sympozjum międzynarodowe. Założycielami szkoły byli nieżyjący już dziś profesorowie Jerzy Mycielski z Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego i Wiesław Wardzyński z Instytutu Technologii Elektronowej CEMI a także profesorowie Witold Giriat z Instytutu Fizyki PAN i Józef Żmija z Wojskowej Akademii Technicznej. Obecnie techniczną organizacją Szkoły zajmuje się Instytut Fizyki PAN, a program Szkoły jest opracowywany wspólnie przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Zakład Wysokich Ciśnień PAN - Unipress i Instytut Fizyki PAN. Program spotkania przewiduje wykłady przygotowywane na zaproszenie, prezentacje prac uczestników

Szkoły w formie krótkich referatów lub plakatów oraz sesje panelowe. Materiały publikowane są w *Acta Physica Polonica A*. Od wielu już lat "Jaszowiec" gromadzi corocznie ok. 200 osób, w tym 30–40% to uczestnicy z Europy Wschodniej i Środkowej (z Czecho-Słowacji, Litwy, Rosji, Ukrainy, Węgier), z Europy Zachodniej (Austrii, Holandii, Francji, RFN, Wielkiej Brytanii) jak również z USA. Choć w programie dominują tematy wiodące w fizyce półprzewodników rozwijane w Polsce (fizyka głębokich domieszek oraz fizyka półprzewodników półmagnetycznych), to co roku zapraszani są naukowcy reprezentujący inne dziedziny fizyki ciała stałego (ale nie tylko). Dzięki ich wykładom program Szkoły wzbogaca wiedzę uczestników o najważniejszy dorobek współczesnej fizyki. "Jaszowiec" — nazwa ta jest znana w wielu ośrodkach naukowych — stwarza wyjątkowe możliwości spotkań fizyków z całego świata: świetny klimat (w podwójnym znaczeniu tego słowa), dobre warunki zakwaterowania, piękne górskie otoczenie, prawdziwie naukową, twórczą atmosferę. Program Szkoły został tak skonstruowany, by dać możliwość spotkań nie tylko na wykładach, czy sesjach plakatowych, ale również umożliwić nieformalne spotkania na spacerach czy wycieczkach w malowniczych okolicznych górach i lasach.

Przez wiele lat "Jaszowiec" (tak w skrócie uczestnicy nazywają tę konferencję) był jednym z nielicznych miejsc spotkań fizyków Wschodu i Zachodu Europy. Tu nie obowiązywała żelazna kurtyna. Tu mogli się spotkać naukowcy obu podzielonych części Niemiec. Dla licznych fizyków z terenu byłego Związku Radzieckiego przyjazd do Jaszowca był często pierwszym wyjazdem za granicę, a zarazem możliwością nawiązania bezpośrednich kontaktów z kolegami z Europy Zachodniej czy z USA.

W skrócie atmosferę tej konferencji oddaje zasłyszane w Jaszowcu stwierdzenie: "przyjeżdżają obcy sobie ludzie, wyjeż-

dzają przyjaciele". Związki sympatii, przyjaźni, współpracy naukowej, które miały swój początek w "Jaszowcu" owocowały i będą owocowały twórczymi kontaktami i wspólnymi badaniami.

Jednym z istotnych elementów Szkoły był zawsze liczny udział studentów specjalizujących się w fizyce półprzewodników oraz doktorantów. Znaczna część polskich fizyków ciała stałego rozpoczęła swoją karierę naukową od przedstawiania pierwszej samodzielnej pracy w "Jaszowcu".

W 1992 r. przy współpracy z Fundacją "Pro Physica" zorganizowano po raz pierwszy specjalną dwudniową sesję poprzedzającą zasadniczą część Szkoły — "Przedszkole". Celem jej było zapoznanie studentów ostatnich lat fizyki oraz doktorantów z zagadnieniami mieszczącymi się w głównym nurcie konferencji oraz z tzw. gorącymi tematami. Zaproszeni wykładowcy mieli do dyspozycji 2 do 3 godzin na przedstawienie tematu, ponadto, co okazało się niezwykle pomocne dla słuchaczy, przewidziano w programie dużo czasu na pytania i dyskusje. Do najciekawszych wystąpień "Przedszkole" należał, zdaniem większości uczestników, doskonale przygotowany, zarówno od strony merytorycznej jak i dydaktycznej, wykład prof. G. Baraffa z A.T.&T. Bell Laboratories zatytułowany "Wprowadzenie do fizyki defektów punktowych". Niemniejszym uznaniem cieszył się wykład prof. Mariana Grynberga z Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW pt. "Wprowadzenie do fizyki 2-wymiarowych struktur półprzewodnikowych". Znakomitym uzupełnieniem tego wykładu było wystąpienie prof. M. Skolicka z Uniwersytetu Sheffield (W. Brytania), w którym omówił on optyczne własności układów dwuwymiarowych. Niezwykle interesujące własności magnetyczne struktur 2-wymiarowych (w tym supersieci) zbudowanych z półprzewodników półmagnetycznych (rozcieńczone półprzewodniki magnetyczne) w przystępny sposób omówił dr N. Samarth z Uniwersy-

tetu Notre Dame (USA). Najtrudniejszy w odbiorze dla uczestników "Przedszkola" okazał się wykład prof. P. Stredy z Instytutu Fizyki Czecho-Słowackiej Akademii Nauk. Autor zapoznawał w nim uczestników z takimi zagadnieniami jak transport balistyczny, problemy silnej i słabej lokalizacji, kwantowy i ułamkowy efekt Halla, uniwersalne fluktuacje przewodnictwa czy efekt Bohma-Aharonova.

Zarówno tematyka "Przedszkola" jak i nazwiska wykładowców sprawiły, że nie tylko studenci zgłosili chęć uczestnictwa w tej sesji. Wielu uczestników Szkoły przyjechało do Jaszowca wcześniej by wziąć udział także w "Przedszkolu" (wśród nich byli również profesorowie). Fundacji "Pro Physica" udało się zdobyć fundusze (przede wszystkim dzięki pomocy Fundacji im. Stefana Batorego oraz Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego) na sfinansowanie uczestnictwa i pobytu 28 studentów z Czecho-Słowacji, Litwy, Węgier i Polski, zaś ogółem w "Przedszkolu" wzięło udział ok. 80 osób. Zarówno zaproszeni wykładowcy (a następnie uczestnicy Szkoły) jak i studenci entuzjastycznie wypowiadali się o walorach tej edukacyjnej sesji.

Pragniemy by akcja ta mogła być kontynuowana. Niestety, skromne środki przeznaczone na naukę w wielu krajach Europy (w tym i w Polsce!) uniemożliwiają szerszy udział studentów i doktorantów w tym zupełnie wyjątkowym spotkaniu naukowym. Dlatego Fundacja "Pro Physica" apeluje o pomoc finansową (np. w formie stypendiów dla studentów, pokrywaniu kosztów podróży czy pobytu zaproszonych wykładowców itp.), która umożliwiałaby wybijającym się studentom fizyki półprzewodników udział w "Przedszkolach".

Przypominamy adres Fundacji "Pro Physica": Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, tel. 43 25 09, e-mail: KOSSUT@PLANIF61.BITNET lub KOSSUT@ALPHA1.IFPAN.EDU.PL, konto: PKO BP IX O/Warszawa, nr. 1599-314761-132-3.

Witold Dobrowolski

Dydaktyka fizyki w wyższych szkołach technicznych

W dniach 24 i 25 czerwca 1992 odbyło się w Gliwicach ogólnopolskie seminarium dydaktyczne "IX Dni Wymiany Doświadczeń w Nauczaniu Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych" zorganizowane przez Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej. Impreza ta, urządzana z inicjatywy Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizycznego, odbywa się co 2 lata, każdorazowo w innej uczelni technicznej.

Dni Wymiany miały zawsze na celu wymianę opinii, spostrzeżeń, wyników i doświadczeń w zakresie roli fizyki i procesu dydaktycznego związanego z tym przedmiotem w wykształceniu inżyniera. W obecnym okresie, wobec zmian koncepcji wyższych studiów technicznych oraz zmian programów i siatek godzin, taka wymiana opinii stała się dodatkowo istotna i aktualna.

W seminarium wzięło udział 35 osób reprezentujących 13 uczelni technicznych i Uniwersytet Wrocławski, 24 osoby z Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej, kilka osób reprezentujących inne wydziały Politechniki Śląskiej oraz studenci. Przedstawiono 5 referatów, 13 komunikatów oraz 19 plakatów w następujących sekcjach: demonstracje wykładowe, nowe ćwiczenia laboratoryjne, dydaktyczne programy komputerowe i filmy, programy nauczania. Referaty wygłosili: H. Przewłocki (AGH, Kraków) "Sposoby zainteresowania studentów wykładem z fizyki" oraz "Propozycja ujednoliconego minimalnego programu fizyki ogólnej", K. Jeleń i T. Płazak (AGH, Kraków) "Fizyka w naszych uczelniach technicznych — jaka jest? (obraz ankietowy)", II. Płokarz (Politechnika Wroclawska) "Krótkie filmy dydaktyczne w procesie nauczania fizyki", M. Marczewski i I. Strzałkowski (Politechnika Warszawska)

”Ilościowa analiza procesu nauczania w laboratorium podstaw fizyki”.

Przedstawione podczas seminarium prace zostały opublikowane w Materiałach Seminarium. Podsumowaniem obrad była dyskusja plenarna nt. siatek godzin i programów fizyki w uczelniach technicznych. Uczestnicy dyskusji szczególnie podkreślali konieczność określenia minimów programowych (w zakresie treści i godzin) z fizyki w programach studiów technicznych oraz zwracali uwagę na wielkie trudności w zakresie realizacji wymagań z fizyki po wejściu nowych programów nauczania poważnie ograniczających (a właściwie rugujących) fizykę w szkolnictwie średnim.

W trakcie seminarium czynna była wystawa niemieckiej firmy PIHYWE oraz wystawa skryptów z fizyki wydanych w różnych uczelniach technicznych. Uczestnicy seminarium mieli też możliwość obejrzenia laboratoriów studenckich i naukowych Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej.

Stanisław Kockowski

Francusko-holenderski cyklotron nadprzewodnikowy

W grudniu 1985 francuskie Narodowe Centrum Badań Naukowych (CNRS) i holenderska Fundacja Podstawowych Badań Materii (FOM) podpisały porozumienie w sprawie wspólnej budowy cyklotronu nadprzewodnikowego. W myśl umowy strona holenderska miała finansować przedsięwzięcie (ok. 100 mln. FF) a strona francuska zapewnić personel naukowy potrzebny do zaprojektowania i konstrukcji akceleratora. Oceniano, że prace będą trwały ok. 6 lat.

Od 1986 r. w Orsay było zatrudnionych 50–60 osób przy projektowaniu tego urządzenia, które nazwano AGOR (Groningen-Orsay Accelerator). Będzie ono uruchomione w 1993 r. w Groningen.

Fizycy francuscy będą mogli bez żadnych opłat, w ciągu pierwszych dziesięciu lat,

używać akceleratora przez 20% czasu operacyjnego.

AGOR jest małym (średnica 4.4 m) akceleratorem nadprzewodnikowym o niewielkiej mocy (1 MW), który będzie mógł przyspieszać zarówno lekkie jony (wodór) jak i ciężkie (uran) do energii w zakresie 6 — 200 MeV/nukleon. Będzie to możliwe dzięki stosowaniu bardzo silnego pola magnetycznego (4 T) wytwarzanego przez cewki z nadprzewodników (niob-tytan) chłodzonych do temperatury 4 K.

Le Courrier du CNRS,
No 78bis (1992)

B. W.

Fizyka w UMK

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu opublikował nowe wydanie informatora w języku angielskim *Physics at Nicolas Copernicus University*. Podobnie jak wydanie I z 1986 r. zawiera on krótki szkic historii Instytutu Fizyki UMK, wykaz konferencji organizowanych w latach 1986–92 oraz wiadomości o działalności naukowej i dydaktycznej poszczególnych zakładów (z podaniem składu osobowego, omówieniem głównych kierunków badań i wykazem najistotniejszych publikacji z ostatniego okresu). Ponadto podano informacje o prowadzonych badaniach interdyscyplinarnych, jak również o samodzielnym (niezależnym administracyjnie od IF UMK) Zakładzie Metod Komputerowych przy Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii UMK. Oddzielny rozdział przedstawia możliwości kształcenia fizyków w tym Uniwersytecie.

Informator ozdobiony jest dużą liczbą karykatur fizyków, rysowanych przez nieżyjącego już Leona Jeśmanowicza, profesora matematyki UMK, jak również kilkoma fotografiami.

Redaktorami informatora są Franciszek Bylicki, Andrzej Raczyński i Józef Szudy.

B. W.

Optical Materials

Zaczął ukazywać się kwartalnik *Optical Materials*, wydawany przez firmę North-Holland. Redaktorem naczelnym

jest R.C. Powell (Oklahoma State Univ., Stillwater, Ok., USA).

Czasopismo publikuje prace oryginalne i przeglądowe dotyczące nowych materiałów optycznych, ich projektowania, syntezy, charakteryzacji i zastosowań. Wydawca nie pobiera opłat od autorów.

B. W.

KALENDARZ IMPREZ

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

1993

15 – 28 lutego 1993, Karpacz

XXIX Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej: Fizyka Fononów. Inst. Fizyki Teoret. Uniw. Wrocław. Prof. T. Paszkiewicz, IFT UWr, pl. Maksa Borna 1, 50-205 Wrocław, fax 20 14 67, e-mail TAPASZ at PLWRTU11.

Z: 30.1.93, P, U: 100, ang.

24 – 28 maja 1993, Warszawa

Diffractionometry. SPIE-Polish Chapter. Prof. M. Pluta, CLO, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa.

18 — 28 sierpnia 1993, Piaski

23rd Mazurian Lakes Summer School on Nuclear Physics. Inst. Problemów Jądrowych, Uniw. Warszawski, Państw. Agencja Energii Atomowej. Prof. Z. Sujkowski, IPJ, 05-400 Świerk, tel. 79 86 27, e-mail sujkowski@plearn.bitnet

P, U:150, ang.

wrzesień 1993, Kraków

XXXII Zjazd Fizyków Polskich. Oddział Krakowski PTF.

1994

maj 1994, Warszawa

4th Int. Symposium on Systems with Fast Ionic Transport. Inst. Fizyki Politechniki Warszawskiej. Prof. W. Jakubowski, IF PW, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel. 49 98 31, tlx 81 33 07 pw.

16 – 20 maja 1994, Warszawa

Interferometry'94. SPIE-Polish Chapter. Prof. M. Pluta, CLO, Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa.

NOWE KSIĄŻKI

- H. Kühnelt, M. Berndt, M. Staszal, J. Turlo (red.), *Teaching about reference frames from Copernicus to Einstein, Toruń 19-24 Aug. 1991*, Wyd. UMK, Toruń 1992, s. 530.
- Richard P. Feynman, *QED, osobliwa teoria światła i materii*, tłumaczyła z jęz. angielskiego Helena Białkowska, PIW, seria Biblioteka Myśli Współczesnej, Warszawa 1992, s.154.
- Kazimierz Gniadek, *Optyczne przetwarzanie informacji*, PWN, Warszawa 1992, s. 436.
- Marek Ostrowski (koordynator), *Informacja obrazowa. Własności i detekcja promieniowania e-m. Psychologia widzenia. Przetwarzanie obrazów*, WNT, Warszawa 1992, s. 530.

POSTĘPY FIZYKI

(dwumiesięcznik)

WARUNKI PRENUMERATY

1. Wpłaty na prenumeratę są przyjmowane na okresy półroczne.

2. Cena prenumeraty krajowej na I–VI 1992 r. wynosi 36 000 zł. Prenumerata ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej.

3. Wpłaty na prenumeratę przyjmują:

— na teren kraju — jednostki kolportażowe "Ruch" i urzędy pocztowe właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora

— na zagranicę — Zakład Kolportażu Prasy i Wydawnictw, 00-958 Warszawa, Poland. Konto PBK, XIII Oddział Warszawa, Poland, 370044-1195-139-11

4. Dostawa zamówionej prasy następuje:

— przez jednostki kolportażowe "Ruch" — w sposób uzgodniony z zamawiającym,

— przez urzędy pocztowe — pocztą zwykłą na wskazany adres, w ramach opłaconej prenumeraty z wyjątkiem zlecenia dostawy na zagranicę pocztą lotniczą do odbiorcy zagranicznego, której koszt w pełni pokrywa prenumerator.

5. Terminy przyjmowania prenumeraty na kraj i zagranicę 20 stycznia — na I półrocze, do 20 maja na II półrocze.

PRENUMERATA DLA CZŁONKÓW PTF

Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w Oddziałach PTF na cały rok otrzymują 20% zniżki.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributors or directly to the Zakład Kolportażu Prasy i Wydawnictw, 00-958 Warszawa, Poland. Our banker: Państwowy Bank Kredytowy, XIII Oddział Warszawa, Poland, 370044-1195-139-11.

SPIS TREŚCI

Andrzej Krasiniński — Fizyka w niejednorodnym Wszechświecie	415
RÓŻNE	
Andrzej K. Wróblewski — Dzieci Arystotelesa	431
Paweł Sobkowicz — Sieci komputerowe	441
WSPOMNIENIA — ROCZNICE	
Marek Płoszajczak, Adam Sobiczewski, Janusz Wilczyński — Wspomnienie o Zbigniewie Bochnackim	445
ZAGADNIENIA DYDAKTYKI FIZYKI W SZKOŁACH WYŻSZYCH	
Henryk Wrembel, Zbigniew Meger — Promieniowanie ciała doskonale czarnego	457
Waldemar Gorzkowski — I Ogólnopolski konkurs uczniowskich prac naukowych z fizyki	471
Waldemar Gorzkowski — Wykłady dla uczniów i nauczycieli w IF PAN	477
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	481
RECENZJE	485
KRONIKA	491

CONTENTS

Andrzej Krasiniński — Physics in an inhomogeneous Universe	415
MISCELLANEA	
Andrzej K. Wróblewski — Children of Aristotle	431
Paweł Sobkowicz — Computer networks	441
RECOLLECTIONS — ANNIVERSARIES	
Marek Płoszajczak, Adam Sobiczewski, Janusz Wilczyński — Recollection of Zbigniew Bochnacki	445
PROBLEMS OF TEACHING PHYSICS IN ACADEMIC SCHOOLS	
Henryk Wrembel, Zbigniew Meger — Black body radiation	457
Waldemar Gorzkowski — 1st National Competition in Research Projects in Physics for Secondary School Students	471
Waldemar Gorzkowski — Lectures for secondary school students and teachers at the Institute of Physics	477
MEETINGS AND CONFERENCES	481
REVIEWS	485
CHRONICLE	491