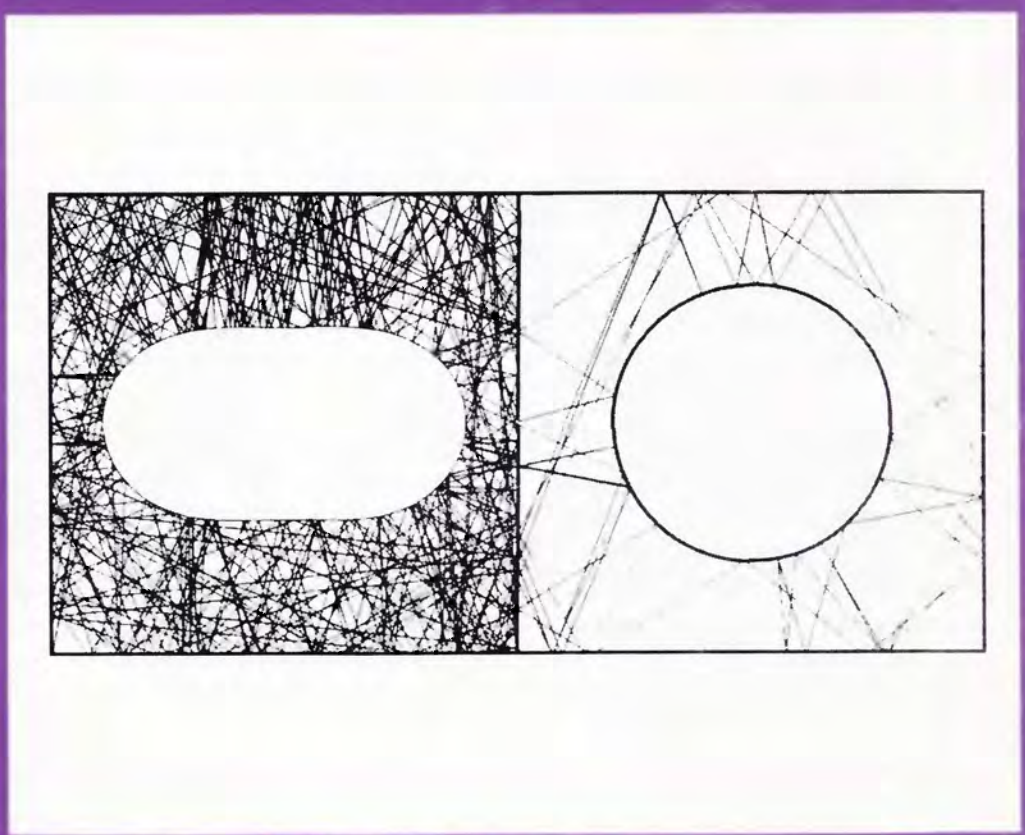
Nr indeksu 369721

POSTĘPY FIZYKI

TOM 52 ZESZYT 3 ROK 2001

DWUMIESIĘCZNIK
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



DYNAMIKA CHAOTYCZNA

GRANTY KBN Z FIZYKI

WSPOMNIENIA O KAZIMIERZU F. WOJCIECHOWSKIM I WOLFGANGU PAULIM

O NAUCZANIU FIZYKI ŚRODOWISKA

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes: Prof. Ireneusz Strzałkowski
Wiceprezesi: Prof. Krzysztof Ernst
Prof. Karol I. Wysokiński
Sekretarz Generalny: Prof. Maciej Kolwas
Skarbnik: Dr hab. Witold D. Dobrowolski
Członkowie ZG: Prof. Katarzyna Chałasińska-Macukow
Prof. Bogdan Cichocki
Prof. Wojciech Gawlik
Prof. Jerzy Nowak
Prof. Jerzy Warczewski
Mgr Urszula Woźnikowska-Bezak

REDAKTORZY NACZELNI CZASOPISM PTF

Prof. Adam Sobiczewski – *Postępy Fizyki*
Prof. Jerzy Prochorow – *Acta Physica Polonica A*
Prof. Andrzej Staruszkiewicz – *Acta Physica Polonica B*
Prof. Marek Kordos – *Delta*
Prof. Andrzej Jamiołkowski
– *Reports on Mathematical Physics*
Dr Zofia Gołąb-Meyer – *Foton*

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Prof. Andrzej Maziewski (Białystok)
Prof. Ryszard Siuda (Bydgoszcz)
Prof. Kazimierz Dziliński (Częstochowa)
Prof. Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk)
Dr Andrzej Klimasek (Gliwice)
Prof. Jerzy Warczewski (Katowice)
Prof. Zbigniew Włodarczyk (Kielce)
Prof. Andrzej Zięba (Kraków)
Prof. Stanisław Hałas (Lublin)
Prof. Leszek Wojtczak (Łódź)
Prof. Stefan Szymura (Opole)
Prof. Andrzej Dobek (Poznań)
Prof. Marian Kuźma (Rzeszów)
Prof. Henryk Wrembel (Słupsk)
Prof. Adam Bechler (Szczecin)
Prof. Andrzej Bielski (Toruń)
Prof. Jacek Baranowski (Warszawa)
Prof. Jerzy Czerwonko (Wrocław)
Prof. Andrzej Więckowski (Zielona Góra)

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

POSTĘPY FIZYKI

RADA REDAKCYJNA

Andrzej K. Wróblewski (akw@fuw.edu.pl)
– przewodniczący
Jerzy Czerwonko (pelstud@netra.ac.pwr.wroc.pl)
Marek Demiański (mde@fuw.edu.pl)
Zofia Gołąb-Meyer (meyer@thp1.if.uj.edu.pl)
Stanisław K. Hoffmann (skh@ifmpan.poznan.pl)
Franciszek Kaczmarek (efka@vm.amu.edu.pl)
Józef Szudy (szudy@phys.uni.torun.pl)

KOMITET REDAKCYJNY

Adam Sobiczewski – redaktor naczelny
Tomasz Dietl
Jerzy Gronkowski
Mirosław Łukaszewski
Magdalena Staszel
Barbara Wojtowicz

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Mgr Maciej Piętka (Białystok)
Prof. Jerzy J. Wysłocki (Częstochowa)
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)
Dr Roman Bukowski (Gliwice)
Prof. Wiktor Zipper (Katowice)
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)
Dr Jacek Bieroń (Kraków)
Dr Tomasz Durakiewicz (Lublin)
Dr Urszula Garuska (Łódź)
Dr Ryszard Czajka (Poznań)
Dr Małgorzata Klisowska (Rzeszów)
Mgr Małgorzata Kuzio (Słupsk)
Dr Janusz Typek (Szczecin)
Dr Józefina Turło (Toruń)
Mgr Aleksandra Miłosz (Warszawa)
Prof. Bernard Jancewicz (Wrocław)

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

Ukazuje się od 1949 r.; wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne
Zeszyt dofinansowany przez Komitet Badań Naukowych
Wydano pod patronatem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Skład komputerowy w Redakcji, druk i oprawa: „UNI-DRUK", Warszawa, ul. Buńczuk 7b

Dynamika chaotyczna a geneza praw statystycznych*

George M. Zaslavsky

New York University, Nowy Jork, USA

Chaotic dynamics and the origin of statistical laws

Abstract: Chaotic dynamics in real systems does not provide finite relaxation time to equilibrium or fast decay of fluctuations, and chaotic systems are not completely random in the sense originally postulated for statistical systems. These properties may require rethinking some of the fundamental assumptions of thermodynamics.

1. Wstęp

Zagadnienie właściwego sformułowania podstaw fizyki statystycznej wyłoniło się wraz z wyprowadzeniem przez Ludwiga Boltzmanna [1] równania kinetycznego gazów rozrzedzonych, które w konsekwencji prowadziło do monotonicznego wzrostu entropii (znane twierdzenie H Boltzmanna). Można powiedzieć, że teoria Boltzmanna stanowi punkt wyjścia współczesnej termodynamiki. Teoria ta stwierdza np., że w nieobecności sił zewnętrznych nie jest możliwe spontaniczne skupienie się cząsteczek gazu w jednej części pojemnika (chodzi tutaj o zwykłą sytuację dotyczącą makroskopowej ilości gazu – R.K.). Jest to wynik przewidywany właśnie przez twierdzenie H; spotkał się on z ostrą krytyką zwłaszcza ze strony matematyka Ernsta Zermela [2].

Podstawę fizyki statystycznej w rozumieniu współczesnych fizyków stanowią trzy zasadnicze założenia: 1) fizykę statystyczną można wyprowadzić z deterministycznych równań dynamiki, 2) istnieją reguły określające sposób przejścia od opisu dynamicznego do statystycznego, 3) możliwe jest zdefiniowanie warunków stosowalności różnych przybliżeń statystycznych. Odkrycie chaosu deterministycznego zmusiło do ponownego rozważenia tych założeń, ze wszystkimi tego potencjalnymi konsekwencjami.

Zastrzeżenia Zermela dotyczące twierdzenia H opierały się na niezbyt precyzyjnym rozumieniu ścisłego wyniku otrzymanego przez Henri Poincarégo, tzw. twierdzenia o powrotach (TPP). Innego rodzaju krytyka pochodziła od Josefa Loschmidta, nauczyciela Boltzmanna, który w związku z odwracalnością zwykłych równań ruchu (np. newtonowskich) twierdził, że możliwy jest powrót danego układu (i wszystkich jego charakterystyk) do stanu wyjściowego, ponieważ można jednocześnie odwrócić prędkości wszystkich cząsteczek. Własność tę powinna posiadać także entropia, która zatem wbrew twierdzeniu H Boltzmanna powinna maleć z upływem czasu.

Drastyczna różnica pomiędzy statystycznym opisem zachowania układu, opartym na teorii prawdopodobieństwa, a opisem czysto determini-

*Artykuł, opublikowany w *Physics Today* **52**, nr 8, 39 (1999), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy [Translated with permission. Copyright © 1999 by American Institute of Physics] (przyp. Red.).

stycznym, opartym na dynamice hamiltonowskiej, prowadzi do następującego fundamentalnego pytania: czy podejście statystyczne jest tylko czysto technicznym (instrumentalnym) sposobem opisu dynamiki układu, czy też odzwierciedla naturalne nieregularności tkwiące w jego zachowaniu? Czy wychodząc od dynamiki hamiltonowskiej (tak jak to właśnie uczynił Boltzmann) naprawdę można wyprowadzić całą termodynamikę (fizykę statystyczną, twierdzenie H, prawo wzrostu entropii itd.)? Następnie można zadać kolejne pytanie: czy fakt, że nie jest możliwe, aby cały albo prawie cały gaz zawarty w naczyniu skupił się w jakiejś jego części bez pomocy sił zewnętrznych, jest fundamentalnym prawem przyrody, czy też jest jedynie wynikiem stosowania takich a nie innych przybliżeń teoretycznych?

Po śmierci Boltzmanna w 1906 r. Paul i Tatiana Ehrenfest opublikowali artykuł [3] zawierający szczegółowe rozważania dotyczące statystycznego podejścia Boltzmanna do opisu układów dynamicznych o dużej liczbie stopni swobody. Analizowali w nim główne zastrzeżenia wobec teorii Boltzmanna, znane dzisiaj jako paradoksy Zermela i Loschmidta (patrz Dodatek). Dokładny opis tych paradoksów i ich rozwiązanie można znaleźć w pracach Marka Kaca [4]. W istocie paradoksy te dotyczą nie tylko teorii Boltzmanna, lecz w ogóle wszelkich podejść statystycznych prowadzących do monotonicznego wzrostu entropii. Uogólniając i rozszerzając ten problem, można postawić pytanie: w jaki sposób nieodwracalne względem czasu równania kinetyczne, które zostały wyprowadzone dla adekwatnego opisu rzeczywistości, można wyprowadzić z odwracalnych równań ruchu dynamiki? Formalna odpowiedź na to pytanie, mająca swoje źródło w idei Boltzmanna, jest oparta na zrozumiałym z fizycznego punktu widzenia założeniu, znanym jako „przybliżenie przypadkowej fazy" (RPA) [4] lub „przybliżenie chaosu molekularnego". Przybliżenie to pozwala na wyeliminowanie (dzięki odpowiedniemu średniowaniu) wszystkich wielkości szybkozmiennych nieistotnych z punktu widzenia ewolucji układu. Prowadzi ono do wniosku, że korelacje w układzie zanikają bardzo szybko.

Dość długo przybliżenie to stanowiło skuteczne narzędzie, umożliwiające przejście od opisu deterministycznego do statystycznego. Jednakże dalsze badania wykazały, iż czasami jest ono niezadowalające, a nawet niejasne, gdy usiłujemy stosować opis statystyczny zamiast dynamicznego. Przykładem dychotomii statystyczno-deterministycznej może być problem Fermiego–Pasty–Ulama [5], w którym w opisie układu sprzężonych oscylatorów anharmonicznych ujawniają się jego właściwości termodynamiczne. Dla układu tego, złożonego z wystarczająco dużej liczby oscylatorów, nie udało się zaobserwować relaksacji do stanu równowagi, mimo wielkiego wysiłku badaczy. Zastosowanie teorii chaosu deterministycznego umożliwiło zrozumienie pojawiania się przypadkowości, a zwłaszcza warunków koniecznych do jej powstawania [6,7].

Dla relaksacji do stanu równowagowego zasadnicze są własności mieszające w przestrzeni fazowej. Pojęcie mieszania zostało wprowadzone przez J. Willarda Gibbsa i jest uważane przez fizyków za przyczynę szybkiego zaniku korelacji powiązanych ze sobą wielkości fizycznych. Zanik korelacji w przestrzeni fazowej to randomizacja odpowiedniej fazy, czyli np. założenie, iż w każdym punkcie przestrzeni prędkości cząstek rozłożone są w sposób zupełnie przypadkowy. Aby dany układ mógł osiągnąć w skończonym czasie stan równowagi statystycznej, proces mieszania musi zajść w skończonym czasie. Czy dynamika chaotyczna umożliwia spełnienie tego warunku, a tym samym zaspokaja podstawowe wymaganie dotyczące randomizacji ewolucji układu niezbędne do zbudowania wszelkiej kinetyki? Odpowiedź na to pytanie jest zasadniczym tematem niniejszego artykułu.

Ważna rola efektów kwantowych oraz związek praw fizyki statystycznej z tzw. chaosem kwantowym wymaga specjalnego potraktowania (patrz np. [7]) i dlatego nie będziemy jej tu omawiać. Warto jednak nieco prowokacyjnie wspomnieć o jednej paradoksalnej własności kwantowego chaosu – pomimo statystycznego charakteru samej dynamiki kwantowej efekty kwantowe ograniczają chaotyczny charakter dynamiki klasycznej.

2. Dziwna kinetyka

Początkowo wydawało się, że teoria chaosu umożliwi wprowadzenie w zadowalający sposób warunków niezbędnych do randomizacji faz. Nie potrafiła ona jednakże wyjaśnić, jak średniowanie po przypadkowych fazach prowadzi do mierzalnych wielkości fizycznych („obserwabli").

Niedawno uzyskane wyniki teoretyczne i numeryczne przesunęły zagadnienie znalezienia podstawy praw statystycznych z paradoksów Zermela i Loschmidta na znacznie starszy problem istnienia demona Maxwella, tzn. urządzenia, które w sprzeczności z drugą zasadą termodynamiki mogłoby doprowadzić do skupienia się w jednej połowie naczynia znacznej części gazu bez wykonywania nad nim jakiejkolwiek pracy [8]. Mogłoby się wydawać, że zjawisko chaosu deterministycznego zmusza do porzucenia założenia o randomizacji niektórych zmiennych dynamicznych charakteryzujących dany układ (np. faz), gdyż w pewnych warunkach same równania – by się tak wyrazić – „grają w orła i reszkę". Jednakże obserwacje wskazują na to, że taka gra byłaby dość dziwaczna, podobnie jak kinetyka oparta na dynamice chaotycznej [9]. W pewnym sensie chaos deterministyczny nie jest całkiem przypadkowy, musimy zatem sięgnąć głębiej, aby zrozumieć istotę praw statystycznych. Do ważnych odkryć na drodze poszukiwań dynamicznego generowania przypadkowości należą: dynamiczne pułapkowanie oraz dynamiczne sposoby chłodzenia cząstek i układów.

Wbrew wcześniejszym oczekiwaniom, stany wyłaniające się z chaosu nie są w pełni przypadkowe. Nawet po upływie bardzo długiego czasu układy chaotyczne zawierają elementy porządku i dlatego można je odróżnić od układów zupełnie przypadkowych. „Normalna", czyli pełna przypadkowość prowadzi do wykładniczego zaniku korelacji oraz rozkładów o wszystkich momentach skończonych, a ponadto do szybkiego zaniku fluktuacji. Natomiast niepełna przypadkowość dynamiki chaotycznej daje potęgowy zanik funkcji korelacji, rozkłady o momentach nieskończonych oraz długotrwałe fluktuacje. Właśnie ta niepełna przypadkowość dynamiki chaotycznej jest zasadniczym przedmiotem niniejszego artykułu. Omawiamy także, jak wpływa ona na relaksację układu do stanu równowagi statystycznej.

Twierdzenie Poincarégo o powrotach głosi, że dla układu dynamicznego, którego ewolucja jest zamknięta w ograniczonym obszarze przestrzeni fazowej i dla którego objętość fazowa jest zachowana, każda trajektoria fazowa (z wyjątkiem trajektorii miary zero) prędzej czy później powraca dowolnie blisko punktu początkowego. Na tej podstawie Zermelo sądził, że entropia układu powinna mieć analogiczną własność i przyjmować po pewnym czasie wartość dowolnie bliską początkowej, wbrew twierdzeniu H o monotonicznym wzroście entropii z upływem czasu.

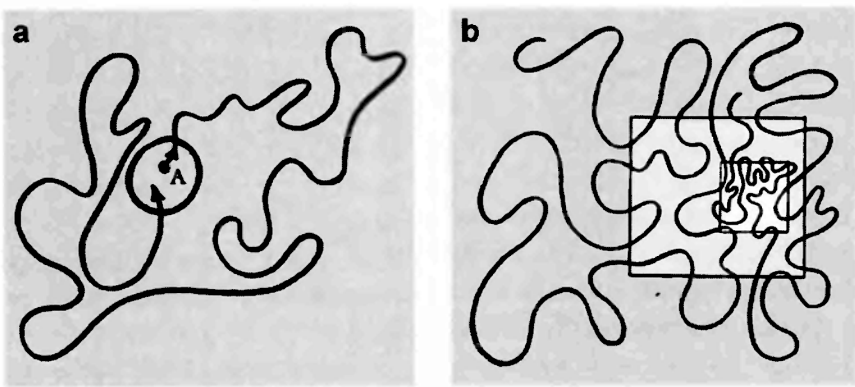
Replika Boltzmanna polegała na obliczeniu czasu, po jakim układ miałby powrócić w pobliże stanu początkowego; okazało się, że dla układu makroskopowego zawierającego jeden mol substancji byłby on dłuższy od wieku Wszechświata. Argument ten zmienił fundamentalny problem z jakościowego w ilościowy, lecz Boltzmann jako pierwszy podkreślił znaczenie średniego czasu powrotu τ_R i zaproponował wzory, z których można go obliczyć. Zauważył przy tym, że TPP nic nie mówi o τ_R. Jak się okazało, zwrócił tym samym uwagę na jedną z zasadniczych własności układów dynamicznych przejawiających zachowania chaotyczne, a mianowicie na rozkład czasów powrotu.

Zdefiniujmy funkcję rozkładu $P_{rec}(t)$ cykli Poincarégo w następujący sposób (rys. 1a). Rozważmy pewną trajektorię w przestrzeni fazowej, która przechodzi przez dowolny obszar A. Zgodnie z TPP, dana trajektoria powinna odwiedzać ten obszar wiele razy, przebywając długo także poza nim; odstęp czasu pomiędzy kolejnymi wyjściami trajektorii z obszaru A jest właśnie czasem trwania cyklu Poincarégo. Jeśli objętość obszaru dąży do zera, to funkcja rozkładu $P_{rec}(t)$ określa prawdopodobieństwo (ściślej biorąc: gęstość prawdopodobieństwa – R.K.), że czas trwania cyklu Poincarégo jest równy t. Niektóre własności funkcji rozkładu czynią ją niezwykle użyteczną do badania układów dynamicznych przejawiających zachowania chaotyczne. Kac [4] prowadził badania nad cyklami Poincarégo i udowodnił niezwykle użyteczne twierdzenie: funkcja rozkładu $P_{rec}(t)$ istnieje niezależnie od wyboru obszaru A, a średni czas powrotu τ_R jest skończony pod warunkiem, że dynamika cząstki zachowuje objętość fazową i jest ograniczona w przestrzeni fazowej oraz że istnieje jednoznaczna, nie znikająca funkcja rozkładu czasów powrotu w przestrzeni fazowej.

Wyniki Kaca odsłaniają nowe trudności w badaniach nad dynamiką chaotyczną różnych układów, nawet takich, w których przypadkowość (chaos) pojawia się przy dwóch stopniach swobody, a także takich, dla których nawet w najprostszych sytuacjach nie zaobserwowano istnienia dodatniej miary orbit (trajektorii) chaotycz-

nych, czy wreszcie takich, dla których nic nie wiadomo o jednoznaczności funkcji rozkładu.

Funkcja rozkładu cykli Poincarégo $P_{\mathrm{rec}}(t)$ ma tę specyficzną właściwość, że umożliwia scharakteryzowanie całej przestrzeni fazowej wraz z jej ewentualnymi niejednorodnościami i osobliwościami. Można powiedzieć, że znajomość tej funkcji umożliwia wizualizację dynamiki chaotycznej. Na przykład, jeżeli istnieje osobliwy obszar przestrzeni fazowej A_S (opisany dalej), to niektóre przechodzące przezeń trajektorie niosą informacje istotne dla jego charakterystyki (rys. 1b). Możliwa jest nawet identyfikacja w przestrzeni fazowej obszarów o różnych rodzajach osobliwości. Niektóre spośród nich to kwazipułapki, zwane też pułapkami dynamicznymi, które można zidentyfikować właśnie za pomocą funkcji rozkładu $P_{\mathrm{rec}}(t)$.

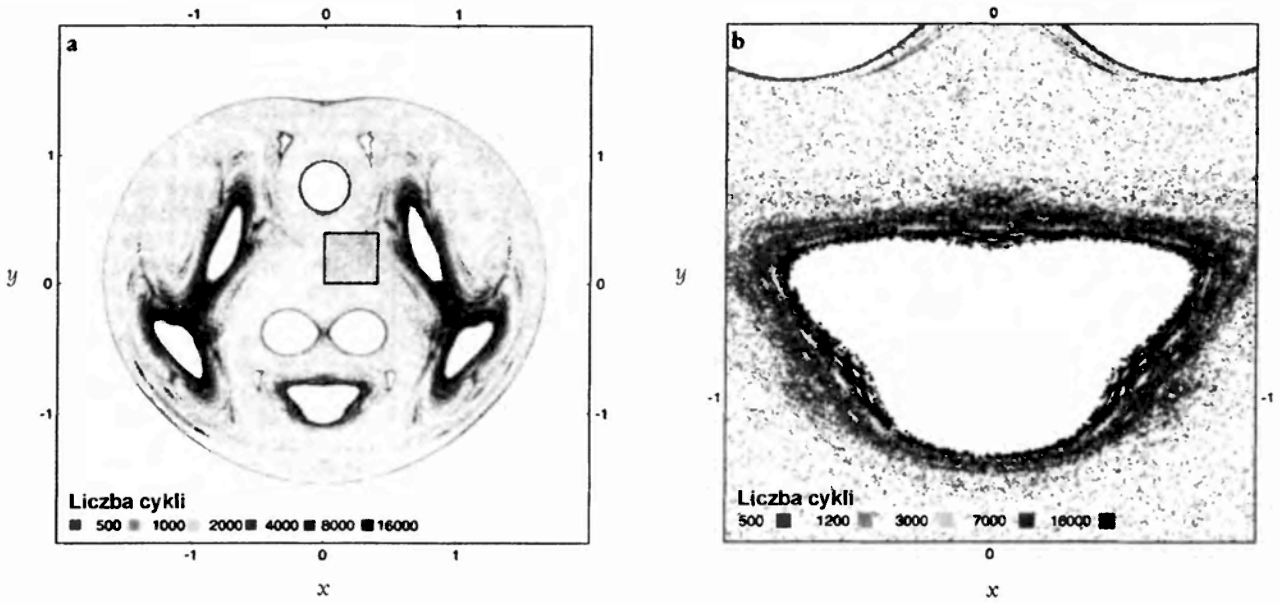


Rys. 1. Powroty Poincarégo trajektorii w przestrzeni fazowej do małego, wyjściowego obszaru A. Cykl Poincarégo jest przedziałem czasu upływającym pomiędzy dwoma kolejnymi wyjściami z tego obszaru. a) Przypadek najprostszy, w którym trajektoria fazowa ulega jednorodnemu mieszaniu, nie tworząc żadnej struktury. b) Trajektoria przechodząca przez obszar osobliwy (kwazipułapkę), przedstawiony jako mały kwadrat wewnątrz większego; okazuje się, że im mniejsza jest taka kwazipułapka, tym dłużej cząstka w niej przebywa.

3. Przeloty i pułapki dynamiczne

Typowa przestrzeń fazowa dynamiki hamiltonowskiej wygląda dziwacznie i przypomina topologiczne zoo, składające się ze stochastycznego morza, stochastycznych warstw i stochastycznych pajęczyn, jak też wysp wypełnionych okresowymi i kwaziokresowymi orbitami oraz mniejszymi obszarami chaotycznymi. Te okresowe i kwaziokresowe orbity biegnące wewnątrz wysp nazywane są według przyjętej terminologii krzywymi niezmienniczymi KAM (Kołmogorowa–Arnolda–Mosera). Orbity te są stabilne, a ich występowanie (lub obecność wysp o skończonej objętości) powoduje, że dynamika ma charakter nieergodyczny. Gdy rozpoczynano badania nad chaosem deterministycznym, wydawało się, że istnienie tych wysp nie ma znaczenia dla zrozumienia przyczyn i charakteru przypadkowości. Głównym powodem takiego myślenia był fakt, że wyspy te są niezwykle małe; milcząco zakładano, że po wyłączeniu tych wysp z przestrzeni fazowej pozostała jej część, zwana morzem stochastycznym, jest już ergodyczna. Niestety, obliczenia numeryczne zniweczyły te optymistyczne nadzieje, ogniskując badania nie tyle na samych niezmienniczych krzywych KAM, ile na obszarach brzegowych, które zajmują znacznie mniejszą część przestrzeni fazowej. Przecinając obszar takiej wyspy, przechodzimy od orbity regularnej (okresowej) do chaotycznej, która znajduje się w morzu stochastycznym. Najbliższe otoczenie brzegu wyspy to wciąż *terra incognita* – pomimo znacznego wysiłku matematycznego [10] nie wiadomo, w jaki sposób następuje przejście od właściwości regularnych do chaotycznych.

Symulacje numeryczne wskazują, że obszar w pobliżu takiej wyspy, zwany warstwą graniczną, jest do niej jakby przyczepiony; oznacza to, że trajektoria znacznie więcej czasu spędza w tej warstwie niż w obszarze morza stochastycznego, znajdującego się z dala od wyspy (rys. 2). Brzeg wyspy może mieć bardzo różną przyczepność, zależnie od parametrów układu. Istnieją ponadto specjalne strefy usytowane w pobliżu brzegu wyspy, gdzie trajektoria fazowa może być uwięziona przez długi czas, przy czym rozmiar tych stref zależy od wartości parametrów układu. Należy podkreślić, że zjawisko pułapkowania trajektorii jest istotne



Rys. 2. Fraktalne powroty Poincarégo pokazane na stroboskopowym ujęciu trajektorii cząstek unoszonych przez pole prędkości wytworzone przez układ trzech punktowych wirów. Każdy punkt na rysunku oznacza położenie cząstki w przestrzeni fazowej w dowolnie wybranej chwili czasu (jedn. względne). Wszystkie cząstki znajdowały się początkowo wewnątrz zaznaczonego kwadratu; stopień szarości wskazuje na to, ile czasu potrzebuje dana cząstka, aby powrócić do obszaru wyjściowego. Miarą dużej przyczepności warstw brzegowych wysp, czyli długiego czasu przebywania w nich cząstek, jest duża gęstość punktów w tych obszarach. Zarówno cała przestrzeń fazowa (a), jak i jej powiększony dolny fragment (b) wykazuje skomplikowaną (fraktalną) strukturę warstw granicznych oraz skomplikowany charakter zjawiska przywierania i powrotu.

dla zrozumienia chaosu zachowawczego (hamiltonowskiego) i może mieć ogromne znaczenie w różnego rodzaju zastosowaniach. Poniżej podajemy kilka przykładów tego zjawiska.

3.1. Adwekcja chaotyczna

Pierwszy przykład opisuje tzw. lagranżowską (zwaną także bierną) dynamikę cząstki płynu. Jej prędkość $\boldsymbol{v}(\boldsymbol{r})$ spełnia równanie

$$\dot{\boldsymbol{r}} = \boldsymbol{v}(\boldsymbol{r}). \tag{1}$$

Dla płynu nieściśliwego, dla którego $\operatorname{div} \boldsymbol{v} = 0$, równanie (1) opisuje dynamikę hamiltonowską. Na rys. 2 przedstawiono stroboskopowe ujęcia trajektorii cząstki w sytuacji, gdy pole prędkości jest wytwarzane przez trzy wzajemnie oddziałujące wiry punktowe [11]. Problem ten ma liczne zastosowania w geofizyce, gdzie chaotyczny ruch cząstek (tzw. znaczników) jest znany pod nazwą turbulencji lagranżowskich. Trajektoria zaczynająca się wewnątrz niewielkiego kwadratu zaznaczonego na rys. 2a powraca wielokrotnie do niego po różnym czasie, oznaczonym różnymi stopniami szarości. Powroty po bardzo długim czasie są związane z trajektoriami, które przywarły do brzegu wysp, wysepek w nich zawartych itd. Istnienie całej hierarchii takich wysp prowadzi do anomalnej dyfuzji względem kąta azymutalnego θ, zdefiniowanego jako kąt obrotu wokół pewnego punktu w środku obszaru wyspy:

$$\langle \theta^2 \rangle = \langle (\theta - \langle \theta \rangle)^2 \rangle \propto t^{\mu}, \tag{2}$$

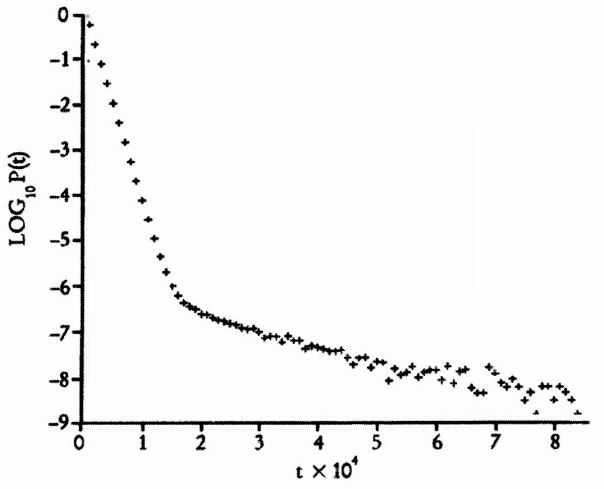
gdzie μ jest wykładnikiem dyfuzyjnym, którego zależność od parametru charakteryzującego geometrię wirów nie jest gładka. Dla przypadku przedstawionego na rys. 2: $\mu = 1{,}6 > 1$, co odpowiada superdyfuzji. Można podać szereg przykładów superdyfuzji, wywołanej różnymi mechanizmami fizycznymi, takich jak ruch swobodnie unoszonej cząsteczki przy przepływie typu Beltramiego, dyfuzja turbulentna, dynamika cząstek naładowanych i adwekcja cieczy w wirującym zbiorniku [12].

Typowa funkcja rozkładu czasów powrotu Poincarégo $P_{\mathrm{rec}}(t)$ pokazana jest na rys. 3 dla dobrze znanego układu chaotycznego, jakim jest mapa standardowa (inaczej: kwadratowa lub logistyczna, odnosząca się do cyklicznie pobudzanego rotora). Funkcja rozkładu jest funkcją Poissona,

ale tylko do pewnej chwili t^*; potem przyjmuje postać potęgową

$$P_{\mathrm{rec}}(t) \propto t^{-\gamma}. \tag{3}$$

Między wykładnikami γ oraz μ istnieje ścisły związek; dla przypadku przedstawionego na rys. 3 zastosowanie renormalizacji prowadzi do zależności $\gamma = \mu + 2$ [13].



Rys. 3. Typowa funkcja rozkładu cykli Poincarégo $P_{\mathrm{rec}}(t)$, składająca się z dwóch części: poissonowskiej dla czasów dostatecznie krótkich oraz potęgowej dla wystarczająco długich. Rozkład ten otrzymano [13] dla kwadratowej mapy standardowej (odwzorowania logistycznego) [6], którą można uzyskać z równania ruchu regularnie pobudzanego rotora w granicy silnego tłumienia. Dla układów bardziej złożonych część odpowiadająca długim czasom może być superpozycją kilku funkcji potęgowych.

Zależność potęgowa dana wzorem (3) pojawia się w wyniku długiego przebywania w pułapce, czyli długotrwałej lokalizacji w pewnym (na ogół niewielkim) obszarze przestrzeni fazowej o objętości $\Delta\Gamma_{\mathrm{A}}$. Można wprowadzić funkcję rozkładu czasów przebywania w takiej pułapce $\psi(t, \Delta\Gamma_{\mathrm{A}})$ zdefiniowaną jako ułamek czasu, jaki trajektoria spędza w obszarze $\Delta\Gamma_{\mathrm{A}}$, a następnie wykazać, że dla $t \gg t^*$ wewnątrz obszaru pułapki $\psi(t) \propto P_{\mathrm{rec}}(t)$.

Ogólniej mówiąc, pułapki są rodzajem obszarów osobliwych w przestrzeni fazowej. Obszary te można scharakteryzować albo za pomocą funkcji rozkładu $\psi(t, \Delta\Gamma_{\mathrm{A}})$, która zależy od lokalizacji danego obszaru, albo poprzez funkcję rozkładu $P_{\mathrm{rec}}(t)$, która nie zależy od położenia pułapek, lecz zawiera sumaryczną informację charakteryzującą całą przestrzeń fazową. W ogólności, zbioru wszystkich czasów powrotów nie można scharakteryzować za pomocą tylko jednego wykładnika γ i trzeba wprowadzić cały szereg wykładników, pozwalających określić przebieg funkcji rozkładu $P_{\mathrm{rec}}(t)$ w całym zakresie czasu t [13]. Użycie jednego wykładnika jest grubym przybliżeniem, spełnionym dla szczególnie wybranych wartości parametrów kontrolnych i odpowiednio wybranych okien czasowych.

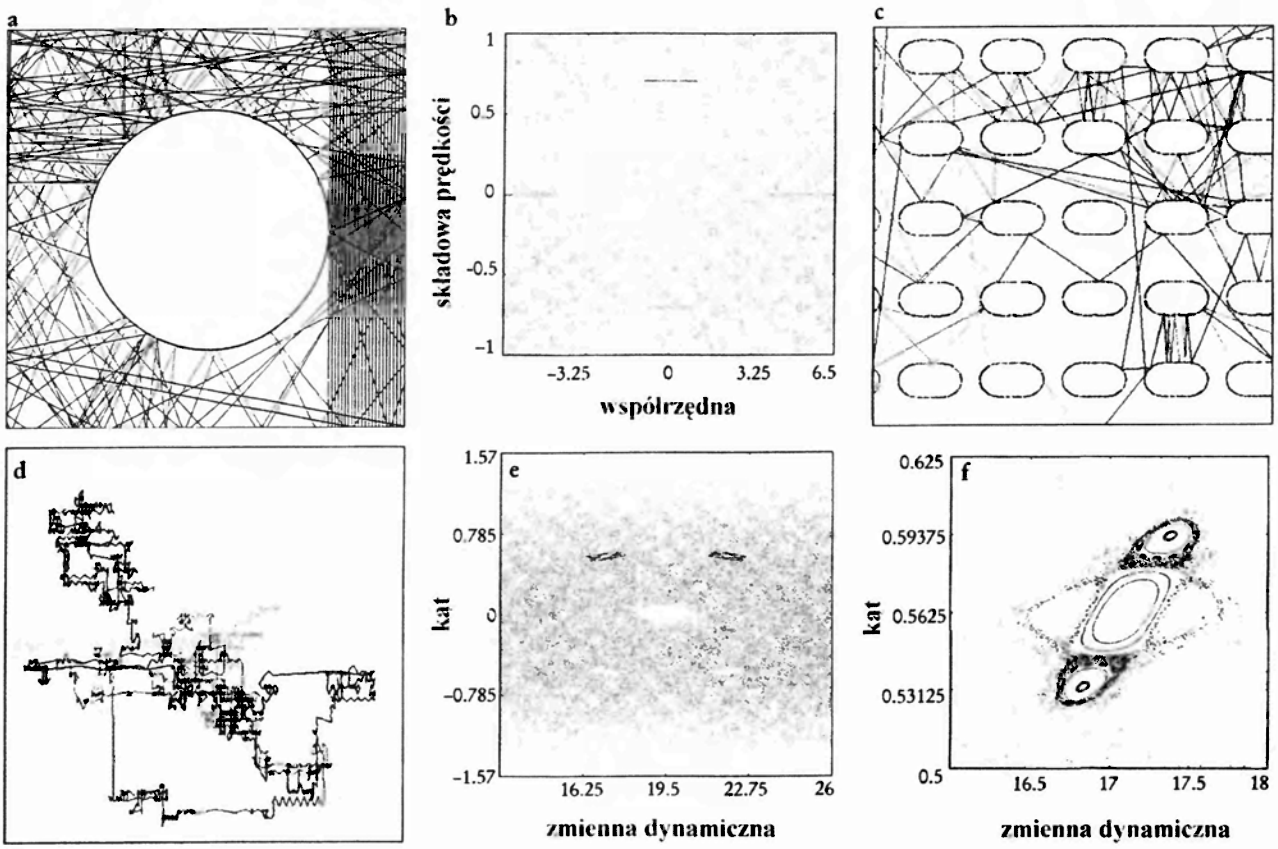
3.2. Bilard

Bilard jest szczególnie poglądowym przykładem istnienia obszarów pułapek. Rozważmy zagadnienie dwuwymiarowego rozpraszania sprężystego cząstki przez kulę umieszczoną w pudle o doskonale odbijających ściankach. Na rys. 4 przedstawiono dwa rodzaje bilardu: bilard Sinaia z centralnie umieszczoną kulą bilardową oraz bilard Cassiniego, gdzie elementem rozpraszającym jest owal zdefiniowany za pomocą krzywej danej równaniem: $(x^2+y^2)^2 - 2c^2(x^2-y^2) - (a^4-c^4) = 0$.

Przestrzenie fazowe są różne w obu przypadkach. Dla bilardu Sinaia nie występują żadne wyspy, natomiast pojawiają się „blizny" – nieosiągalne obszary miary zero w przestrzeni fazowej (rys. 4b). Każda trajektoria ma niezwykle długie odcinki, odpowiadające długim przelotom w przestrzeni fazowej (np. w prawej części rys. 4b).

Bilard Cassiniego (rys. 4c) wykazuje dosyć podobne przeloty i pułapkowania (rys. 4d), ale obok nich występują przeloty związane z istnieniem wysp w przestrzeni fazowej. Można nawet znaleźć taki zestaw wartości parametrów a oraz c, dla których istnieje nieskończona hierarchia wysp o wielkim przywieraniu trajektorii fazowej. Rysunek 4e przedstawia wycinek przestrzeni fazowej dla takiego zestawu, składający się głównie z wyspy centralnej i otaczających ją czterech wysp sąsiednich, co wyraźniej widać na powiększeniu przedstawionym na rys. 4f. Dalsze powiększanie pokazuje, że każda z wysp jest otoczona przez osiem mniejszych wysp itd. Nieskończoną hierarchię tych wysp można schematycznie wyrazić w postaci szeregu liczbowego 4-8-4-8-...

Funkcja rozkładu czasów powrotu $P_{\mathrm{rec}}(t)$ ma dla obu bilardów postać przedstawioną na rys. 3: funkcja Poissona do chwili t^*, a następnie przejście do potęgowego zaniku z wykładnikiem $\gamma = 3$ dla bilardu Sinaia oraz $\gamma = 3{,}15$ dla bilardu Cassiniego.



Rys. 4. Dwa bilardy (Sinaia i Cassiniego) o różnych kształtach, generujące dwuwymiarowe trajektorie pojedynczej cząstki o długich przelotach i zawierające osobliwe obszary o dużej przyczepności. a) Bilard Sinaia (centralne koło) wytwarza długą, pionową trajektorię o dużej liczbie odbić. b) Przestrzeń fazowa dla tego układu ma „blizny" – obszary o zerowej objętości (cztery poziome linie), które nie są odwiedzane przez trajektorię. c) Owalne bilardy Cassiniego tworzące regularną sieć prowadzą do trajektorii podobnych jak dla gazu Lorentza. d) Trajektoria z poprzedniego rysunku przedstawiona dla znacznie dłuższego przedziału czasu – widoczne są długie przeloty i pułapkowanie. e) Trajektoria fazowa dla tego samego układu wykazuje zarówno strukturę wyspową, jak też efekt przywierania. f) Powiększenie dowolnej wyspy z rysunku (e) ukazuje strukturę w postaci wysp otaczających wyspę. Dla szczególnych wartości parametrów $a = 4{,}030\,9525$ oraz $c = 3$ charakteryzujących owal Cassiniego powstaje następująca sekwencja wysp satelitów, widocznych przy każdym kolejnym powiększeniu: 4-8-4-8-..., tzn. centralną wyspę otaczają cztery wyspy, z których każda jest otoczona przez osiem kolejnych wysp itd. [15].

4. Pułapki dynamiczne a chaos

Obecność różnego rodzaju obszarów osobliwych w przestrzeni fazowej w pewnym sensie indywidualizuje dynamikę każdego układu chaotycznego. Tę złą wiadomość o zaniku uniwersalnego charakteru chaosu równoważy wiadomość dobra – dynamika trajektorii fazowej w obszarach osobliwych określa długookresowe zachowanie się układu. Rozważmy jako przykład hierarchiczną pułapkę dynamiczną (rys. 1b), przedstawiającą nieskończony zbiór zagnieżdżonych domen, których objętości spełniają ciąg nierówności $\Gamma_0 > \Gamma_1 > \Gamma_2 > \ldots$ [15]. Ze względu na mieszające działanie chaosu typowa trajektoria fazowa wypełnia przestrzeń fazową mniej więcej równomiernie, z wyjątkiem stosunkowo niewielkiego obszaru $\Gamma_1 < \Gamma_0$, w którym trajektoria pozostaje przez czas T_1, znacznie dłuższy od czasu T_0, jaki trajektoria spędza poza obszarem Γ_1. Zwiększając czas obserwacji i zdolność rozdzielczą możemy dostrzec więcej szczegółów zachowania się trajektorii fazowej w obszarze Γ_1, np. samopodobny charakter tej trajektorii itp. Można uznać, że mamy do czynienia z pułapką samopodobną, jeśli

$$\Gamma_n = (\lambda_\Gamma)^n \Gamma_0, \quad T_n = (\lambda_T)^n T_0 \qquad (\lambda_\Gamma < 1, \lambda_T > 1), \tag{4}$$

gdzie λ_Γ oraz λ_T są czynnikami skalującymi.

Hierarchiczne pułapki zaobserwowano w wielu różnych przypadkach [13,15] dla szczególnych wartości parametrów kontrolnych (od ich doboru silnie zależy występowanie zjawiska pułapkowania trajektorii fazowej). Zwykle warunek samopodobieństwa jest bardziej skomplikowany niż wynika ze wzoru (4); mamy np. do czynienia z pułapkami scharakteryzowanymi różnymi parametrami skalowania λ_T, których wartości zawarte są w pewnym przedziale. Pułapki są związane z bardzo skomplikowaną czasoprzestrzenną strukturą dynamiki w przestrzeni fazowej oraz z silnymi i trwałymi fluktuacjami, które należy uwzględnić w kinetycznym opisie układów chaotycznych. Oczywiście, opis wprowadzony powyżej jest bardzo uproszczony, ponieważ w rzeczywistych układach występuje ponadto szum, niszczący samopodobieństwo (lub wprowadzający samopodobieństwo o charakterze statystycznym – R.K.), a także wiele stopni swobody o różnych własnościach rezonansowych itd. Zanim jednak zaczniemy stawiać czoło komplikacjom, jakie niesie rzeczywistość, zastanówmy się, co można, a czego nie można ściśle wyprowadzić z pierwszych zasad (np. z równań dynamiki Hamiltona).

Obecność pułapek jest bardziej typowym zjawiskiem w dynamice hamiltonowskiej niż ich nieobecność. Pułapki można badać na co najmniej trzy sposoby. Pierwszy jest związany ze zrozumieniem takich zachowań chaotycznych, w których mieszanie i korelacje zanikają w czasie potęgowo dla czasów dłuższych od charakterystycznego czasu pułapkowania. W skali długookresowej pułapkę można traktować jak scenę, na której zachodzi proces o hierarchicznej strukturze czasów wyczekiwania, prowadzącej do fraktalizacji czasu [16]. Drugi sposób polega na badaniu przemieszczania się („transportu") cząstek, np. makroskopowych momentów różnych funkcji rozkładu. W obecności pułapek transport jest anomalny (niegaussowski). Ponadto w pewnych sytuacjach wykładnik dyfuzyjny μ (występujący we wzorze (2)) można wyrazić poprzez λ_Γ oraz λ_T. Na przykład, w pewnych szczególnych sytuacjach zachodzi zależność [13]

$$\mu = |\ln \lambda_\Gamma| / \ln \lambda_T, \tag{5}$$

która odzwierciedla sprzężenie czasoprzestrzenne i jego wpływ na wykładnik dyfuzyjny. Trzeci sposób, wykorzystany w niniejszym artykule, jest związany z podstawami fizyki statystycznej.

5. Zanik uniwersalności w dynamice chaotycznej

Istnienie różnego rodzaju pułapek w dynamice prowadzi do funkcji rozkładu nie mających charakteru uniwersalnego, w przeciwieństwie do termodynamiki opartej na rozkładzie Gibbsa. W termodynamice statystycznej wykorzystuje się tzw. granicę termodynamiczną, będącą odpowiednikiem prawa wielkich liczb, która pozwala na wprowadzenie rozkładu równowagowego. Jak wykazał Paul Lévy, rozkład Gaussa nie jest jedynym, który ma taką samą postać zarówno w skali mikro-, jak i makroskopowej [17] (patrz artykuł Josepha Klaftera, Michaela Shlesingera i Gerta Zumofena dotyczący przelotów Lévy'ego, *Physics Today*, luty 1996, s. 33). Rozkład Levy'ego $p_n(x)$, podobnie jak rozkład Gaussa, wykazuje tzw. własność stabilności, czyli jego postać dla sumy n zmiennych niezależnych jest taka sama jak postać rozkładu $p_1(x)$ dla pojedynczej zmiennej. Rozkład Lévy'ego zawiera parametr sterujący α. Dla jego wartości z przedziału $0 < \alpha < 2$ rozkład jest dodatnio określony i ma długozasięgowy „ogon" dla asymptotycznie dużych wartości zmiennej x; natomiast dla $\alpha > 2$ przybiera postać rozkładu Gaussa (szczególnym przypadkiem $\alpha = 2$ tutaj się nie zajmujemy). Parametr α jest jednocześnie związany z wymiarem fraktalnym (samopodobnym) przestrzeni zdarzeń, np. przelotów [16].

Procesy zachodzące w ramach hamiltonowskiej dynamiki chaotycznej są znacznie bardziej skomplikowane od procesów stochastycznych typu błądzeń przypadkowych, badanych przez Lévy'ego; na podstawie symulacji komputerowych można stwierdzić, że mamy tutaj do czynienia raczej z klasami uniwersalności niż z uniwersalnością. Źródłem braku uniwersalności mogą być różne nietrywialne elementy struktury przestrzeni fazowej, np. wspomniane wyspy dla różnych rzędów rezonansu, rozgraniczenia czy wreszcie obszary brzegowe. Z powodu istnienia takich charakterystycznych obszarów fluktuacje ze stanu stacjonarnego mogą być nieograniczenie duże i zachodzić ze skończonym, lecz niezbyt małym prawdopodobieństwem (w porównaniu z rozkładem

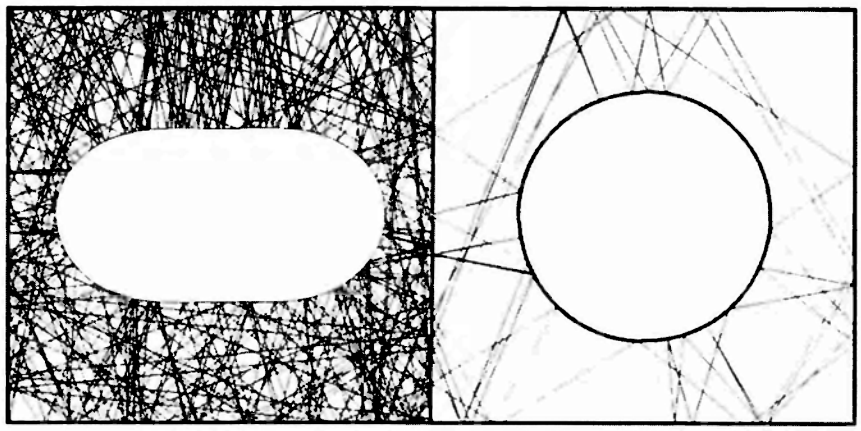
Gaussa, który wytwarza zanikające wykładniczo fluktuacje). Ponadto, momenty rzędu drugiego i wyższych, opisujące te fluktuacje, są nieskończone. Wewnętrzne cechy dynamiki chaotycznej są takie, że dla określonej wartości bezwymiarowego (względnego) czasu t^*, np. wynoszącego 10^{10}, można znaleźć takie okno wartości parametrów kontrolnych, dla których relaksacja układu do stanu równowagowego bądź stacjonarnego nie zachodzi ze skończonym (wykładniczo małym) prawdopodobieństwem. Oczywiście, własność tę zaobserwowano jedynie dla układów o niewielkiej liczbie stopni swobody i nic nie wiadomo o analogicznych sytuacjach dla układów o wielkiej ich liczbie. Widać jednak, że dynamika chaotyczna wykazuje własności, których nie sposób ująć w ramach zwykłego rozumienia procesów przypadkowych; własności te nazywamy trwale nierównowagowymi, a ich przykłady podamy w następnym rozdziale.

6. Demon Maxwella wkracza do akcji

Zgodnie z głównymi zasadami fizyki statystycznej rozważmy niezwykle długą trajektorię pojedynczej cząstki, łatwiejszą do opisania od krótszych trajektorii wielu nieoddziałujących cząstek. Takiej zamiany możemy dokonać dzięki ergodyczności dynamiki układu. Umieśćmy zatem cząstkę w pudle, w którym znajdują się dwa bilardy – jeden okrągły Sinaia, a drugi owalny Cassiniego, przy czym są one rozdzielone przegrodą z małym otworkiem pośrodku (rys. 5). Parametry układu dobieramy tak, aby objętości fazowe obu bilardów były jednakowe (co wcale nie jest prostym zadaniem ze względu na istnienie – w przypadku bilardu Cassiniego – nieograniczonego, fraktalnego zbioru wysp). Zdefiniujmy czas przebywania cząstki w obszarze jednego z bilardów jako odstęp czasu pomiędzy kolejnym wejściem cząstki do obszaru jednej z połówek pudła a wyjściem z niego. Można postawić kilka ważnych pytań, na które niełatwo było natychmiast odpowiedzieć. Na przykład: jaka jest postać funkcji rozkładu tych czasów $P_S(t)$ oraz $P_C(t)$ w obszarach obu bilardów? Jakie są momenty tych rozkładów, a także jakie są średnie czasy przebywania w obu obszarach? W istocie rzeczy oba te rozkłady nie są niczym innym jak rozkładami Poincarégo czasów powrotu do obszaru w bezpośredniej bliskości otworka odpowiednio z prawej i lewej strony przegrody.

Aby zwiększyć badany efekt, wybierzmy odpowiednie wartości parametrów owalu Cassiniego (a, c), tak by powstała omawiana już samopodobna hierarchia wysp o największym stopniu przywierania (rys. 4) z zachowaniem równej objętości przestrzeni fazowych obu bilardów. Wynik jest zdumiewający: jedynie dla czasów krótszych od pewnego charakterystycznego czasu t^* funkcje rozkładu czasów powrotu Poincarégo są identyczne i dane rozkładem Poissona; dla czasów $t > t^*$ obie funkcje rozkładów są w widoczny sposób różne. Różnica ta utrzymuje się dla zakresu obliczeń do t_{max} rzędu 10^{10} cykli (rys. 6), bez porównania dłuższego od czasu mieszania, który jest rzędu 10 cykli. Wynik ten można wytłumaczyć działaniem niewidzialnego demona Maxwella, którego rolę odgrywa tutaj specyficzna struktura przestrzeni fazowej bilardu Cassiniego [15]. (W naszym modelu demon nie jest zlokalizowany tak jak w oryginalnej definicji Maxwella, a mimo to pełni identyczną funkcję urządzenia sortującego, zmieniającego w istotny sposób własności termodynamiczne układu). Długotrwałe fluktuacje uniemożliwiają relaksację w skończonym czasie, zatem różnicę pomiędzy średnimi czasami powrotów τ_C oraz τ_S (czyli odpowiednio pierwszymi momentami rozkładów $P_C(t)$ oraz $P_S(t)$) można interpretować jako różnicę ciśnień w obu obszarach. Różnica ta jest jeszcze bardziej widoczna, gdy rozważamy momenty wyższego rzędu; jeśli czas obserwacji jest skończony, to są one skończone, lecz rosną do nieskończoności (!) w miarę jego wzrostu ze względu na potęgowo zanikające człony długookresowe w obu rozkładach czasów powrotu.

Powyższy przykład prowadzi do kolejnego pytania: Jaka termodynamika opisuje takie bilardowe układy, zawierające hierarchie wysp wewnątrz swojej przestrzeni fazowej? Pytanie to jest zasadnicze dla typowych układów hamiltonowskich, zwłaszcza gdy sobie uprzytomnimy, że zaokrąglanie i zmiękczanie brzegów bilardu na ogół tworzy struktury wyspowe w jego przestrzeni fazowej. Przykład bilardów można rozciągnąć na rzeczywiste sytuacje, np. na wspomniane już rolki konwekcyjne o różnych kształtach, które mogą grać rolę obszarów o różnym stopniu przywierania trajektorii (p. 3.1). Badania wzajemnych oddzia-

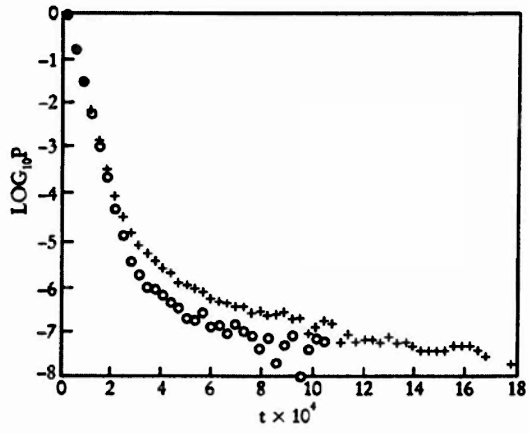


Rys. 5. Demon Maxwella działający w układzie składającym się z dwóch różnych bilardów umieszczonych w identycznych pudłach, przedzielonych ścianką zawierającą w środku otworek. Rozmiary bilardów są tak dobrane, że objętości fazowe po obu stronach ścianki działowej są jednakowe. W pewnej chwili uwalniamy cząstkę próbną, tak by rozpraszała się na bilardach i mierzymy, ile czasu spędza w pudłach po obu stronach przegrody. Jest rzeczą zadziwiającą, że przy pewnych wartościach parametrów nie obserwuje się relaksacji układu nawet dla czasów znacznie dłuższych od charakterystycznego czasu mieszania. Zaobserwowane różnice czasów powrotów można interpretować jako różnice efektywnych ciśnień panujących po obu stronach przegrody.

ływań obszarów rolek dla różnych wartości parametrów kontrolnych nie pozwalają oczekiwać, że znajdziemy dla cząstek biorących udział w procesie adwekcji na tych rolkach stan równowagowy w sensie termodynamicznym nawet dla astronomicznie długiego czasu obserwacji.

7. Kiedy chaos jest przypadkowy?

W pytaniu tym tkwi jakaś herezja. Dawno temu, gdy próby deterministycznego opisu ewolucji wielu różnorodnych procesów fizycznych spełzały na niczym, wprowadzono pojęcie przypadku. Można bez trudu prześledzić aksjomatyczny sposób wprowadzenia tego pojęcia i przekonać się – dzięki ogromnej liczbie zastosowań – jak bardzo pożyteczną rolę ono odegrało i nadal odgrywa. Współczesne osiągnięcia naukowe tak poszerzyły nasze możliwości, że potrafimy już obserwować w otaczającej nas rzeczywistości nowe zjawiska należące do dynamiki chaotycznej. Zjawiska te można opisać za pomocą ściśle deterministycznych, odwracalnych równań ruchu. Jednocześnie równania te opisują dynamikę w pewnym sensie pośrednią pomiędzy regularną a przypadkową. Poszukujemy obecnie rzeczywistych procesów, które są mieszanką konieczności i przypadku (w różnych proporcjach), przy czym nie oczekujemy, że będzie to ich prosta (np. liniowa) superpozycja. Współczesne możliwości techniki obliczeniowej pozwalają na odróżnienie chaosu (deterministycznego) od przypadku (w sensie probabilistycznym), a nawet na kontrolowanie chaosu, prowadzenie na jego podstawie jakiś przewidywań czy wręcz jego eliminowanie. Wciąż musimy po-



Rys. 6. Wynik działania demona Maxwella. Funkcje rozkładu cykli Poincarégo $P_{\mathrm{rec}}(t)$ dla układu przedstawionego na rys. 5 nie wykazują żadnych tendencji do relaksacji dla czasu $t > t^* \approx 2\times10^4$, gdzie t^* jest czasem rozgraniczającym dwa różne rodzaje zaniku funkcji rozkładu. Jeśli obie części układu mogą ze sobą oddziaływać, obserwuje się dwie różne funkcje rozkładu czasów powrotu (krzyżyki dotyczą obszaru po lewej stronie, a kółka – po prawej). Nie zaobserwowano żadnej tendencji do zbiegania rozkładów do jednego wspólnego rozkładu nawet dla czasu dłuższego niż $1{,}16\times10^{10}$ oraz 37 trajektorii [15].

szukiwać sposobów opisania i zrozumienia właściwości układów chaotycznych wraz z pułapkami, przelotami, rozkładami potęgowymi, nieskończonymi momentami itp.

Inaczej mówiąc, aby opisać chaos musimy się liczyć z koniecznością zaakceptowania takiej termodynamiki, w której nie ma miejsca ani na monotoniczną ewolucję układu, ani na obecność stacjonarnych statystyk, do których relaksacja nie trwa nieskończenie długo, ani też na fluktuacje o skończonym czasie relaksacji czy kinetykę prowadzącą tylko częściowo do przewidywalnej ewolucji (przynajmniej w skończonym czasie).

Obecny stan wiedzy skłania do wniosku, że wprowadzone na drodze aksjomatycznej pojęcie przypadku jest przybliżeniem pojęcia orbity chaotycznej, będącej rozwiązaniem deterministycznych równań Newtona, Maxwella czy Einsteina. Przybliżenie to samo w sobie jeszcze nie gwarantuje, że doprowadzi do tradycyjnej fizyki statystycznej z jej warunkiem skończonego czasu relaksacji układu do stanu równowagowego i szybko zanikających fluktuacji. Powinniśmy na nowo przemyśleć kryteria pozwalające na wprowadzenie fundamentalnych praw fizyki statystycznej bez uciekania się do tzw. granicy termodynamicznej ($N, V \to \infty$; $N/V = \text{const}$), która jest niepewną drogą obejścia, a nie rozwiązania problemu genezy podstawowych praw fizyki statystycznej.

8. Ważne implikacje

Nasza dyskusja podstaw fizyki statystycznej byłaby niepełna, gdybyśmy nie wspomnieli chociaż w kilku zdaniach o bezpośrednich zastosowaniach niepełnej przypadkowości chaosu i trwałości stanów nierównowagi. Jednym z takich spektakularnych zastosowań jest stacjonarny reaktor termojądrowy, czyli urządzenie, w którym zachodzą zderzenia cząstek opisywanych dynamiką chaotyczną i przerwania tych procesów, zwłaszcza na krawędzi obszaru plazmy. Chociaż liczba cząstek N jest zwykle bardzo duża, podobnie jak objętość, w której cząstki te się znajdują, to „termodynamika" procesu (reakcji łańcuchowej) zachodzącego w działającym reaktorze jest daleka od tego, co się zwykle rozumie pod tym terminem. Obok termodynamiki syntezy jądrowej, o której mamy stosunkowo niewiele do powiedzenia, istnieją dwa przykłady, które zawierają cały szereg obserwacji pozwalających na głębokie refleksje: stan (przejściowy) prowadzący do rozwiniętej turbulencji oraz ogromne fluktuacje długości lokalizacji w chaosie kwantowym [18]. Oba kierunki zasługują na osobne, szczegółowe potraktowanie.

Autor składa podziękowanie M. Shlesingerowi, J. Lowensteinowi oraz H. Weitznerowi za szereg pomocnych dyskusji, a M. Edelmanowi i L. Kuźniecowowi za pomoc w przygotowaniu rysunków. Niniejsza praca była wspierana przez Ministerstwo Marynarki Wojennej i Ministerstwo Energetyki USA.

Dodatek

Paradoks entropii a dynamika chaotyczna

Zaraz po opublikowaniu przez Ludwiga Boltzmanna twierdzenia H o monotonicznym wzroście entropii w miarę jak układ dąży do stanu równowagi, rozpoczęła się ostra dyskusja zainicjowana przez Ernsta Zermela i Josefa Loschmidta, którzy swoje zastrzeżenia przedstawili w postaci paradoksów.

Paradoks Zermela o powrotach. Zgodnie z twierdzeniem Poincarégo o powrotach, każdy punkt fazowy po upływie wystarczająco długiego, lecz skończonego czasu powraca nieskończenie wiele razy dowolnie blisko swego położenia wyjściowego. Na tej podstawie Zermelo twierdził, że także i entropia (jako funkcja stanu układu) powinna osiągać wartość początkową, wbrew twierdzeniu H.

Paradoks Loschmidta o odwracalności. Równania ruchu mechaniki są odwracalne w czasie, zatem obok procesów prowadzących do wzrostu entropii powinny istnieć procesy odwrotne, prowadzące do jej malenia.

Aby znaleźć rozwiązanie tych paradoksów, należy wykorzystać dwie ważne własności układów statystycznych. Pierwszą jest fantastycznie duża liczba cząstek tworzących układ (rzędu 10^{23}), a drugą – możliwość, wskazana przez Paula i Tatianę Ehrenfest, przejścia od opisu mikroskopowego stanów układu do opisu gruboziarnistego. Dzięki temu można było jednoznacznie obliczyć prawdopodobieństwo zajścia procesu odwrotnego (prowadzącego do malenia entropii) jako niezwykle mało prawdopodobnego.

Dynamika chaotyczna wprowadza nową koncepcję mieszania w przestrzeni fazowej i nowe rozumienie obu paradoksów. Po pierwsze zauważmy, że twierdzenie o powrotach Poincarégo nie jest związane z własnościami statystycznymi danego układu. Powroty występują zarówno w ewolucji o charakterze deterministycznym (np. w ruchu kwaziokresowym), jak i statystycznym. Dla niewielkiej liczby cząstek (nawet dwóch!) dynamika chaotyczna prowadzi do trajektorii, której złożoność w miarę upływu czasu rośnie. Powrót trajektorii do jej początkowego (np. kroplowego) wyglądu byłby zdarzeniem niewiarygodnie mało prawdopodob-

nym. „Gruboziarnistość" oznacza, że stan mikroskopowy układu jest wyznaczony z dokładnością do pewnej skończonej objętości ziarna Δ; zatem w praktyce nie potrafimy powiedzieć, w jakim stanie mikroskopowym znajduje się dany układ fizyczny, a jedynie w którym ziarnie znajduje się jego stan. Po pewnym czasie początkowa kropla cieczy fazowej jest rozsmarowana praktycznie na całą dostępną część przestrzeni fazowej, tak że objętość fazowa Δ zawiera (obok trajektorii dotyczącej ewolucji wyjściowego stanu mikroskopowego) także takie trajektorie, które początkowo mogły znajdować się gdziekolwiek w przestrzeni fazowej. Jak zatem znajdziemy pośród tej plątaniny tę jedyną trajektorię, po której układ poruszałby się z powrotem do punktu wyjścia zgodnie z propozycją Loschmidta? Przecież w modelu gruboziarnistym informacje o stanie początkowym układu zostały rozrzucone po praktycznie całej przestrzeni fazowej, znikając z najbliższego otoczenia Δ (zob. dyskusję w pracy [6]).

W niniejszym artykule wskazujemy, że dynamika chaotyczna, pomimo sukcesów odniesionych w rozwiązaniu powyższych paradoksów, potrafi *per se* wytworzyć długotrwałe fluktuacje (związane przede wszystkim z pułapkowaniem i przelotami), które uniemożliwiają spełnianie przez układ zwykłych praw termodynamiki nawet dla asymptotycznie długich czasów (pod warunkiem, że nie zostały narzucone dodatkowe ograniczenia).

Tłumaczył *Ryszard Kutner*
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Tłumacz pragnie wyrazić podziękowanie prof. Jarosławowi Piaseckiemu za polecenie mu niniejszego artykułu.

Literatura

[1] L. Boltzmann, *Wien Ber.* **66**, 275 (1872).
[2] E. Zermelo, *Wied. Ann.* **57**, 485 (1896).
[3] P. Ehrenfest, T. Ehrenfest, *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics* (Cornell Univ. Press, Ithaca, N.Y. 1959).
[4] M. Kac, *Probability and Related Topics in Physical Sciences* (Interscience, New York 1957).
[5] E. Fermi, J. Pasta, S. Ulam, *Los Alamos Scientific Report LA-1940* (1955), przedrukowany w: *Collected Works of Enrico Fermi*, t. 2 (Univ. of Chicago Press, Chicago 1965), s. 978; N. Zabusky, *J. Comput. Physics* **43**, 195 (1981).
[6] B.V. Chirikov, *Physics Reports* **52**, 263 (1981); N.S. Krylov, *Works on the Foundations of Statistical Physics* (Princeton Univ. Press, Princeton, N.J. 1979).
[7] G.M. Zaslavsky, *Chaos in Dynamic Systems* (Harwood, New York 1984).
[8] *Maxwell's Demon*, red. H.S. Leff, A.F. Rex (Princeton Univ. Press, Princeton, N.J. 1990).
[9] M.F. Shlesinger, G.M. Zaslavsky, J. Klafter, *Nature* **363**, 31 (1993).
[10] J.D. Meiss, *Rev. Mod. Phys.* **64**, 795 (1992).
[11] L. Kuznetzov, G.M. Zaslavsky, *Phys. Rev. E* **58**, 7330 (1998); A. Babiano, G. Boffetta, A. Provenzale, A. Vulpiani, *Phys. Fluids* **6**, 2465 (1994).
[12] G.M. Zaslavsky, D. Stevens, H. Weitzner, *Phys. Rev. E* **48**, 1683 (1993); M.F. Shlesinger, B.J. West, J. Klafter, *Phys. Rev. Lett.* **58**, 110 (1987); T. Solomon, E. Weeks, H. Swinney, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 3975 (1993); S. Benkadda, S. Kassibrakis, R. White, G.M. Zaslavsky, *Phys. Rev. E* **55**, 4909 (1997).
[13] G.M. Zaslavsky, M. Edelman, B. Niyazov, *Chaos* **7**, 159 (1997); V. Afraimovich, G.M. Zaslavsky, *Phys. Rev. E* **55**, 5418 (1997).
[14] J. Machta, *J. Stat. Phys.* **32**, 555 (1983).
[15] G.M. Zaslavsky, *Chaos* **5**, 653 (1995); G.M. Zaslavsky, M. Edelman, *Phys. Rev. E* **56**, 5310 (1997).
[16] E.W. Montroll, M.F. Shlesinger, w: *Studies in Statistical Mechanics*, red. J. Lebowitz, E. Montroll (North Holland, Amsterdam 1984), t. 11, s. 1; M.F. Shlesinger, *Ann. Rev. Phys. Chem.* **39**, 269 (1988).
[17] P. Lévy, *Théorie de l'addition des variables aléatoires* (Gauthier-Villiars, Paris 1937).
[18] B. Sundaram, G.M. Zaslavsky, *Phys. Rev. E* **59**, 7231 (1999).

Granty KBN z fizyki XVIII i XIX konkurs

Grants in physics of the State Committee for Scientific Research

Poniżej przedstawiamy listę projektów badawczych (grantów) z fizyki, finansowanych przez Komitet Badań Naukowych począwszy od stycznia 2000 r. (XVIII konkurs) i od czerwca 2000 r. (XIX konkurs). Ogólną informację o grantach KBN-u i wynikach I konkursu przedstawiliśmy w *Postępach Fizyki* **44**, 131 (1993), a wyniki kolejnych konkursów są podane w *Postępach Fizyki* **45**, 59 (1994), **45**, 365 (1994), **46**, 55 (1995), **47**, 263 (1996), **48**, 43 (1997), **49**, 42 (1998), **50**, 85 (1999) oraz **51**, 134 (2000). Wiele informacji o działalności KBN-u zawierają także artykuły A.Z. Hrynkiewicza: *Postępy Fizyki* **46**, 259 (1995) oraz **48**, 565 (1997).

Na XVIII konkurs wpłynęły 162 wnioski: 134 „zwykłe", 7 od „młodych badaczy" (w spisie: MB) i 21 „promotorskich" (w spisie: P). Przyznano finansowanie 48 wniosków „zwykłych", 5 „młodych badaczy" i 12 „promotorskich". Oceny projektów dokonał zespół w składzie: profesorowie Bożena Hilczer (IFM PAN, przewodnicząca), Stanisław Dembiński (UMK), Krzysztof Ernst (UW), Danuta Kisielewska (AGH), Jerzy Langer (IF PAN), Władysław Adam Majewski (UG), Roman Micnas (UAM), Andrzej Michał Oleś (UJ), Krzysztof Parliński (IFJ), Krzysztof Pomorski (UMCS), Jerzy Przystawa (UWr) i dr hab. Ewa Rondio (IPJ).

Na XIX konkurs wpłynęło 145 wniosków: 112 „zwykłych", 6 od „młodych badaczy" i 27 „promotorskich". Przyznano finansowanie 48 wniosków „zwykłych", 5 „młodych badaczy" i 23 „promotorskich". Oceny projektów dokonał zespół w składzie: profesorowie Władysław Adam Majewski (UG, przewodniczący), Stanisław Dembiński (UMK), Jan Jadżyn (IFM PAN), Danuta Kisielewska (AGH), Roman Micnas (UAM), Andrzej Mycielski (IF PAN), Andrzej Michał Oleś (UJ), Krzysztof Parliński (IFJ), Jerzy Przystawa (UWr), dr hab. Tadeusz Stacewicz (UW), profesorowie: Sławomir Wycech (IPJ), Jerzy Zioło (USl) i Jan Żylicz (UW).

Łącznie w 19 dotychczasowych konkursach w Sekcji Fizyki zawarto 1542 umowy, czyli średnio w każdym konkursie finansowano ponad 80 projektów.

Lista projektów została opracowana we współpracy z Panią mgr inż. Martą Minorską z Sekcji Fizyki KBN.

Redakcja

XVIII konkurs

Kierownik projektu Tytuł projektu	Liczba wykonawców; czas (w miesiącach); koszt (w zł)		
METODY MATEMATYCZNE, TEORIA POLA FIZYKA STATYSTYCZNA, ASTROFIZYKA			
prof. Tadeusz Paszkiewicz (IFT UWr) Fonony akustyczne w podłożach krystalicznych w obecności luk	8	24	121 330
dr Mieczysław Borowiec (IF PAN) Zjawiska kolektywne w Jahn-Tellerowskich kryształach ziem rzadkich o niskiej symetrii	13	31	80 000
dr hab. Krzysztof Pachucki (IFT UW) Precyzyjne obliczenie poziomów energetycznych atomu helu w ramach elektrodynamiki kwantowej	1	36	70 000
prof. Andrzej Pękalski (IFT UWr) Modelowanie ewolucji populacji w zmiennym środowisku metodami fizyki statystycznej	2	18	45 000

dr hab. Janusz Hołyst (IF PW)
Synchronizacja i kontrola układów chaotycznych o różnej liczbie stopni swobody (P) 3 30 35 000

mgr Prot Pakoński (IF UJ)
Periodycznie zaburzony problem Keplera (MB) 1 12 10 000

dr Marek Rogatko (WIBiS PL)
Czarne dziury i struny kosmiczne w niskoenergetycznej teorii strun 1 12 10 000

FIZYKA POŚREDNICH I WYSOKICH ENERGII

prof. Krzysztof Rybicki (IFJ)
Eksperyment H1: analiza fizyczna, modyfikacja i obsługa detektora 13 26 165 000

prof. Marek Zrałek (IF UŚl)
Uogólnienie modelu standardowego po wykryciu oscylacji neutrin w Superkamiokande 8 36 150 000

prof. Jerzy Bartke (IFJ)
Badanie oddziaływań ultrarelatywistycznych ciężkich jonów przy energii zderzenia 2,75 + 2,75 TeV na nukleon w eksperymencie ALICE na akceleratorze LHC w CERN-ie 18 24 140 000

prof. Jan Kalinowski (IFT UW)
Fenomenologiczne konsekwencje teorii supersymetrycznych 4 24 120 000

prof. Krzysztof Redlich (IFT UWr)
Zjawiska kolektywne w gęstej materii hadronowej 4 36 100 000

dr hab. Karol Kołodziej (IF UŚl)
Efekty masowe, radiacyjne i niestandardowe w procesach $e^+e^- \to 4f$ 3 24 70 000

dr hab. Stanisław Głazek (IFT UW)
Hamiltonowski opis stanów związanych w teoriach z asymptotyczną swobodą 1 36 40 000

prof. Barbara Badełek (IFD UW)
Pomiar asymetrii spinowych A_1 oraz spinowych funkcji struktury g_1 w obszarze małych wartości x oraz małych wartości Q^2 w rozpraszaniu spolaryzowanych mionów wysokiej energii (P) 2 12 15 000

prof. Jerzy Bartke (IFJ)
Produkcja naładowanych hadronów w zderzeniach elementarnych i jądrowych przy pędzie pocisku 158 GeV/c (P) 2 22 15 000

dr Beata Ziaja-Motyka (IFJ)
Analiza teoretyczna spolaryzowanego rozpraszania głębokonieelastycznego w obszarze małych wartości zmiennej x Bjorkena 1 18 15 000

prof. Marek Jeżabek (IF UŚl)
Poprawki QCD do rozpadów mezonów pięknych (P) 2 12 10 000

mgr Anna Kaczmarska (IFJ)
Identyfikacja jetów b za pomocą niskoenergetycznego leptonu w zderzeniach proton-proton przy 14 TeV (MB) 1 12 9880

mgr Mariusz Sapiński (IFJ)
Poszukiwanie cząstki Higgsa dla pośredniego zakresu masy w zderzeniach proton-proton przy 14 TeV (MB) 1 12 9500

FIZYKA JĄDROWA I FIZYKA PLAZMY

prof. Rafał Broda (IFJ)
Struktury yrastowe neutrono-nadmiarowych jąder w obszarze średnich i bardzo wysokich spinów 7 36 200 000

prof. Henryk Witała (IF UJ)
Dynamika oddziaływań 3-nukleonowych w ekskluzywnym procesie breakupu dp wywołanym spolaryzowanymi deuteronami 15 36 158 500

prof. Reinhard Kulessa (IF UJ)
Badanie izospinowej struktury gigantycznych rezonansów oraz skórki neutronowej przy pomocy egzotycznych wtórnych wiązek 9 30 124 875

FIZYKA ATOMOWA I MOLEKULARNA OPTYKA, AKUSTYKA

dr hab. Tadeusz Stacewicz (IFD UW)
Badanie zderzeń elektronów z atomami wzbudzonymi 6 36 180 000

dr Witold Chałupczak (IF UJ)
Badanie procesu zderzeń zimnych atomów rubidu 9 24 150 000

prof. Czesław Radzewicz (IFD UW)
Nieliniowa propagacja ultrakrótkich impulsów laserowych w dielektrykach 7 24 142 000

prof. Stanisław Chwirot (IF UMK)
Koincydencyjne badania procesu wzbudzenia elektronami atomów kadmu do pierwszego stanu singletowego typu P 4 24 110 000

dr Mirosław Bylicki (IF UMK)
Stany wzbudzone ujemnych jonów atomowych 4 31 51 000

dr hab. Ewa Stachowska (KFA PP)
Badanie struktury nadsubtelnej jonu neodymu metodą spektroskopii laserowej w katodzie wnękowej i w pułapce Paula (P) 2 30 30 000

dr hab. Ewa Stachowska (KFA PP)
Badanie struktury nadsubtelnej poziomów metatrwałych jonu ^{141}Pr metodą spektroskopii laserowej w pułapce Paula (P) 2 30 30 000

prof. Franciszek Kaczmarek (IF UAM)
Badanie procesów międzycząsteczkowych przebiegających w czasach pikosekundowych metodą skorelowanego w czasie liczenia pojedynczych fotonów (P) 2 24 27 400

prof. Ryszard Parzyński (IF UAM)
Wielokrotne rezonanse ramanowskie w fotojonizacji atomu rydbergowskiego (P) 2 21 22 000

METALE, MAGNETYKI, NADPRZEWODNIKI

prof. Karol Krop (WFiTJ AGH)
Magnetyzm i elektronowe właściwości materiałów typu ABO_3 — 10 36 192 000

prof. Aleksander Jabłoński (IChF PAN)
Efekty elastycznego rozpraszania elektronów na powierzchniach ciał stałych — 7 36 185 200

dr hab. Eugeniusz Żukowski (IF UwB)
Badanie własności elektronów przewodnictwa w metalach i stopach techniką spektroskopii komptonowskiej i magnetycznej dyfrakcji promieniowania X — 9 36 185 000

dr inż. Paweł Wodniecki (IFJ)
Badanie oddziaływań nadsubtelnych i przejść fazowych w związkach międzymetalicznych — 9 36 142 750

prof. Włodzimierz Dyakonov (IF PAN)
Oddziaływania elektron-fonon i transport ładunku w warstwach tlenków manganowo-lantanowych z kolosalnym magnetooporem — 15 32 140 000

prof. Zygmunt Henkie (INTiBS PAN)
Nowy efekt Kondo ferromagnetycznych przewodników — 9 24 140 000

prof. Józef Spałek (IF UJ)
Kwantowe przejścia fazowe, zrenormalizowane stany jednocząstkowe i własności termodynamiczne skorelowanych układów fermionowych — 11 30 140 000

prof. Karol Wysokiński (IF UMCS)
Transportowe i elektromagnetyczne własności skorelowanych układów nieuporządkowanych — 4 36 81 900

dr Grzegorz Litak (KMS PL)
Osobliwość Van Hove i nadprzewodnictwo w nieuporządkowanym Sr_2RuO_4 — 1 12 10 000

KRYSZTAŁY MOLEKULARNE I POLIMERY, CIECZE

dr hab. Maria Massalska-Arodź (IFJ)
Badanie przemiany szklistej w układach o złożonej dynamice — 10 35 150 000

dr hab. Zbigniew Postawa (IF UJ)
Desorpcja i nanolitografia warstw organicznych w wyniku procesów indukowanych niskoenergetycznym strumieniem cząstek — 6 35 135 000

dr hab. Marcin Krupski (IFM PAN)
Dynamika molekularna i struktura elektronowa kompleksów paramagnetycznych w elektrycznym polu krystalicznym modyfikowanym wysokim ciśnieniem hydrostatycznym i naprężeniem osiowym — 6 36 130 000

prof. Jan Jadżyn (IFM PAN)
Liniowa i nieliniowa spektroskopia dielektryczna układów mezogennych — 6 33 110 000

dr hab. Zbigniew Czapla (IFD UWr)
Deflekcja światła, struktura domenowa i przemiany fazowe w krysztale NH_4HSeO_4(AHSe) — 5 18 59 150

dr Stanisław Różański (LO Piła)
Własności dielektryczne ciekłokrystalicznych kompozytów i układów dyspersyjnych — 1 23 35 000

dr hab. Zygmunt Gburski (IF UŚl)
Badanie dynamiki molekuł w domieszkowanych fullerytach – symulacje komputerowe (P) — 2 24 25 700

dr hab. Zbigniew Postawa (IF UJ)
Badanie nanostruktur wytwarzanych w samoorganizujących się warstwach organicznych zbudowanych z molekuł tioli (P) — 3 20 23 775

mgr Radosław Michał Kowalczyk (IF UAM)
Badanie wpływu dynamiki molekularnej zna parametry hamiltonianu spinowego w wybranych monokryształach ferroelektrycznych z wiązaniem wodorowym (MB) — 1 12 10 000

PÓŁPRZEWODNIKI I IZOLATORY

dr hab. Tomasz Story (IF PAN)
Półprzewodnikowe struktury ferromagnetyczne — 12 36 200 000

prof. Lucjan Jacak (IF PWr)
Własności kropek kwantowych – w kierunku zastosowań – podczerwony laser na kropkach kwantowych — 10 36 170 000

dr Piotr Perlin (CBW PAN)
Efekt piezoelektryczny w azotkach metali grupy III i jego wpływ na własności optyczne i elektryczne niskowymiarowych struktur kwantowych typu GaN/InGaN i GaN/AlGaN — 11 24 140 000

prof. Jan Gaj (IFD UW)
Efekt Faradaya jako narzędzie badania kompleksów ekscytonowych — 7 24 115 000

dr hab. Piotr Zieliński (IFJ)
Modele dynamiki silnie anharmonicznych powierzchni i defektów sieci krystalicznych — 6 36 110 000

dr Jadwiga Bąk-Misiuk (IF PAN)
Zbadanie przyczyn anizotropowej generacji dyslokacji niedopasowania w układzie cienka warstwa/podłoże na przykładzie warstw epitaksjalnych AlGaAs na podłożu GaAs — 11 24 83 000

dr inż. Piotr Sitko (IF PWr)
Modele złożonych fermionów w opisie układów ułamkowego kwantowego efektu Halla — 5 24 80 000

dr Adam Babiński (IFD UW)
Kropki kwantowe $In_xGa_{1-x}As/GaAs$ w silnym polu elektrycznym — 5 18 67 600

mgr Łukasz Kłopotowski (IFD UW)
Tunelowanie ekscytonów w niesymetrycznym układzie studni kwantowych (MB) — 1 12 9890

EKOLOGIA, BIOFIZYKA, FIZYKA MEDYCZNA

dr Wiesław Węglarz (IFJ)
Charakteryzacja wieloskładnikowej dyfuzji wody w układach biologicznych meto-

dą obrazowania tensora dyfuzji i spektroskopii zlokalizowanej MRJ	8	24	120 000
dr hab. Mai Suan Li (IF PAN) Paramagnetyczne zjawisko Meissnera i dynamika zwijania się białek	4	36	101 830
prof. Michał Kurzyński (IF UAM) Dynamika białek – rola w procesach biologicznego przetwarzania energii swobodnej	4	36	85 000
prof. Michał Kurzyński (IF UAM) Średni czas pierwszego przejścia w stochastycznej teorii procesów biochemicznych (P)	2	24	25 000
dr hab. Zofia Drzazga (IF UŚl) Badanie oddziaływań zmiennych pól elektromagnetycznych z substancjami biologicznymi (P)	2	18	19 440
dr Iwona Mróz (WCh UWr) Badanie możliwości ewolucyjnych układów biologicznych o różnych stopniach złożoności	1	12	10 000

XIX konkurs

Kierownik projektu Tytuł projektu	Liczba wykonawców; czas (w miesiącach); koszt (w zł)		

METODY MATEMATYCZNE, TEORIA POLA FIZYKA STATYSTYCZNA, ASTROFIZYKA

dr hab. Karol Życzkowski (CFT PAN) Kwantowe splątanie i geometria przestrzeni stanów kwantowych	7	36	175 000
dr Dariusz Chruściński (IF UMK) Podejście perturbacyjne do problemu samooddziałujących cząstek naładowanych w elektrodynamice klasycznej	2	24	51 500
dr Wojciech Florek (IF UAM) Badanie mezoskopowych układów spinowych ($S = 1, 3/2, 5/2$) z izotropowym oddziaływaniem antyferromagnetycznym	3	17	19 990
dr hab. Rafał Abdank-Kozubski (IF UJ) Badania symulacyjne relaksacji uporządkowania atomowego dalekiego zasięgu w układach z nadstrukturami o wysokiej stabilności (P)	2	12	15 000
dr Andrzej Borowiec (IFT UWr) Geometria zespolona i nowa klasa metryk Einsteina	1	12	14 980
dr Maria Przybylska (IA UMK) Zastosowanie uogólnień równania Laxa do badania całkowalności układów nieliniowych (MB)	1	12	9950

FIZYKA POŚREDNICH I WYSOKICH ENERGII

dr hab. Andrzej Sandacz (IPJ) Badanie polaryzacji gluonów w nukleonie	7	36	180 000
dr Marek Idzik (WFiTJ AGH) Analiza danych z krzemowego detektora paskowego rejestrującego zderzenia ciężkich jonów dla eksperymentu NA50 w CERN	5	24	117 700
prof. Barbara Badełek (IFD UW) Opis procesów nieelastycznych z udziałem nukleonów i fotonów przy wysokich energiach	7	36	115 000
dr hab. Wojciech Broniowski (IFJ) Opis własności gęstej i gorącej materii hadronowej w oparciu o modele teoretyczne	3	36	100 000
dr hab. Elżbieta Richter-Wąs (IFJ) Strategie i potencjał dla poszukiwania nowej fizyki w multi-b-jetowych stanach końcowych w zderzeniu proton-proton przy 14 TeV	5	24	56 600
dr Zbigniew Rudy (IF UJ) Mechanizm podprogowej produkcji kaonów w zderzeniach proton-jądro	6	17	53 000
dr Janusz Gluza (IF UŚl) Poprawki kwantowe w modelu o symetrii lewo-prawo	2	18	40 000
dr Anna Staśto (IFJ) Badanie zderzeń leptonowych i hadronowych w granicy wysokich energii w oparciu o chromodynamikę kwantową	1	24	28 000
dr hab. Jacek Ciborowski (IFD UW) Measurement of the proton diffractive structure functions in the ZEUS experiment (P)	2	18	22 500
prof. Jan Nassalski (IPJ) Badanie rozpadów $K_L \to \pi^+\pi^- e^+ e^-$, $K_S \to \pi^+\pi^- e^+ e^-$ w eksperymencie NA48 (P)	2	18	22 500
prof. Bogdan Muryn (WFiTJ AGH) Produkcja czterocząstkowych stanów w oddziaływaniach dwufotonowych przy energiach LEPu. Wyznaczenie szerokości radiacyjnej rezonansów zawierających kwarki cc w oparciu o dane zebrane przez detektor DELPHI w CERN (P)	2	24	19 000
dr hab. Lech Mankiewicz (CAMK PAN) Efekty nieperturbacyjne w amplitudach ekskluzywnej produkcji mezonów w chromodynamice kwantowej	1	12	18 000
dr hab. Bohdan Grządkowski (IFT UW) Badanie niestandardowych oddziaływań bozonów Higgsa (P)	2	12	15 000
dr hab. Andrzej Magiera (IF UJ) Łamanie symetrii izospinowej w reakcjach $p + d \to {}^3H + \pi^-$ i $p + d \to {}^3He + \pi^0$ (P)	2	12	15 000

FIZYKA JĄDROWA I FIZYKA PLAZMY

prof. Krzysztof Pomorski (IF UMCS) Synteza i własności jąder atomowych dalekich od stabilności	10	36	180 000

prof. Stanisław Rohoziński (IFT UW)
Badanie kolektywnych własności jąder przejściowych — 8 36 120 000

prof. Jan Błocki (IPJ)
Model dynamiki reakcji głęboko-nieelastycznych i reakcji fuzji ciężkich układów — 3 36 72 000

dr Piotr Bożek (IFJ)
Efekty propagacji poza powłoką masy dla silnie oddziałujących układów hadronów — 1 27 30 000

dr Andrzej Staszczak (IF UMCS)
Chiralny model średniego pola w zastosowaniu do badania stabilności najcięższych jąder atomowych — 2 18 10 000

FIZYKA ATOMOWA I MOLEKULARNA OPTYKA, AKUSTYKA

dr hab. Jerzy Kamiński (IFT UW)
Kontrola procesów kwantowych zewnętrznym polem elektromagnetycznym — 6 36 135 000

dr hab. Marek Trippenbach (IFD UW)
Badanie własności wieloskładnikowych kondensatów Bosego–Einsteina i nieliniowa optyka fal materii — 4 24 118 000

dr hab. Arkadiusz Orłowski (IF PAN)
Efekty kwantowe w kryształach fotonowych — 4 24 117 000

prof. Franciszek Kaczmarek (IF UAM)
Światłowodowy laser zielony wzbudzany podczerwienią — 6 30 115 940

prof. Jan Badziak (IFPiLM)
Badanie strumieni jonów wytwarzanych przy oddziaływaniu pikosekundowych impulsów laserowych wielkiej mocy z tarczami z ciała stałego — 11 24 107 000

prof. Ryszard Parzyński (IF UAM)
Mieszanie stanów rydbergowskich o porównywalnych energiach nierezonansowym impulsem światła – rozstrzygnięcie istniejących kontrowersji — 4 18 60 000

dr hab. Józef Eugeniusz Sienkiewicz (WFTiMS PG)
Widma rentgenowskie ciężkich jonów — 2 12 19 900

mgr Marcin Ziółek (IF UAM)
Badanie i analiza niepożądanych efektów (artefaktów) występujących w pomiarach absorpcji przejściowej w femtosekundowej skali czasu (MB) — 1 12 19 500

dr hab. Janusz Braziewicz (IF WSP Kielce)
Badanie procesów jonizacji pocisków S, Ti, Fe w zderzeniach z atomami ciał stałych (P) — 2 18 18 380

METALE, MAGNETYKI, NADPRZEWODNIKI

dr Jan Mucha (INTiBS PAN)
Transport ciepła w metalicznych układach 4f-elektronowych o symetrii regularnej — 9 36 180 000

dr Krzysztof Rogacki (INTiBS PAN)
Zbadanie dynamiki układu nici wirowych w klasycznych i wysokotemperaturowych nadprzewodnikach antyferromagnetycznych — 4 36 160 000

dr Andrzej Sienkiewicz (IF PAN)
Wzbudzenia spinowe w silnych polach magnetycznych – narzędzie do badania dynamiki korelacji elektronowych — 7 30 144 000

dr hab. Bogusław Fugiel (IF UŚl)
Badanie wpływu poprzecznego pola elektrycznego na własności dielektryczne ferroelektryków z wiązaniem wodorowym — 4 24 100 000

prof. Jan Kołaczkiewicz (IFD UWr)
Rekonstrukcja ścian (111) monokryształów metali trudno topliwych pod wpływem adsorbatów metalicznych — 11 24 100 000

dr hab. Bogdan Bułka (IFM PAN)
Kwantowe przewodnictwo w nanostrukturach metalicznych — 6 24 99 875

dr hab. Romuald Lemański (INTiBS PAN)
Niejednorodne uporządkowanie ładunkowe i magnetyczne w układach skorelowanych elektronów — 3 36 93 600

prof. Janusz Zieliński (IF UŚl)
Renormalizacja oddziaływania elektron-fonon indukowana nadprzewodnictwem – lokalne korelacje a nadprzewodnictwo w modelu Hubbarda — 4 18 59 800

dr hab. Jan Maćkowiak (IF UMK)
Rozwinięcie perturbacyjne energii swobodnej hamiltonianu s-d z zastosowaniem do termodynamiki rozcieńczonych stopów magnetycznych — 2 24 45 000

prof. Józef Korecki (WFiTJ AGH)
Efekty rozmiarowe a właściwości elektronowe epitaksjalnych warstw magnetytu (P) — 2 24 28 000

dr Halina Misiorek (INTiBS PAN)
Własności transportowe nowych materiałów – nanokompozytów o trójwymiarowej, regularnej sieci klasterów w matrycach opali — 3 12 20 000

mgr Katarzyna Rećko (IF UwB)
Badanie uporządkowania krystalicznego i magnetycznego w stopach metalicznych $(U,Th,Sc)Fe_xAl_{12-x}$, $3{,}5 < x < 5$, z zastosowaniem metod dyfrakcji neutronów termicznych i promieni X oraz spektrometrii mössbauerowskiej (MB) — 1 12 19 955

mgr Piotr Zaleski (IF UwB)
Badanie własności magnetycznych i elektrycznych stopu Cr_3Si domieszkowanego Fe, Co i Ni (MB) — 1 15 19 955

dr hab. Bogdan Bułka (IFM PAN)
Transport jednoelektronowy w magnetycznych złączach tunelowych (P) — 2 12 19 750

prof. Zofia Drzazga (IF UŚl)
Badanie wpływu stałego pola magnetycznego na substancje biologiczne (P) — 2 15 18 520

prof. Andrzej Jezierski (IFM PAN)
Zbadanie wpływu nieporządku chemicznego i topologicznego na własności elektronowe i własności magnetyczne nowych

związków międzymetalicznych metodami *ab-initio* 1 12 18 500

dr inż. Maciej Łuszczek (WFTiMS PG)
Obliczenia struktur elektronowych wybranych nadprzewodzących układów tlenkowych rodziny $RBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (R = Y lub atom ziem rzadkich) z uwzględnieniem defektów sieci krystalicznej 2 12 17 500

prof. Jan Kłamut (INTiBS PAN)
Własności termomagnetyczne w stanach over- i underdoped wybranych nadprzewodników wysokotemperaturowych (efekty: Ettingshausena, Seebecka, Halla) (P) 2 18 15 000

prof. Stanisław Lewandowski (IF PAN)
Układ wielu złączy Josephsona w modelu RSJ (P) 2 12 15 000

dr inż. Jerzy Dryzek (IFJ)
Zastosowanie dyfuzyjnego modelu wychwytu pozytonów do badań granic ziaren 3 18 10 000

prof. Krzysztof Królas (IF UJ)
Badanie dynamicznych oddziaływań nadsubtelnych metodą zaburzonych korelacji kierunkowych (P) 2 6 10 000

prof. Andrzej Szytuła (IF UJ)
Systematyka struktur magnetycznych związków RTX (R = Tb–Er; T = Cu, Ag, Au; X = Si, Ge, Sn) (P) 2 6 10 000

dr hab. Adam Kiejna (IFD UWr)
Wielowarstwowe relaksacje płaszczyzn atomowych powierzchni Be i Mg(0001) 2 9 9994

KRYSZTAŁY MOLEKULARNE I POLIMERY, CIECZE

dr Stanisław Głowinkowski (IF UAM)
Badania struktury i dynamiki molekularnej w kompozytach polimer-napełniacz metodami magnetycznego rezonansu jądrowego 9 30 132 600

dr hab. Przemysław Byszewski (IF PAN)
Opracowanie założeń budowy pamięci molekularnych 7 24 116 200

dr hab. inż. lek. med. Halina Podbielska (IF PWr)
Wykorzystanie zjawiska rozpraszania światła do badań struktury biomateriałów zolżelowych i polimerycznych (P) 4 22 29 000

dr hab. Antoni Kocot (IF UŚl)
Analiza eksperymentalnych i symulowanych widm podczerwonych dla molekuł ciekłokrystalicznych (P) 4 20 27 500

prof. Stefan Jurga (IF UAM)
Badanie gęstości usieciowania polimerów metodami Magnetycznego Rezonansu Jądrowego (P) 2 18 22 500

dr hab. Andrzej Budkowski (IF UJ)
Wpływ modyfikacji oddziaływań międzyfazowych na zjawisko indukowanej powierzchnią separacji fazowej w cienkich warstwach polimerowych (P) 2 17 19 963

dr Zbigniew Koza (IFT UWr)
Statystyczna analiza działania silników molekularnych 1 15 19 560

dr hab. Andrzej Ślęzak (IF WSP Częstochowa)
Efekty grawitacyjne w osmotycznym i dyfuzyjnym transporcie membranowym roztworów nieelektrolitów (P) 3 12 15 000

dr hab. Andrzej Ślęzak (IF WSP Kielce)
Wpływ stężeniowych warstw granicznych na bierny osmotyczny i dyfuzyjny transport membranowy (P) 3 9 10 000

PÓŁPRZEWODNIKI I IZOLATORY

dr hab. Tadeusz Wosiński (IF PAN)
Wpływ ładunku dyslokacji niedopasowania na anizotropię odkształceń sieci krystalicznej półprzewodnikowych warstw epitaksjalnych 8 32 140 000

dr Bogdan Kowalski (IF PAN)
Struktura i własności powierzchni oraz obszaru przypowierzchniowego kryształów azotku galu 9 36 136 395

dr hab. Piotr Bogusławski (IF PAN)
Teoria układów półprzewodnikowych na bazie azotków III-V: efekty segregacji i nowe związki 4 24 120 000

prof. Jan Misiewicz (IF PWr)
Efekty ekscytonowe w modulacyjnie domieszkowanych heterozłączach $Al_{1-x}Ga_xAs/GaAs$ 7 24 99 240

prof. Jacek Kossut (IF PAN)
Stany ekscytonowe w drutach kwantowych z półprzewodników półmagnetycznych (P) 2 24 30 000

prof. Marek Szymoński (IF UJ)
Badanie elektronowo stymulowanej desorpcji halogenków metali alkalicznych w skalach nanometrowych (P) 2 24 30 000

prof. Mirosław Załużny (IF UMCS)
Elektrodynamika półprzewodnikowych studni kwantowych uwarunkowana wzbudzeniami podpasmo-podpasmo 3 31 25 000

mgr Arkadiusz Kudelski (IFD UW)
Anizotropia stanów ekscytonowych w płaszczyźnie heterostruktur zawierających jony magnetyczne (MB) 1 12 19 550

mgr Mirosław Kutrowski (IF PAN)
Triony w studniach kwantowych $Cd_{1-x}Mn_xTe$ domieszkowanych klinowo 1 12 17 500

prof. Andrzej Twardowski (IFD UW)
Związany polaron magnetyczny w półprzewodnikach półmagnetycznych z chromem (P) 2 12 13 800

Bieżące informacje o PAU

Kazimierz Grotowski

Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

Adam Sobiczewski

Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Warszawa

News from PAU

Abstract: Current informations on the Polish Academy of Arts and Sciences are given. These mainly concern new directorate and new members of the Mathematics, Physics and Chemistry Division of the Academy.

Staramy się informować Czytelników *Postępów Fizyki* o ważniejszych wydarzeniach zachodzących w Polskiej Akademii Umiejętności, szczególnie tych, które związane są ze środowiskiem fizyków. Są to z reguły krótkie artykuły [1] lub notatki w Kronice [2]. Niniejsza informacja dotyczy wyborów nowych władz Akademii i nowych jej członków.

Wyboru nowego zarządu i nowych członków PAU dokonano podczas Walnego Zgromadzenia Akademii, które odbyło się w jej siedzibie w Krakowie w dniu 17 czerwca 2000 r.

Na prezesa wybrano prof. Andrzeja Białasa (fizyka z Instytutu Fizyki UJ), a na wiceprezesów: prof. Jana Machnika (archeologa z Instytutu Archeologii i Etnologii PAN w Krakowie) i prof. Andrzeja Trzebskiego (fizjologa z Instytutu Nauk Fizjologicznych AM w Warszawie). Na sekretarza Akademii wybrany został ponownie prof. Jerzy Wyrozumski (historyk z Instytutu Historii UJ). Profesor Białas był poprzednio dyrektorem Wydz. III (tj. Wydz. Matematyki, Fizyki i Chemii) PAU.

W związku z wyborem wiceprezesów warto zwrócić uwagę, że wg Statutu PAU [3] (par. 8) jeden z dwóch wiceprezesów musi być wybrany spośród członków zamieszkałych w Warszawie.

W odróżnieniu od władz całej Akademii wybieranych przez Walne Zgromadzenie, władze poszczególnych wydziałów wybierane są na posiedzeniach administracyjnych tych wydziałów. Na interesującym nas głównie Wydziale III posiedzenie takie odbyło się 18 stycznia 2000 r. Na dyrektora Wydziału wybrano prof. Jerzego Habera, fizykochemika z Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN w Krakowie, a na wicedyrektora – prof. Józefa Siciaka z Instytutu Matematyki UJ. Sekretarzem Wydziału pozostał nadal prof. Andrzej Staruszkiewicz, fizyk z Instytutu Fizyki UJ.

Wśród nowych członków Wydz. III PAU, który nas szczególnie interesuje, nie było ani członków czynnych, ani zagranicznych. Nowymi zaś członkami korespondentami tego Wydziału zostali: Bogdan Bojarski (ur. w 1931 r.), matematyk, profesor Uniwersytetu Warszawskiego, dyrektor Instytutu Matematycznego PAN; Henryk Górecki (ur. w 1927 r.), specjalista w zakresie automatyki i robotyki, profesor AGH w Krakowie; Ryszard Sosnowski (ur. w 1932 r.), fizyk, profesor Instytutu Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana w Warszawie; Andrzej Trautman (ur. w 1933 r.), fizyk, profesor Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego.

Oto krótkie informacje o dwóch nowo wybranych fizykach.

Ryszard Sosnowski urodził się w 1932 r. w Białowieży. W roku 1950 ukończył Liceum im. Piotra Skargi w Pułtusku, jedną z najstarszych szkół średnich w Polsce. W tym samym roku został także laureatem I Olimpiady Matematycznej oraz rozpoczął studia na Wydz. Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, które ukończył w 1955 r. Bezpośrednio po studiach rozpoczął pracę w tworzącym się właśnie Instytucie Badań Jądrowych (IBJ), a następnie wyjechał na studia doktoranckie do Moskwy. W 1956 r. przerwał te studia, rozpoczynając jednoroczny staż w nowo utworzonym Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej, w grupie prof. Brunona Pontecorvo. Po powrocie do Warszawy w roku 1957 zorganizował w IBJ wspólnie z Janem Żyliczem Pracownię Spektroskopii Jądrowej, której podstawowym przyrządem był zbudowany przez nich spektrometr β. Badano w niej schematy rozpadu izotopów promieniotwórczych sprowadzanych z ZIBJ. Jednocześnie z inicjatywy profesorów Mariana Danysza i Jerzego Pniewskiego utworzył Pracownię Komór Pęcherzykowych, w której badano sprężyste rozpraszanie pionów π^- na jądrach węgla.

Stopień doktora uzyskał w 1960 r. za pracę nad polaryzacją elektronów β, wykonaną pod kierunkiem prof. Zdzisława Wilhelmiego. W tym samym roku rozpoczął staż w CERN-ie prowadząc badania oddziaływania wysokoenergetycznych pionów z protonami w wodorowej komorze pęcherzykowej. Od czasu powrotu do Warszawy w 1961 r. kontynuuje nieprzerwanie współpracę z CERN-em. Kierowany przez niego zespół w Warszawie wykorzystywał materiały uzyskane za pomocą działających w CERN-ie komór pęcherzykowych. Zespół ten wykazał m.in. istnienie korelacji między składową poprzeczną a podłużną pędu wytwarzanej cząstki (korelacje te nazwano Warsaw seagull effect). Sosnowski jest także jednym z autorów pracy, w której wprowadzono powszechnie stosowaną obecnie do opisu produkcji wielu cząstek wielkość charakteryzującą anizotropię rozkładu kątowego tych cząstek.

Stopień doktora habilitowanego uzyskał w roku 1964 za badania zależności średniego pędu poprzecznego cząstek wytwarzanych w wysokoenergetycznych zderzeniach, od ich masy. W latach 1968–69 odbył staż w Ecole Polytechnique w Paryżu. W 1975 r. rozpoczął dwuletni pobyt w CERN-ie, w zespole badającym emisję cząstek o bardzo dużym pędzie poprzecznym, uzyskiwanych przy zderzeniach przeciwbieżnych wiązek protonów. Głównym wynikiem prawie 10-letniej pracy tego zespołu było wykazanie, że cząstki o dużych pędach poprzecznych powstają w rezultacie zderzeń kwarków i gluonów. Istotny wkład Sosnowskiego i kierowanego przez niego zespołu warszawskiego do tych prac znalazł swój wyraz w wielokrotnym zapraszaniu go do referowania wyników tych prac na prestiżowych konferencjach międzynarodowych. Od 1984 r. prowadzi on w CERN-ie badania nad Modelem Standardowym kwarków i leptonów, w ramach eksperymentu DELPHI.

Tytuł profesora nadzwyczajnego otrzymał w 1970 r., a zwyczajnego w 1977 r. W roku 1976 został członkiem korespondentem, a w roku 1986 członkiem rzeczywistym PAN. Jest pracownikiem Instytutu Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, kieruje w tym Instytucie Pracownią Oddziaływań Elementarnych.

Był inicjatorem przystąpienia Polski do CERN-u, jest przedstawicielem Polski w Radzie tej Instytucji, przedstawicielem Polski w Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP), członkiem Komitetu Wykonawczego EPS i członkiem Rady Naukowej ZIBJ w Dubnej. Jest również przewodniczącym Komitetu Fizyki PAN oraz przewodniczącym Wydz. Matematyki, Fizyki, Chemii i Nauk o Ziemi Towarzystwa Naukowego Warszawskiego. W roku 1979 otrzymał (wspólnie z Andrzejem K. Wróblewskim) Nagrodę im. Marii Skłodowskiej-Curie, a w 1994 r. Medal Mariana Smoluchowskiego.

Andrzej Trautman urodził się w 1933 r. w Warszawie. Studia wyższe ukończył w 1955 r. na Wydz. Łączności Politechniki Warszawskiej. Stopień doktora uzyskał w 1959 r. w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie na podstawie pracy dotyczącej promieniowania grawitacyjnego, wykonanej pod kierunkiem Leopolda Infelda i Jerzego Plebańskiego. Promotorem był prof. Infeld. Stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1962 r. na Wydz. Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Rozprawa habilitacyjna dotyczyła zasad zachowania w ogólnej teorii względności. Tytuł prof. nadzw. otrzymał w 1964 r., a zwyczaj-

nego w roku 1971. W roku 1969 został wybrany na członka korespondenta PAN, a w 1976 r. na członka rzeczywistego.

Do 1961 r. pracował w Zakładzie Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, a od tego czasu do chwili obecnej w Instytucie Fizyki Teoretycznej UW. W Instytucie tym przeszedł wszystkie kolejne stanowiska od adiunkta do profesora zwyczajnego.

W swojej pracy doktorskiej sformułował warunki brzegowe dla równań pola grawitacyjnego, które są zgodne z występowaniem promieniowania i wykazał, że prowadzą one do malenia całkowitej energii promieniującego układu. Było to w istocie podaniem, po raz pierwszy w świecie, przekonujących argumentów za istnieniem promieniowania grawitacyjnego. Obserwacyjne odkrycie tego promieniowania przez Hulse'a i Taylora zostało uhonorowane Nagrodą Nobla z fizyki w 1993 r. W swoich dalszych pracach z zakresu ogólnej teorii względności i fizyki matematycznej otrzymał wiele innych wartościowych wyników. Razem z Ivonem Robinsonem znalazł np. nową, obszerną klasę ścisłych rozwiązań równań Einsteina, zawierającą proste, sferyczne fale grawitacyjne. Zwrócił uwagę na istnienie związków między własnościami fal grawitacyjnych a przenoszeniem przez nie informacji. Zbadał strukturę geometryczną równań Einsteina–Cartana w teorii grawitacji ze spinem i skręceniem. Podał geometryczną interpretację mechanizmu naruszania symetrii w teorii Yanga–Millsa.

Andrzej Trautman odbył wiele staży i wizyt w znakomitych ośrodkach naukowych. Wygłaszał tam referaty i cykle wykładów z zakresu ogólnej teorii względności i fizyki matematycznej. Wygłaszał także wykłady plenarne na prestiżowych konferencjach międzynarodowych.

W latach 1978-80 był wiceprezesem PAN, a w latach 1975–85 dyrektorem Instytutu Fizyki Teoretycznej UW. W różnych okresach pełnił funkcje: przewodniczącego Komitetu Fizyki PAN, wiceprezesa Polskiego Towarzystwa Fizycznego, członka Prezydium PAN, członka wielu rad naukowych. Obecnie kieruje Zakładem Teorii Względności i Grawitacji Instytutu Fizyki Teoretycznej UW. W latach 1979–84 był delegatem IUPAP do Międzynarodowej Komisji Ogólnej Teorii Względności i Grawitacji.

Ostatnio (14 lutego 2001 r.) otrzymał doktorat honorowy Uniwersytetu Śląskiego w Opawie (Czechy).

Na zakończenie tej informacji dodajmy może, że obecnie wśród 27 członków czynnych Wydz. III PAU jest 9 fizyków, a wśród 31 członków korespondentów (włączając w to 4 członków nowo wybranych) tego Wydziału 15 osób stanowią fizycy (włączając w to 2 fizyków nowo wybranych).

Literatura

[1] A. Hrynkiewicz, A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **50**, 78 (1999).

[2] A.Z. Hrynkiewicz, A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **49**, 52 (1998).

[3] Statut Polskiej Akademii Umiejętności (Jednolity tekst, uwzględniający zmiany Statutu przyjęte przez Walne Zgromadzenie dnia 27 maja 1993 r., opracowany w oparciu o upoważnienie zawarte w uchwale tegoż Walnego Zgromadzenia), Kraków 1993.

ISO 31 – leksykon SI

Jerzy Michał Massalski

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

ISO 31: a guide to SI

1. Wstęp

Normy ISO 31, które powstały w 1992 r., określają nazewnictwo i symbole wielkości fizycznych i jednostek miar w języku angielskim oraz językach narodowych państw, które są członkami ISO. Skrót ten oznacza Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (International Organization for Standarization), założoną w 1946 r. Do roku 1992 opracowała ona 8200 Międzynarodowych Norm ISO.

ISO jest światową federacją 90 państwowych instytucji normalizacyjnych. Opracowywanie norm ISO koordynuje Generalny Sekretariat z siedzibą w Genewie. W roku 1947 został utworzony Komitet Techniczny ISO/TC 12, którego zadaniem jest rozpowszechnianie Międzynarodowych Norm dotyczących wielkości i jednostek miar w nauce i technice. Sekretariat ISO/TC 12 od 1982 r. mieści się w Szwecji. Norma ISO 31 jest jednym z rezultatów działalności ISO/TC 12.

Oprócz ISO, jednostkami miar, nazewnictwem i stałymi fizycznymi zajmuje się także Międzynarodowa Unia Fizyki Czystej i Stosowanej (International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP), utworzona w 1922 r. w Brukseli. W każdym państwie członkowskim IUPAP jest reprezentowana przez komitet krajowy. W roku 1931 powołano Komisję Symboli, Jednostek i Nazewnictwa (Symbols, Units and Nomenclature, SUN) w celu promowania międzynarodowych porozumień i wydawania zaleceń normalizacyjnych. Ostatni dokument IUPAP-25 z 1987 r., zatytułowany *Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics* (Symbole, jednostki, nazewnictwo i stałe podstawowe w fizyce), został wydany w 1987 r. [1][1]. Normy ISO 31 są kontynuacją tego dokumentu, przedstawianego już na łamach *Postępów* [2,3].

Warto przy okazji wspomnieć o dwóch innych organizacjach, których zakres działalności dotyczy podobnych spraw. Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC), utworzona w 1919 r., jest autorytetem w zakresie nazewnictwa chemicznego, terminologii chemicznej, nazw i symboli pierwiastków oraz pokrewnych zagadnień. Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (International Electrotechnical Commission, IEC), utworzona w 1906 r., ustala światowe normy z dziedziny inżynierii elektrycznej i elektronicznej. Biuro Centralne IEC mieści się obok Generalnego Sekretariatu ISO w Genewie.

Konwencję Metryczną (La Convention du Mètre) podpisano 20 maja 1875 r. w Paryżu. Wkrótce potem utworzono Międzynarodowe Biuro Miar (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), działające pod nadzorem Międzynarodowego Komitetu Miar (Comité International des Poids et Mesures, CIPM), w któ-

[1] W roku 2000 Komitet Danych dla Nauki i Techniki (Committee on Data for Science and Technology, CODATA) opublikował nowe wartości podstawowych stałych fizycznych – por. notatkę w Kronice zesz. 6/2000 *PF* (przyp. Red.).

rego skład wchodzi 18 naukowców reprezentujących różne państwa członkowskie. Od roku 1927 CIPM założył osiem Komitetów Doradczych (Comités Consultatifs), które mają wspomagać CIPM w specjalistycznych zagadnieniach. Nad działalnością CIPM sprawuje nadzór Generalna Konferencja Miar (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM), składająca się z delegatów wszystkich państw członkowskich Konwencji Metrycznej, którzy spotykają się co 4 lata.

2. Miary i urząd miar w Polsce

W Polsce został w 1919 r. utworzony Główny Urząd Miar, którego nazwa i zakres działania ulegały zmianom w latach 1972–93. Ustawy z 3 kwietnia 1993 r. [4.5] powołały ponownie do życia Główny Urząd Miar (GUM) wraz z podległymi mu organizacjami: Polskim Komitetem Normalizacji (PKN) oraz Polskim Centrum Badań i Certyfikacji. Ustawy te ustalają jednocześnie legalne jednostki miar; zgodnie z nią inne jednostki (tzw. nielegalne) mogą być stosowane m.in. w pracach badawczych. Nowy wykaz jednostek nie należących do SI podaje rozporządzenie Rady Ministrów z 27 grudnia 1993 r. [6]. Ważnym uzupełnieniem tych aktów prawnych jest Zarządzenie Nr 4 Prezesa GUM z 17 stycznia 1994 r. [7], które ustala nazwy, definicje i oznaczenia jednostek miar SI oraz legalnych spoza SI, nazwy i oznaczenia przedrostków służących do tworzenia dziesiętnych wielokrotności i podwielokrotności jednostek SI oraz zasady ich stosowania, wreszcie zasady ogólne tworzenia nazw i oznaczeń jednostek miar.

PKN zamierza wydać drukiem normy ISO 31 jako polskie normy PN ISO 31. Szkoda, że ta akcja, będąca wyrazem poparcia PKN dla ISO 31, po upływie 8 lat wciąż jeszcze nie jest zakończona.

3. Omówienie wybranych norm ISO 31

Międzynarodowe normy ISO 31, opublikowane pod wspólnym tytułem „Wielkości fizyczne i jednostki miar", składają się z 14 następujących części zwanych arkuszami: 0. Zasady ogólne; 1. Przestrzeń i czas; 2. Zjawiska okresowe i pokrewne; 3. Mechanika; 4. Ciepło; 5. Elektryczność i magnetyzm; 6. Światło i ogólnie promieniowanie elektromagnetyczne; 7. Akustyka; 8. Chemia fizyczna i fizyka molekularna; 9. Fizyka atomowa i jądrowa; 10. Reakcje jądrowe i promieniowanie jonizujące; 11. Znaki i symbole matematyczne, zalecane do stosowania w naukach fizycznych i technice; 12. Liczby charakterystyczne; 13. Fizyka ciała stałego.

W arkuszu ISO 31-0 podano ogólne informacje dotyczące wielkości fizycznych, wzorów, oznaczeń wielkości i jednostek miar (zwłaszcza SI). Informacje te są przeznaczone do wykorzystania w różnych dziedzinach nauki i techniki, a ponadto służą jako ogólne wprowadzenie do pozostałych arkuszy.

Norma ISO 31-5 podaje nazwy i oznaczenia 70 wielkości i jednostek miar z dziedziny elektromagnetyzmu, zebrane w 18-stronicowej tabeli, powołując się często na dokument IEC 27-1 „Symbole literowe do stosowania w elektrotechnice. Postanowienia ogólne". Arkusz kończy się załącznikami informacyjnymi A i B o układzie gaussowskim („symetrycznym"), opartym na 3 jednostkach podstawowych: długości, czasu i masy, o jednostkach odpowiednio centymetr, sekunda i gram. Dla czytelników *Postępów* interesująca może być informacja, że w nazwie wielkości lub jednostki w układzie Gaussa zaleca się dodawanie przymiotnika „gaussowski", np. gaussowski potencjał elektryczny.

Norma ISO 31-7 na 24 stronach podaje nazwy i oznaczenia 40 wielkości i jednostek miar z dziedziny akustyki, zebrane w 18-stronicowej tabeli, natomiast arkusz 31-8 oprócz 65 nazw i oznaczeń jednostek miar podaje także w załącznikach nazwy i symbole pierwiastków chemicznych oraz nuklidów, a także tabele wartości pH.

Arkusz ISO 31-11 obok ogólnych informacji o znakach i symbolach matematycznych podaje (w tabeli rozmieszczonej na 28 stronach) 194 symbole z całego zakresu matematyki, podzielonego na 12 działów. Warto odnotować zalecaną postać symboli funkcji trygonometrycznych: tan, cot, sec, csc.

Norma ISO 31-12 podaje nazwy i oznaczenia liczb charakterystycznych stosowanych w opisie zjawisk przenoszenia pędu (9 liczb), ciepła (5 liczb), materii dwuskładnikowej (5 liczb) oraz stałe materii (3 liczby) i 4 liczby charakterystyczne z dziedziny magnetohydrodynamiki. Arkusz zawiera także oznaczenia wielkości fizycznych służących do definicji tych liczb.

Międzynarodowa Skala Temperatury z 1990 r. (MST-90)

Zarządzenie Nr 161 Prezesa GUM z dnia 25 października 1996 r. [8] wprowadza z dniem 1 stycznia 1997 r. Międzynarodową Skalę Temperatury z 1990 r. jako państwową skalę temperatury. Skala ta została przyjęta przez przez Międzynarodowy Komitet Miar na sesji w 1989 r. (zgodnie z dyspozycją 7 Rezolucji osiemnastej Generalnej Konferencji Miar z 1987 r.) w miejsce Międzynarodowej Praktycznej Skali Temperatury z 1968 r. w wersji poprawionej w 1975 r. [9]. MST-90 została w ten sposób skonstruowana, że każda temperatura mierzona w tej skali jest bardzo dobrym przybliżeniem temperatury termodynamicznej. Pomiary te są łatwe do przeprowadzenia i mają wysoką odtwarzalność. Pomiary temperatury termodynamicznej są znacznie trudniejsze. W MST-90 używa się zarówno Międzynarodowej Temperatury Kelvina T_{90}, jak i Międzynarodowej Temperatury Celsjusza t_{90}. Zależność między T_{90} a t_{90} jest taka sama jak między T i t, tzn. $t_{90} = T_{90} - 273{,}15$. MST-90 opiera się na zadanych wartościach temperatury pewnej liczby odtwarzanych stanów równowagi (określonych punktów stałych) i na przyrządach wzorcowanych w tych punktach. MST-90 obejmuje zakres temperatury od 0,65 K do najwyższej temperatury praktycznie mierzalnej przy wykorzystaniu prawa promieniowania Plancka. Zakres powyższy jest podzielony na podzakresy. W każdym z nich podaje się odrębną definicję T_{90}; te różne definicje są równorzędne.

Między 0,65 K a 5,0 K temperaturę T_{90} definiuje się zależnościami ciśnienia pary od temperatury dla ^{3}He i ^{4}He.

W zakresie od 3,0 K do punktu potrójnego neonu (24,5561 K) T_{90} definiuje się za pomocą helowego termometru gazowego ^{3}He lub ^{4}He o stałej objętości, wywzorcowanego w trzech uzyskanych doświadczalnie temperaturach o wyznaczonych wartościach liczbowych: w punkcie potrójnym neonu, w punkcie potrójnym wodoru w równowadze (13,8033 K) oraz w temperaturze między 3,0 K a 5,0 K (za pomocą termometru gazowego mierzącego ciśnienie par ^{3}He lub ^{4}He).

W zakresie od punktu potrójnego wodoru (13,8033 K) do punktu krzepnięcia srebra (1234,93 K) T_{90} wyznacza się za pomocą oporowych termometrów platynowych wywzorcowanych w definicyjnych punktach stałych. Powyżej punktu krzepnięcia srebra (1234,93 K) temperatura T_{90} zdefiniowana jest przez określony definicyjny punkt stały i prawo promieniowania Plancka.

Literatura

[1] *Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics*, oprac. E.R. Cohen, P. Giacomo, Document I.U.P.A.P.-25 (SUNAMCO 87-1), 1987.

[2] E.R. Cohen, B.N. Taylor (tłum. i tablice opracował M. Suffczyński), *Postępy Fizyki* **40**, 129 (1989).

[3] J. Massalski, *Postępy Fizyki* **48**, 227 (1997).

[4] Ustawa o utworzeniu Głównego Urzędu Miar, Dz.U. Nr 55, poz. 247 (1993).

[5] Ustawa Prawo o miarach, Dz.U. Nr 55, poz. 248 (1993).

[6] Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 27 grudnia 1993 r., Dz.U. Nr 133, poz. 639.

[7] Zarządzenie Prezesa GUM Nr 4 z dn. 17 stycznia 1994 r., Dz. Urz. M. i Prob. Nr 2.

[8] Zarządzenie Prezesa GUM Nr 161 z dn. 25 października 1996 r., Dz. Urz. M. i Prob. Nr 27, poz. 168 (1996).

[9] J. Massalski, J. Studnicki, *Legalne jednostki miar i stałe fizyczne* (Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999).

Kazimierz F. Wojciechowski (1931 – 2000)

Adam Kiejna

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski

3 września 2000 r. zmarł we Wrocławiu prof. dr hab. Kazimierz Franciszek Wojciechowski, wybitny fizyk, profesor zwyczajny Uniwersytetu Wrocławskiego.

Urodził się 13 sierpnia 1931 r. w Zegrzu k. Warszawy w rodzinie oficera Wojska Polskiego. Dzieciństwo spędził w majątku na Wileńszczyźnie. Po zajęciu tych terenów najpierw przez wojska sowieckie, a potem niemieckie, wraz z rodziną udało mu się wyjechać do majątku dziadka w Wielkopolsce, skąd po zakończeniu wojny trafił do Zielonej Góry, gdzie ukończył szkołę średnią.

W 1951 r. rozpoczął studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Tytuł magistra otrzymał w 1955 r. za pracę napisaną pod kierunkiem prof. Jana Łopuszańskiego. Jego cała droga naukowa związana była z Uniwersytetem Wrocławskim, gdzie przeszedł wszystkie szczeble kariery naukowej. Jeszcze w czasie studiów został przyjęty (1953 r.) na stanowisko zastępcy asystenta w Katedrze Fizyki Doświadczalnej UWr, kierowanej przez prof. Jana Nikliborca, który wywarł wielki wpływ na jego dalszą działalność.

Po ukończeniu studiów jego zainteresowania naukowe skoncentrowały się na teorii stopów metalicznych. Kazimierz Wojciechowski sformułował teorię przejścia typu porządek-nieporządek w stopach n-składnikowych, określając liczbę niezależnych parametrów uporządkowania, oraz uogólnił teorię Bragga–Williamsa na stopy wieloskładnikowe. Badania te zostały uwieńczone doktoratem z fizyki teoretycznej (1961 r.) na podstawie rozprawy, której promotorem był prof. Jan Łopuszański.

Doskonała intuicja fizyczna, którą był obdarzony, oraz współpraca z fizykami doświadczalnymi zadecydowały, że po doktoracie, na początku lat 60., zajął się teorią zjawisk zachodzących na powierzchni metali. W ten sposób zainicjował badania teoretyczne w zakresie fizyki powierzchni ciała stałego w Polsce. Prace Kazimierza Wojciechowskiego dotyczące m.in. tzw. kwantowego efektu rozmiarowego i adsorpcji na metalach, były pionierskie w skali światowej i dzisiaj, z perspektywy lat, wiemy, że stanowiły zalążek wrocławskiej szkoły teorii zjawisk powierzchniowych, której był założycielem.

W latach 1965–68 opracował pierwszą w świecie kwantową teorię adsorpcji atomów metali alkalicznych i ziem alkalicznych na metalach. Jej wyniki opublikowane w serii artykułów (*Proc. Phys. Soc.* **87**, 583 (1966), *Acta Phys. Polon.* **29**, 119 (1966) i **33**, 363 (1968)) były szeroko cytowane w literaturze światowej. Teoria ta stanowiła podstawę jego rozprawy habilitacyjnej (1969 r.).

W latach 1969–77 Kazimierz Wojciechowski był zatrudniony na stanowisku docenta w Instytucie Fizyki Doświadczalnej UWr, gdzie od 1973 r. kierował Zakładem Teorii Powierzchni Metali. W roku 1977 uzyskał tytuł profesora nadzwyczajnego, a w 1989 r. tytuł profesora zwyczajnego. Od roku 1984 aż do śmierci kierował Zakładem Adsorpcji, zajmując się głównie problematyką właściwości elektronowych powierzchni metali czystych i pokrytych adsorbatem. Jednym z jego ważnych osiągnięć w tej dziedzinie było doświadczalne wyjaśnienie obserwowanego minimum zależności zmian pracy wyjścia od pokrycia

warstwą atomów metali alkalicznych jako spowodowanego metalizacją warstwy.

Kazimierz Wojciechowski

W latach 90. opublikował szereg prac dotyczących pracy wyjścia, tj. podstawowej wielkości używanej zarówno w elektronice emisyjnej, jak przy opisie procesów fizykochemicznych zachodzących na powierzchni metali i stopów, kwantowego efektu rozmiarowego oraz energii powierzchniowej metali prostych w ramach teorii pseudopotencjału. Zaproponował opis fizycznych właściwości metali przejściowych za pomocą gazu elektronów „metalicznych". Dzięki swojej ogromnej wiedzy i erudycji formułował wyrażenia, które w stosunkowo prosty sposób pozwalały przewidywać właściwości fizyczne materiałów na podstawie ich głównych parametrów fizycznych.

Warto wspomnieć, że Kazimierz Wojciechowski zajmował się także historią fizyki i matematyki, badając życie i twórczość wielkiego średniowiecznego optyka i filozofa śląskiego – Witelona.

Przez ostatnich kilka lat toczył heroiczną walkę z chorobą, pracując intensywnie do ostatnich tygodni swego życia. Już przykuty do szpitalnego łóżka, na kilkanaście tygodni przed śmiercią, na przekór cierpieniom, czynnie współuczestniczył w badaniach dotyczących anizotropii pracy wyjścia w metalach szlachetnych.

Był autorem lub współautorem ponad 120 publikacji naukowych wydrukowanych w zdecydowanej większości w renomowanych czasopismach międzynarodowych, w tym monografii *Metal Surface Electron Physics* (Pergamon-Elsevier, Oxford 1996). Monografię tę, która zawiera wiele wyników jego prac, napisał wspólnie z autorem niniejszego wspomnienia, który był jego uczniem.

Działalność naukowa Kazimierza Wojciechowskiego była uznawana i ceniona w świecie. Jednakże aż do początku lat 70. nie mógł korzystać z przysyłanych z zagranicy zaproszeń do współpracy i uczestnictwa w konferencjach ze względu na zakaz wyjazdu z PRL (w początkowym okresie nawet do ZSRR). Był członkiem stowarzyszonym Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej w Trieście (Włochy). W roku 1972 odbył tam dłuższy staż naukowy, a później był kilkakrotnie zapraszany w charakterze wizytującego specjalisty. Był też członkiem zarządu Sekcji Fizyki Powierzchni Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (1980–83). Recenzował prace dla kilku czasopism fizycznych, w tym tak renomowanych, jak *Surface Science* czy *Physical Review*.

Profesor Kazimierz Wojciechowski interesował się również praktycznymi zagadnieniami ochrony środowiska, prowadząc – obok głównego nurtu swych zainteresowań – badania nad dyfuzją zanieczyszczeń przemysłowych w atmosferze. W tym zakresie sformułował m.in. wzór na opad pyłu, uwzględniający pionowy gradient temperatury, oraz był współautorem pionierskiego w Polsce modelu obliczania stężeń zanieczyszczeń gazowych powietrza, powodowanych przez układ wielu kominów, w zależności od warunków pogodowych. Wyniki tych badań były wykorzystywane w projektach ochrony powietrza na terenie Lubińsko-Głogowskiego Zagłębia Miedziowego. Za swą działalność na tym polu otrzymał Nagrodę Ministra Górnictwa i Hutnictwa (1975 r.).

Kazimierz Wojciechowski był długoletnim członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego, pełniąc m.in. w latach 1978–80 funkcję przewodniczącego Oddziału Wrocławskiego. Przez wiele lat (1978–86) przewodniczył także IV Oddziałowi Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego.

Za wybitne osiągnięcia naukowe otrzymywał wielokrotnie nagrody Rektora UWr, a kilkakrotnie Nagrody Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (1965, 1971) i Ministra Edukacji (1998, 2000). Otrzymał honorową Odznakę Uniwersytetu Wrocławskiego i był odznaczony Złotym Krzyżem Za-

sługi oraz Krzyżami Kawalerskim i Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Pracował samotnie, lecz był osobą towarzyską. Chętnie udzielał porad i konsultacji, dzieląc się swą wiedzą z innymi. Był współorganizatorem i kierownikiem Studium Doktoranckiego na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii UWr, pełnił funkcję zastępcy dyrektora IFD do spraw studiów doktoranckich i podyplomowych, a później do spraw dydaktyki. Był opiekunem kilkudziesięciu prac magisterskich, wypromował 4 doktorów. W ciągu całej swej działalności niezmiennie dbał o zachowanie wysokich standardów pracy naukowej i wymagał tego od innych.

Profesor Kazimierz Wojciechowski był nie tylko wybitnym uczonym, ale również człowiekiem o wielkiej kulturze i uroku osobistym. Obdarzony dużym talentem plastycznym, potrafił znaleźć czas na malowanie, stanowiące jedną z jego pasji. Był doskonałym znawcą historii i miłośnikiem muzyki Beethovena. Jego kontakty ze współpracownikami cechowało ciepło i życzliwość. Zawsze można było liczyć na jego radę i pomoc w trudnych sprawach naukowych i osobistych. Pobłażliwy dla ludzkiej niedoskonałości i niedociągnięć w błahych sprawach, nie tolerował głupoty i niekompetencji uprawianych pod przykrywką nauki.

Straciliśmy mądrego Mistrza, kolegę i zaufanego Przyjaciela. Została po Nim wielka pustka, którą trudno będzie wypełnić.

WSPOMNIENIA – ROCZNICE

Setna rocznica urodzin Wolfganga Pauliego*

Charles P. Enz

Ecole de Physique, Université de Genève, Szwajcaria

Wolfgang Pauli's 100th birthday

Czasopismo *Physics World* zapytało niedawno swoich czytelników, kogo uważają za najważniejszych fizyków w historii. Wśród pierwszych dziesięciu nie znalazł się Wolfgang Pauli. Było to zaskoczeniem dla ludzi starszej generacji, dla których Pauli był „sumieniem fizyki". Może to jednak dowodzi, że zarówno jego zasada wykluczania, jak i wprowadzone przez niego neutrino, z początku trudne do przyjęcia, stały się dziś pojęciami obiegowymi, a jego cięty dowcip nie robi już wrażenia na pokoleniu komunikującym się e-mailem.

Kim więc był ten człowiek? Pauli urodził się ponad 100 lat temu, 25 kwietnia 1900 r., w Wiedniu. Jego ojciec, Wolf Pascheles, pochodził ze znanej żydowskiej rodziny osiadłej w Pradze. Tam

*Artykuł, opublikowany w *Europhysics News* **31**, nr 4, 12 (2000), został przetłumaczony za zgodą Wydawcy [Translated with permission] (przyp. Red.).

studiował on medycynę razem z jednym z synów Ernsta Macha i chodził na wykłady samego Macha. Jako młody lekarz Wolf Pascheles przeniósł się w 1893 r. do Wiednia, przybrał nazwisko Pauli i przyjął katolicki chrzest, a w 1899 r. ożenił się. Mach, który w 1895 r. objął katedrę filozofii na Uniwersytecie Wiedeńskim, zgodził się być ojcem chrzestnym syna Pauliego – Wolfganga.

Mając 13 lat Wolfgang czytał już słynną *Mechanikę* Macha, której egzemplarz dostał od autora wraz z dedykacją. W wieku 18 lat, zanim jeszcze został studentem Arnolda Sommerfelda w Monachium, Pauli opublikował swoją pierwszą pracę z teorii względności. Sommerfeld, który zdał sobie sprawę, iż ten młody człowiek wiele się już od niego nie nauczy, namówił go do napisania artykułu przeglądowego o teorii względności do *Encyklopedii matematyki* (*Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften*). Ta nieomal doskonała praca, opublikowana w 1921 r. i cytowana do dziś, uczyniła Pauliego sławnym.

Ostry dowcip Pauliego był już wtedy dobrze znany. Gdy w roku 1922 Paul Ehrenfest, który również napisał artykuł do *Encyklopedii*, spotkał Pauliego, powiedział mu: „Pauli, wolę twój artykuł do *Encyklopedii* od ciebie samego", na co Pauli miał odpowiedzieć: „To dziwne, bo ja mam zupełnie przeciwne odczucie!". Rok akademicki 1922/23 spędził Pauli w Kopenhadze, w Instytucie Bohra. Zaprzyjaźnił się tam z asystentem Bohra, Hansem Kramersem, który kiedyś powiedział mu: „Pauli, masz lepsze serce niż dowcip!".

Wolfgang Pauli

Następne sześć lat Pauli spędził w Hamburgu i tam narodziły się trzy podstawowe idee. Po pierwsze, wprowadził on czwartą liczbę kwantową elektronu, powiązaną potem ze spinem. Korzystając z niej, sformułował następnie zasadę wykluczania (zakaz Pauliego), która wyjaśniała układ okresowy pierwiastków. Okazało się później, że właśnie ta zasada jest wręcz odpowiedzialna za trwałość materii. Jeszcze wcześniej, dla wyjaśnienia nadsubtelnej struktury widm, wysunął hipotezę istnienia spinu jądrowego. Hamburg był również sceną dyskusji Pauliego z Ottonem Sternem. Mimo przyjaźni Stern nie pozwalał mu wchodzić do swego laboratorium ze względu na „efekt Pauliego" – mówiono, że ilekroć Pauli wchodził do pracowni, coś się psuło. Pauli w to wierzył i bawiło go to.

W roku 1928 Pauli objął po Peterze Debye'u katedrę na ETH (Politechnice Federalnej) w Zurychu. Przyjmując tę propozycję, postawił tylko jeden warunek: – Chcę mieć asystenta. Pozostał na tym stanowisku do końca życia, a asystenci zmieniali się kolejno w tym czasie; było ich dwunastu. Pierwszym asystentem Pauliego był Ralf Kronig.

Wspólnie z nim i swoim kolegą doświadczalnikiem Paulem Scherrerem badał Pauli nocne życie Zurychu. Drugim asystentem był Felix Bloch, późniejszy laureat Nagrody Nobla. O trzecim, Rudolfie Peierlsie, który przybył do niego z Berlina, Pauli powiedział: „Peierls mówi tak szybko, że gdy się zrozumie, co powiedział, to on twierdzi już coś przeciwnego". Czwartym asystentem był Hendrik Casimir, późniejszy dyrektor zakładów Philipsa w Eindhoven. Gdy Pauli słyszał, że ktoś jedzie do Holandii, mówił mu: „Jeśli spotkasz się z Casimirem, zwracaj się do niego »Herr Direktor«, bo to go irytuje!". Jego piąty asystent, Victor Weisskopf, miał nieszczęście opublikować wyniki obliczeń energii własnej elektronu ze złym znakiem. Widząc to, Pauli mruknął: „Powinienem był wziąć Bethego", gdyż Hans Bethe był doskonałym rachmistrzem, ale wolał pracować w dziedzinie fizyki ciała stałego, co wywołało niezadowolenie Pauliego. Wydaje się, że następni asystenci byli już oceniani łagodniej, aż do ostatniego, czyli mnie. Nie wiedziałem na początku mej kariery asystenckiej, że do moich obowiązków należy m.in. zdobywanie dla Pauliego i jego współpracowników biletów na koncerty muzyki klasycznej. Któregoś dnia znalazłem w swojej poczcie kartkę wysłaną z pewnego baru w centrum Zurychu. Pauli robił mi w niej wymówki, że opuścił koncert Isaaca Sterna, i kończył: „Z nadzieją na lepsze czasy".

Była jednak też mniej znana strona osobowości Pauliego. Na początku profesury na ETH popadł w nerwicę. Jego przyjaciel i kolega z Uniwersytetu Zurychskiego Gregor Wentzel usłyszał kiedyś od niego: „Z kobietami zupełnie mi nie idzie". Rzeczywiście, jego pierwsze małżeństwo rozpadło się po niecałym roku. A jednak w tym właśnie okresie Pauli wpadł na pomysł neutrina jako wyjaśnienia niedoboru energii w rozpadzie beta. W roku 1932 Pauli poznał w Zurychu słynnego psychiatrę Carla Gustava Junga. Wynikiem tego spotkania była trwająca trzy lata kuracja psychoanalityczna. Wkrótce potem Pauli ożenił się znowu i tym razem małżeństwo było trwałe. Jung bardzo szybko się zorientował, że Pauli ma częste sny sięgające głęboko w ludzką psychikę, aż do archetypów. Było to bardzo interesujące dla psychologa i na prośbę Junga Pauli spisywał swoje sny, co stało się podstawą fascynującej wymiany idei między nimi, która trwała prawie do śmierci Pauliego.

Lata 1940–46 spędził Pauli w Stanach Zjednoczonych, w Instytucie Studiów Zaawansowanych w Princeton. Tam opublikował słynne twierdzenie o statystyce spinowej, chyba swoją najznakomitszą pracę. W Princeton doszła go w listopadzie 1945 r. wiadomość o przyznaniu mu Nagrody Nobla za zasadę wykluczania. Pauli pojechał do Sztokholmu dopiero w 1946 r., w drodze powrotnej do ETH w Zurychu. Natomiast jeszcze w Princeton odbyła się wielka uroczystość, w czasie której Einstein nieoczekiwanie wygłosił toast, mianując Pauliego swoim duchowym synem i następcą w Instytucie Studiów Zaawansowanych.

Po powrocie do Zurychu jego zakład stał się światowym centrum kwantowej teorii pola. Ponadto, Pauli pod wpływem swoich snów poświęcał wiele czasu rozmyślaniom nad archetypami idei fizycznych. Po raz pierwszy przedstawił je w swoim doniosłym eseju o Johannesie Keplerze; następnie przeszedł do ogólnych rozważań o ideach fizycznych. W połowie lat pięćdziesiątych, znów pod wpływem swoich snów, zajął się pojęciem symetrii i napisał ważną pracę o twierdzeniu CPT. Była ona jakby zwiastunem sensacyjnej wiadomości ze stycznia 1957 r. o naruszeniu parzystości w oddziaływaniach słabych. W ostatnim roku swego życia dał się porwać „formule świata", nieliniowej wersji równania Diraca, sformułowanej przez swego starego przyjaciela Wernera Heisenberga, któremu udało się wprowadzić do tego równania wewnętrzną symetrię. Wkrótce potem Pauli zdał sobie jednak sprawę z wad takiego podejścia i – rozczarowany – wycofał się. Po krótkiej walce z rakiem zmarł w Zurychu 15 grudnia 1958 r.

Tłumaczyła *Barbara Wojtowicz*
Warszawa

Studia Licencjackie „Fizyka środowiska" na Uniwersytecie Warszawskim

Konrad Bajer

Instytut Geofizyki, Uniwersytet Warszawski

Bachelor Studies „Physics of the Environment" at Warsaw University

Abstract: We discuss the curriculum of the three-years Study Programme „Physics of the Environment" at the Warsaw University Physics Department. The teaching in this Programme presents a special challenge being two years shorter than the usual M.Sc. studies, yet covering much broader range of topics and, in fact, different academic disciplines. We stress the need to develop the skill of making viable approximations and obtain meaningful and valuable assesments even when the data are limited and the in-depth knowledge of all processes involved cannot be gained in the time given. The practical implementation of this interdisciplinary approach starts with the integration of the syllabi of different courses which are interwoven and address different aspects of the same physical phenomenon. The cross-border nature of the environmental problems requires good communication and foreign language skills. We intend to involve our students in the activities of Baltic University where they should be able to interact with their foreign colleagues.

1. Wstęp

Wśród kandydatów na studia szerzy się nowy rodzaj zainteresowania naukami ścisłymi. Oczekują oni wykorzystania uznanej i sprawdzonej metodologii matematyki oraz nauk przyrodniczych do rozwiązywania problemów znajdujących się w centrum zainteresowania opinii publicznej, takich jak rozwój nowych technologii czy ochrona środowiska. Odpowiedzią Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego na te oczekiwania było utworzenie w 1996 r. trzyletnich Studiów Licencjackich, obejmujących obecnie trzy kierunki: Metody komputerowe fizyki, Fizyka materiałowa i optyka oraz Fizyka środowiska. Poniższe uwagi dotyczą ostatniego z nich.

Cechą szczególną i swoistym paradoksem takiej dziedziny jak fizyka środowiska jest to, że kształcenie zawodowe w istocie wymaga zerwania z postępującą specjalizacją i nawiązania do klasycznego wzoru akademii wszechstronnie ćwiczącej umysł i wrażliwość przyrodnika. Jedynie na takim modelu edukacji można oprzeć perspektywiczną wizję powszechnego wyższego wykształcenia, jako że postępująca specjalizacja studiów tradycyjnych ogranicza krąg osób nimi zainteresowanych, a uczelniom, które z natury, a także z powołania są na ogół konserwatywne, coraz trudniej dostosowywać się do zmian, których tempo wciąż rośnie. Naturalnym mechanizmem obrony uczelni wyższych przed ujemnymi skutkami specjalizacji jest spontaniczne dążenie do przedłużania studiów i powiększania ilości wykładanego materiału w złudnej nadziei, że uda się pogodzić porządne wykształcenie ogólne z coraz szerszym przygotowaniem specjalistycznym.

Nauczanie „Fizyki środowiska" jest w zasadzie oparte na programie pierwszych 3 lat studiów magisterskich fizyki wzbogaconym o elementy kształcenia zawodowego. Dużą wagę przywiązu-

jemy do ćwiczenia umiejętności komunikowania się i przedstawiania wyników. Zadaniem studium jest przygotowanie absolwentów do samodzielnego rozpoznawania zjawisk fizycznych w środowisku naturalnym, tak by potrafili sformułować ich prosty model teoretyczny, uzyskać konkretne wyniki za pomocą symulacji komputerowych, a następnie jasno i profesjonalnie wyniki te przedstawić oraz podsumować. Nadrzędnym celem powinno być zawsze podanie praktycznego sposobu zapobiegania szkodliwym procesom w środowisku naturalnym lub łagodzenia ich skutków.

Kształcenie zawodowe i ćwiczenie umiejętności komunikowania się wymagają dodatkowych godzin, a tym samym ograniczenia dotychczas wykładanego materiału. Reformując program, zdecydowani jesteśmy zachować uniwersytecki charakter studiów, których zadaniem jest nauczenie podstaw fizyki, zaszczepienie studentom dociekliwości oraz ugruntowanie umiejętności i potrzeby samodzielnej nauki. Dodatkowe przedmioty specjalistyczne w programie studiów licencjackich mają na celu pokazanie studentom, z jakimi problemami mogą się zetknąć, pracując w zawodach związanych ze środowiskiem naturalnym, a także jak powinny wyglądać wyniki ich pracy. Wymaga to umiejętności robienia przybliżeń, upraszczania modeli, identyfikowania czynników dominujących w badanym zagadnieniu, czyli ogólnie mówiąc umiejętności oceny, jak należy postąpić, gdy z braku danych lub z innych powodów nie można problemu rozwiązać ściśle, a wymagane są konkretne wnioski. Zarówno zestaw proponowanych zajęć, jak i ich treść poddajemy ciągłej ocenie i staramy się z roku na rok ulepszać, tak by stanowiły dla maturzystów atrakcyjną ofertę, odmienną od tradycyjnego modelu kształcenia.

Absolwenci studiów licencjackich na Wydziale Fizyki, którzy uzyskali dostatecznie wysoką średnią ocen z przedmiotów tworzących blok fizyki i matematyki, albo podczas studiów, albo na egzaminie kwalifikacyjnym, mogą kontynuować naukę na uzupełniających studiach magisterskich. Licencjat nie jest jednak koniecznym etapem dalszych studiów. Tytuł magistra nie oznacza, że absolwent uzyskał wcześniej dyplom licencjata. Posiadanie obu dyplomów świadczy o ukończeniu studiów magisterskich oraz zdobyciu dodatkowego wykształcenia zawodowego w jednym z trzech obecnie istniejących kierunków licencjatu i z założenia powinno pomagać w znalezieniu pracy poza uczelnią.

Taki profil studiów licencjackich różni się od profili spotykanych w innych placówkach szkolnictwa wyższego, gdzie stanowią one pierwszy i konieczny etap studiów magisterskich, które absolwenci studiów trzyletnich mogą (lecz nie muszą) kontynuować po uzyskaniu dyplomu licencjata, jak np. na Wydziale Geologii UW, bądź inżyniera, jak na Politechnice Warszawskiej.

Studia licencjackie w tej formie dają wykształcenie uniwersyteckie z elementami tradycyjnie uważanymi za politechniczne. Taki model kształcenia czerpie z tradycji tych krajów, gdzie funkcję naszych politechnik spełniają wydziały inżynieryjne uniwersytetów. Decyduje o tym nie tylko miejscowy zwyczaj, ale także przekonanie o potrzebie zintegrowanej uczelni, której klimat wzbogacają wszystkie dziedziny wiedzy. Propozycje, które przedstawiamy, powstały po dokładnej analizie programu nauczania i organizacji trwających 4,5 roku studiów inżynierskich na Uniwersytecie w Uppsali.

2. Zmiany w programie studiów

W roku akad. 2000/2001 w programie „Fizyki środowiska" (tab. 1) dokonaliśmy kilku zmian[1]. Dotychczas sporą część zajęć dla licencjatu stanowiły uproszczone wersje wykładów i ćwiczeń przewidzianych dla studiów magisterskich. Niektóre z nich zastępujemy teraz nowymi, lepiej odpowiadającymi wymogom specjalizacji i potrzebom kształcenia zawodowego.

Istotna zmiana polega na zastąpieniu w IV semestrze wykładu „Współczesna mechanika teoretyczna" wykładem „Mechanika płynów", który obejmie wstęp do hydrodynamiki cieczy nieściśliwych i procesów transportu. Studenci powinni opanować podstawy opisu ośrodka ciągłego za pomocą pól fizycznych, np. prędkości, temperatury, gęstości czy ciśnienia, i zrozumieć podstawowe prawa rządzące nimi, które pozwalają wyciągać ważne wnioski fizyczne, nie wymagając skomplikowanego aparatu matematycznego, np. prawo

[1] Program nauczania i inne informacje o studiach licencjackich „Fizyka środowiska" można znaleźć na stronie www.igf.fuw.edu.pl/licencjat.

Bernoulliego. Wykład będzie też okazją do powtórzenia zdobytych wcześniej wiadomości z matematyki na przykładach zaczerpniętych z fizyki środowiska. Dla większości studentów może to być pierwsze spotkanie z równaniami różniczkowymi cząstkowymi, których najdokładniej rozważanym przykładem będzie równanie ciągłości i związane z nim zasady zachowania.

Tabela 1. Program studiów licencjackich „Fizyka środowiska" na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (w nawiasie podajemy liczbę godzin wykładu i ćwiczeń w tygodniu).

I Semestr		**II Semestr**	
Matematyka I	(6+6)	Matematyka II	(6+6)
Fizyka I	(4+6)	Fizyka II	(4+4)
Podstawy rachunku błędów	(1+1)	Programowanie I	(0+4)
		Podstawy techniki pomiarów	(1+2)
III Semestr		**IV Semestr**	
Matematyka III	(4+4)	Fizyka IV	(2+2)
Fizyka III	(4+4)	Fizyka V	(2+2)
Programowanie II	(0+4)	I Pracownia (b)	(0+3)
I Pracownia fizyczna (a)	(0+3)	Mechanika płynów	(2+3)
Elektronika	(1+2)	Ochrona i kształtowanie środowiska	(3+2)
		Kurs MATLAB-a	(0+1)
V Semestr		**VI Semestr**	
Fizyka kwantowa	(4+4)	Chemia – laboratorium	(0+2)
Metody numeryczne	(2+2)	Statystyka matematyczna	(2+2)
Fizyczne metody badania środowiska I	(2+0)	Metody numeryczne II	(2+2)
Fizyka atmosfery i hydrosfery	(4+2)	Fizyczne metody badania środowiska II	(2+0)
Chemia	(2+1)	Monitoring środowiska przyrodniczego	(2+2)
		Praca licencjacka	

Omówione będą dwa sposoby opisu procesów transportu. Pierwszy, wynikający w naturalny sposób z zasad zachowania, to opis za pomocą pól temperatury czy koncentracji zanieczyszczenia, spełniających równanie adwekcji-dyfuzji. Drugi to opis transportu odrębnych drobin zanieczyszczenia (passive tracers) w zadanym przepływie, który polega na rozwiązywaniu (przede wszystkim numerycznym) równań różniczkowych zwyczajnych.

Nauka o środowisku naturalnym jest z natury rzeczy dziedziną interdyscyplinarną. Obejmuje przedmioty tradycyjnie wykładane na różnych wydziałach uniwersytetów i politechnik. Potrzeba stworzenia nowej całości, pewnej integracji nauczania, wynika stąd, że najważniejszą umiejętnością, jaką chcielibyśmy przekazać absolwentom, jest zdolność samodzielnego rozwiązywania właśnie takich problemów, których nie można łatwo klasyfikować. Studenci „Fizyki środowiska" słuchają wykładów i biorą udział w zajęciach laboratoryjnych na Wydziale Chemii UW, a w tym roku do programu włączamy także dwa wykłady na Wydziale Geologii UW.

Wykład „Ochrona i kształtowanie środowiska" prowadzony jest w Katedrze Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Wydziału Geologii UW. Jego celem jest pokazanie studentom problemów środowiska naturalnego uszeregowanych według kryterium ich znaczenia dla człowieka i zadań jakie przed nim stawiają. Wykład daje obszerny i cenny przegląd problemów, z jakimi studenci mogą spotkać się w przyszłej pracy zawodowej.

Drugim przedmiotem, który dodajemy, jest „Monitoring środowiska przyrodniczego", prowadzony także na Wydziale Geologii UW dla spe-

cjalizacji „Ochrona środowiska" we współpracy z Państwowym Instytutem Geologicznym. Na wykładzie i towarzyszących mu ćwiczeniach szczegółowo omawiana jest organizacja wszystkich systemów monitoringu w Polsce i związane z tym regulacje prawne. Oprócz wiedzy fachowej studenci ostatniego semestru licencjatu mogą się zorientować w perspektywach zatrudnienia w sieci monitoringu, który stanowi ważny sektor rynku pracy w zawodach związanych ze środowiskiem.

W semestrze IV dodajemy kurs MATLAB-a. Jest to cieszący się ostatnio coraz większą popularnością w środowisku nauk ścisłych i przyrodniczych program komputerowy, a ściśle biorąc zintegrowany pakiet do obliczeń numerycznych oraz wykonywania wykresów dwu- i trójwymiarowych. Może on służyć jako bardzo zaawansowany kalkulator, do którego wprowadzamy oddzielnie poszczególne polecenia, lub być wykorzystany do przygotowywania i wykonywania długich i skomplikowanych programów. W porównaniu z tradycyjnymi językami, jak Fortran, ma prostą i naturalną składnię, która jest szczególnie wygodna przy operacjach na macierzach.

Z punktu widzenia perspektyw kształcenia zawodowego zintegrowany pakiet ma tę zaletę, że przyszli absolwenci, którzy nauczą się jego obsługi, będą mogli później używać go w pracy na komputerach osobistych, podczas gdy kompletowanie od nowa całego własnego zestawu z osobnym kompilatorem, oddzielnym programem graficznym itd. jest bardziej skomplikowane i wymaga większego doświadczenia informatycznego. Jak się wydaje, pozycja MATLAB-a umacnia się i jest mało prawdopodobne, by w bliskiej przyszłości został wyparty z rynku, co uczyniłoby wiedzę o nim bezużyteczną. Istnieje wiele dołączanych doń rozszerzeń specjalistycznych, np. pakiet obliczeń statystycznych czy pakiet do analizy falkowej, które przyszłym absolwentom mogą się przydać w pracy zawodowej.

Proponujemy także zmiany w programach istniejących wykładów. Zmiany te, na pozór drobne, ale w naszym przekonaniu istotne dla jakości kształcenia zawodowego, podkreślą związki między różnymi przedmiotami i pomogą oszczędzić czas poświęcany na powtarzanie tych samych treści, szczególnie cenny na studiach krótszych o 4 semestry od magisterskich. „Mechanika płynów" dostarczy przykładów na ćwiczenia z „Matematyki III", na których omawiane są równania różniczkowe zwyczajne (trajektorie cząstek w atmosferze), a zajęcia z matematyki na temat szeregów Fouriera będą nawiązywały do zajęć z „Programowania" na temat szybkiej transformaty Fouriera (FFT) i metod spektralnych. Program „Pracowni fizycznej" uzupełnimy o ćwiczenia z hydrodynamiki. Taka koordynacja zajęć wymaga wielu szczegółowych uzgodnień i niewątpliwie będzie trwała dłużej niż jeden rok akademicki.

W celu integracji różnych przedmiotów do zaliczenia „Mechaniki płynów" wymagane będzie samodzielne rozwiązanie zadania, składającego się z części teoretycznej i obliczeń numerycznych. Studenci będą zobowiązani przedstawić rozwiązanie w formie minidokumentu, zawierającego przygotowane za pomocą standardowego edytora rozwiązanie z wzorami matematycznymi i szczegółowym opisem ich przekształceń, krótki opis metody numerycznej i wykresy zrobione, np. za pomocą MATLAB-a. Całość nie musi mieć więcej niż 3–4 strony, a oceniana będzie nie objętość, lecz jasność treści i prezentacji.

Taki „miniprojekt" po pierwsze stanowi wprawkę do przygotowywania profesjonalnych prezentacji i to na rok przed pracą licencjacką, a po drugie sprzyja kompleksowemu traktowaniu zdobywanej wiedzy i uczy dostrzegać związki między przedmiotami. Autorzy projektu przygotują krótki referat, który będzie ćwiczeniem umiejętności komunikowania się i występowania przed publicznością.

Proponujemy przyjąć zasadę, że wszystkie zadania i pytania egzaminacyjne z lat ubiegłych będą powszechnie dostępne wszystkim studentom i prowadzącym zajęcia. Studentom będzie to pomagać w przygotowaniach do egzaminów, a prowadzącym ułatwi przygotowanie zajęć, zwłaszcza wybór zadań domowych. Takie spisy zadań i pytań nie będą w niczym ograniczały swobody egzaminatora, jako że nie będą obowiązującymi zestawami pytań do wyboru w danym roku, a jedynie informacją o latach ubiegłych. Powinno to także sprzyjać integracji przedmiotów.

Planujemy organizowanie wyjazdów w teren. W pierwszym roku ograniczymy się do wyjazdów, które są w programie „Ochrony i kształtowania środowiska". Później będą to wycieczki do miejsc o szczególnym znaczeniu ekologicznym, np. do warszawskich elektrowni, gdzie można poznać

takie praktyczne problemy fizyki środowiska, jak zasada działania elektrofiltrów czy tempo rozprzestrzeniania się pyłów w atmosferze.

3. Lepsze wykorzystanie Internetu

Bardzo ważne jest zwiększenie roli Internetu w nauczaniu. Programy poszczególnych wykładów są już dostępne na stronach internetowych Wydziału. Powinny się tam również znaleźć zadania domowe, zadania egzaminacyjne z lat ubiegłych, instrukcje do nowych ćwiczeń na „Pracowni fizycznej" i proste wskazówki dla początkujących użytkowników wydziałowych komputerów, w tym zwięzłe opisy podstawowych aplikacji wraz z odnośnikami do pełnej dokumentacji on-line.

Studenci powinni kontaktować się ze wszystkimi prowadzącymi zajęcia za pośrednictwem poczty elektronicznej i tą drogą otrzymywać np. zadania domowe oraz odsyłać ich rozwiązania. Na stronach internetowych należy zamieszczać opracowanie „miniprojektu", a także pracę licencjacką. Powinny się tam też znaleźć wyniki kolokwiów i egzaminów. Pozostaje jedynie do rozstrzygnięcia zakres dostępu i sposób jego ograniczania.

4. Uniwersytet Bałtycki

Uniwersytet Bałtycki (Baltic University, BU) to program naukowo-badawczy na Uniwersytecie w Uppsali, kierowany przez międzynarodową Radę Programową. W skład Rady wchodzą przedstawiciele Szwecji, Finlandii i dwóch reprezentantów krajów bałtyckich z Europy Środkowej i Wschodniej, w tym stale jeden z Polski. Do 30 czerwca 2000 r. był nim prof. Paweł Migula z Uniwersytetu Śląskiego.

W BU uczestniczy 13 krajów bałtyckich, do których zaliczono Białoruś, Czechy i Słowację, jako że kryterium jest położenie w obszarze zlewni Bałtyku, a nie dostęp do wybrzeża. We wszystkich krajach rozwojem i koordynacją Programu zajmują się Centra Krajowe BU. Centrum Krajowym przy Uniwersytecie Gdańskim kieruje prof. Andrzej Ceynowa, a kierownikiem Centrum dla Polski Centralnej i Południowej, działającym przy Politechnice Łódzkiej, jest prof. Ireneusz Zbiciński.

Uniwersytet Bałtycki jest siecią ponad 160 uniwersytetów, politechnik i innych wyższych uczelni z 14 krajów bałtyckich (obejmującym 43 polskie placówki), prowadzących wspólnie działalność m.in. w zakresie dydaktyki. Praktycznym rezultatem jest powstanie trzech kursów o charakterze ogólnym: 1. Środowisko Morza Bałtyckiego (The Baltic Sea Environment), 2. Ludy Bałtyku (People of the Baltic), 3. Zrównoważony Region Bałtycki (A Sustainable Baltic Region).

Kursy te nie wymagają od studentów uprzedniego przygotowania. Ponadto gotowy jest kurs o charakterze bardziej specjalistycznym: 4) Zrównoważona gospodarka wodna (Sustainable Water Management), który powinien być poprzedzony kursami 1. i 3. Ten ostatni kurs jest, jak się wydaje, najbliższy „Fizyce środowiska" i będziemy się starali włączyć go do programu zajęć. Uniwersytet Bałtycki dostarcza wszystkim uczestnikom kursu niezbędne skrypty i kasety wideo oraz część pytań na egzamin końcowy. Pozostałe pytania przygotowują krajowi wykładowcy. Możliwe jest też organizowanie seminariów wideokonferencyjnych, w których uczestniczą studenci z kilku krajów.

W kursach uczestniczyć mogą tylko studenci biegle władający językiem angielskim, a więc nie może to być przedmiot obowiązkowy. Jako zachętę do nauki angielskiego proponujemy zaoferować studentom „Fizyki środowiska" częściowy zwrot kosztów egzaminu państwowego z języka angielskiego (CAE lub TOEFL) pod warunkiem uzyskania oceny pozytywnej, np. dofinansowanie wg skali: A – 100%, B – 70%, C – 40%.

Kursy Uniwersytetu Bałtyckiego można udostępnić, jako przedmiot pozakierunkowy, także studentom niektórych kierunków studiów magisterskich, np. na specjalizacji „Fizyka atmosfery". Treść kursu będzie dla nich łatwa, ale konieczność pisania i mówienia po angielsku będzie cennym ćwiczeniem.

5. Propozycje organizacyjne

Poważnym problemem studiów licencjackich, w tym „Fizyki środowiska" jest to, że są one często uważane za studia „drugiej kategorii" w porównaniu z magisterskimi. Dotyczy to zarówno studentów, jak i wykładowców, a wynika zapewne z nieporozumienia co do koncepcji tych studiów, które mają być bliższe idei klasycznego uniwersytetu niż typowe specjalistyczne studia magister-

skie. Staramy się to zmieniać, wzbogacając program o nowe wykłady, które są zaprojektowane specjalnie dla licencjatu, a nie stanowią jedynie wersji zajęć tradycyjnych o zubożonych podstawach matematycznych. Prócz tego planujemy innowacje, które wyraźnie podkreślą odrębność studiów licencjackich i dadzą studentom licencjatu „poczucie tożsamości".

Planujemy opracowanie „Informatora Studiów Licencjackich", który byłby wyczerpującym źródłem wiadomości zarówno dla studentów, jak i przyszłych kandydatów na studia. Będzie on zawierał m.in. obowiązujące reguły studiowania, opisy prowadzonych zajęć, informację o prowadzących je osobach, informacje o dostępnych na Wydziale zasobach (biblioteki, komputery itd.) oraz informacje o perspektywach zatrudnienia przyszłych absolwentów.

Zamierzamy też zorganizować na Wydziale „Klub Studentów Licencjatu", czyli oddzielny pokój, w którym zgromadzone będą książki i materiały pomocnicze do wykładów specjalistycznych dla studiów licencjackich, szczególnie te, których nie ma w innych bibliotekach Wydziału Fizyki. Na kilku dostępnych komputerach studenci będą mogli opracować miniprojekt, przygotowywać i wysyłać pocztą elektroniczną prace domowe czy też pisać pracę licencjacką. W „Klubie" studenci będą też mogli odpocząć w przerwach między wykładami, wypić kawę i porozmawiać, a czasem spotkać się ze swoimi opiekunami naukowymi.

Serdecznie dziękuję Profesorowi Arne Arnesenowi oraz jego Koleżankom i Kolegom z Uniwersytetu w Uppsali za gościnę i zapoznanie członków naszej delegacji ze szczegółami organizacji studiów inżynierskich i programów nauczania przedmiotów wchodzących w ich skład. Jestem wdzięczny Profesorowi Egbertowi Boekerowi z Wolnego Uniwersytetu w Amsterdamie za ciekawe dyskusje i cenne uwagi dotyczące nauczania fizyki środowiska, a Pani Profesor Marcie Kicińskiej-Habior i profesorowi Tomaszowi Szoplikowi z Wydziału Fizyki UW za inicjatywę i pomoc w pracy nad reformą Studiów Licencjackich. Wizyty w Uppsali i Amsterdamie były finansowane z funduszu Tempus PHARE w ramach Projektu S_JEP-12232-97.

Koncepcja nauczania fizyki środowiska*

Egbert Boeker

Divisie Natuurkunde en Sterrenkunde, Vrije Universiteit, Amsterdam, Holandia

Environmental Physics as a teaching concept

Abstract: Environmental Physics is defined as the physics connected with analyzing and mitigating environmental problems. It draws on most sub-disciplines of physics and provides a way of making physics relevant. In this paper the motivation and ways of teaching environmental physics are discussed and some examples are given.

1. Wstęp: definiujemy fizykę środowiska

Jeden z pierwszych, szeroko używanych podręczników fizyki środowiska opublikował w 1973 r. brytyjski fizyk Monteith [1]. Jego rozszerzoną wersję opublikował potem wraz z Unsworthem [2]. Autorzy ci zdefiniowali nową dziedzinę jako „pomiar i analizę oddziaływań między organizmami i ich fizycznym otoczeniem". Ich książka, przeznaczona przede wszystkim dla studentów biologii i rolnictwa, była poświęcona głównie zagadnieniom roślin i plonów, chociaż trochę uwagi poświęcała również zwierzętom i człowiekowi.

Ostatnio Grupa Fizyki Środowiska Brytyjskiego Instytutu Fizyki (IOP) przyjęła znacznie szerszą definicję, przedstawiającą fizykę środowiska jako „zastosowanie zasad fizyki do opisu procesów i zjawisk występujących w naszym otoczeniu". A w szczególności, „dostarcza ona rozwiązań tak różnych problemów środowiskowych, jak przetrwanie gatunku ludzkiego, wydajność energetyczna czy zanieczyszczenie wód i atmosfery" [3]. Monteith miał zastrzeżenia do tej definicji, uznał ją za zbyt szeroką i nalegał na ograniczenie zakresu tej definicji do sprawy oddziaływań [4].

W podręczniku napisanym wspólnie przez van Grondellego i niżej podpisanego [5] akcenty rozłożone są nieco inaczej niż w definicji grupy z IOP. Fizyka środowiska jest zdefiniowana jako „fizyka, która pomaga analizować zjawiska występujące w otoczeniu i zapobiegać ich niekorzystnym skutkom, a przynajmniej je zmniejszać". Nie mówimy o „rozwiązywaniu" problemów, ponieważ jasno stwierdzamy, że niekorzystne zjawiska w środowisku wynikają z wpływu działalności człowieka i jego systemu społeczno-ekonomicznego na przyrodę. Niektóre z nich nie są zatem rozwiązywalne w takim sensie, w jakim są rozwiązywalne problemy fizyczne. Dlatego też mówimy o analizie, zapobieganiu i osłabianiu ujemnych skutków.

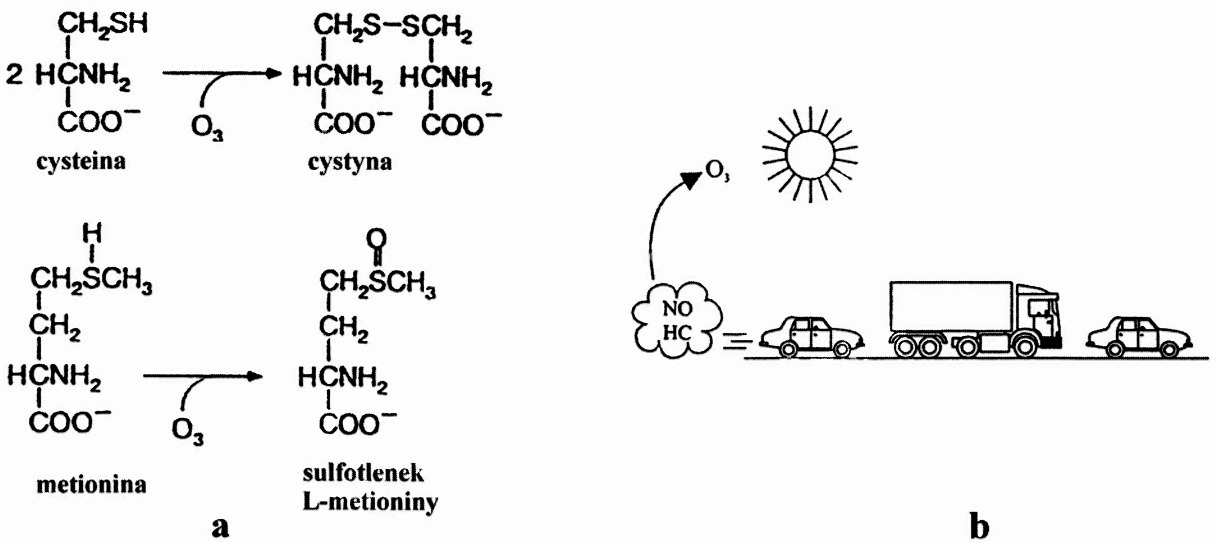
Inna różnica między niekorzystnymi zjawiskami występującymi w środowisku a tradycyjnymi problemami fizycznymi polega na tym, że fizyka jest tylko jednym z aspektów tych pierwszych. Inne nauki przyrodnicze, takie jak chemia czy biologia, wnoszą swój osobny wkład i wymagają własnej metodologii. Podręcznik fizyki środowiska powinien wyraźnie to podkreślać i nawiązywać do innych nauk przyrodniczych w przykładach i ćwiczeniach.

*Artykuł oparty jest na referatach wygłoszonych na Wydziale Fizyki KTH w Sztokholmie (1999 r.) i na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (2000 r.).

Na przykład rozważmy ozon w troposferze. Biolog połączy go z chorobami roślin, które uwidoczniają się w postaci czarnych plam na liściach. Chemik zajmie się aminokwasami, które są bardzo czułe na O_3 (rys. 1a). Badacz środowiska zwróci uwagę na to, że ludzie cierpią z powodu podrażnienia oczu i kaszlu, i obwini samochody (rys. 1b). Fizyk zaprojektuje lidar, żeby zmierzyć koncentrację O_3 na różnych wysokościach, ekonomista zaś będzie obliczał wartość strat w zbiorach, utratę zdrowia ludzi i porównywał je z kosztem wprowadzenia katalizatorów w samochodach, co mogłoby ograniczyć szkody.

Ten ostatni punkt, dotyczący ekonomisty, pokazuje, że liczą się nie tylko nauki przyrodnicze. Chorobom ludzi spowodowanym przez zanieczyszczenie atmosfery należy przypisać wartość finansową, co oznacza, że należy osądzić, jaką cenę ma zdrowe, ludzkie życie. Dlatego też fizyka środowiska będzie również dotyczyć aspektów społecznych i etycznych.

Nasze rozważania nie powinny sugerować, że przedmiot fizyki środowiska jest zasadniczo różny, gdy używa się definicji Monteitha, grupy z IOP, czy też niżej podpisanego i jego kolegi. Przeglądając wymienione książki Czytelnik napotka pojęcia fizyczne, wzory matematyczne z wyprowadzeniami i ich omówienie. Zwykle odnoszą się one do spraw praktycznych i zawierają nieco meteorologii, fizyki promieniowania i zjawisk transportu. Tak więc niezależnie od definicji fizyka środowiska pozostaje fizyką. Składają się na nią w większym stopniu klasyczne działy fizyki niż te najnowsze, ale przyjemność i radość ze zrozumienia zjawisk przyrodniczych, które są podstawowymi elementami naszego zawodu, są w niej obecne.



Rys. 1. Ilustracja problemu ozonowego: a) obraz widziany oczyma chemika badającego utlenianie aminokwasów (na podstawie rys. 6.6 w [6]); b) wersja badacza środowiska, który winą obarcza samochody.

2. Powody nauczania fizyki środowiska

Jak napisaliśmy powyżej, nasze kłopoty z otoczeniem są skutkiem oddziaływania człowieka z przyrodą. Żeby uporać się z tymi problemami, fizyka środowiska korzysta z różnych działów fizyki. Wynikają z tego trzy powody, dla których warto jej nauczać. Fizyka środowiska może pobudzać zainteresowanie studentów, może im dawać perspektywę dobrej pracy i może uspokajać podatnika. Przyjrzyjmy się tym trzem aspektom.

2.1. Pobudzanie zainteresowania studentów

Fizyka środowiska dotyczy świata rzeczywistego. Przybliża ona fizykę studentowi i pozwala mu zrozumieć, co właściwie oznaczają zmienne w równaniach. Na przykład przy omawianiu wód gruntowych napotykamy na gęstość gleby ρ, gęstość wody gruntowej ρ_w i ich stosunek ρ/ρ_w. Na jednym z moich wykładów zapytałem studentkę, ile wynosi ten iloraz. Nie wiedziała, ale naciskana wymieniła wartość 1000, prawdopodobnie myśląc

o jednostkach kg/m^3. W inżynierii wodnej używa się wartości 2, a ja uznałbym za dobrą każdą odpowiedź między 1,5 a 5. Po zwróceniu uwagi, że jednostki nigdy nie występują w stosunkach tych samych wielkości, studentka nigdy więcej nie popełni takiego błędu.

Fizyka środowiska na poziomie drugiego lub trzeciego roku studiów uniwersyteckich obejmuje wiele tematów, które studenci poznają na różnych wykładach. W ten sposób ich wiedza łączy się w jedną całość i jest podawana w konkretnym przyrodniczym kontekście. Na przykład omawiając efekt cieplarniany należy wytłumaczyć, jak rosnąca koncentracja CO_2 czy CH_4 w atmosferze wpływa na podniesienie średniej temperatury Ziemi na poziomie morza. Do tego potrzebne są widma pochłaniania cząsteczek tych związków i pojęcie drogi optycznej, żeby zrozumieć nieliniowość zjawiska i różnicę między dwoma związkami.

Omawiając niekorzystne zjawiska w naszym otoczeniu, często dochodzimy do współczesnych tematów badawczych w fizyce. Gdy chcemy dokładnie poznać rozprzestrzenianie się trującego obłoku w mieście, przy wietrznej pogodzie, musimy rozwiązać równania Naviera–Stokesa. Rozwiązanie można znaleźć tylko numerycznie i wymaga to doświadczalnego pomiaru wartości niektórych parametrów oraz przybliżonego oszacowania innych. W bibliotece lub w Internecie student powinien znaleźć ostatnie osiągnięcia w tej dziedzinie.

Podobnie, omawiając energetykę jądrową należy mówić o reaktorach, które mają bierne systemy bezpieczeństwa albo są zaopatrzone w zabezpieczenia wewnętrzne, czyli są „samogasnące". Omawiając składowanie niebezpiecznych odpadów chemicznych lub jądrowych, trzeba rozumieć rozprzestrzenianie się tych materiałów w wodach gruntowych, ich zaskakująco szybkie, niepożądane przenoszenie przez koloidy oraz pożądaną adsorpcję na ściankach skalnych szczelin. W wykładzie fizyki środowiska warto podkreślać znaczenie podstawowych problemów fizycznych, tak by studenci byli w stanie dobrze zrozumieć czytane podręczniki. Należy ich zachęcać do dodatkowych lektur i własnej pracy badawczej.

Fizyka środowiska zachęca do tworzenia nowych ćwiczeń w pracowniach studenckich. Jedno z najprostszych jest poświęcone przepływowi wód gruntowych. W pierwszym przybliżeniu poziom wód gruntowych ϕ jest funkcją położenia w płaszczyźnie poziomej (x, y). Gęstość strumienia, czyli objętość wody przepływającej na sekundę przez powierzchnię jednostkową, prostopadłą do kierunku przepływu, q [m^3·s^{-1}·m^{-2}], spełnia równanie Darcy'ego

$$q = -k \operatorname{grad} \phi, \tag{1}$$

w którym k nazywamy przewodnością hydrauliczną (właściwą), a ϕ – potencjałem hydraulicznym. Analogia do prawa Ohma $j = -\sigma \operatorname{grad} V$, gdzie j jest gęstością prądu, σ przewodnością elektryczną (właściwą), a V potencjałem elektrycznym, jest oczywista. Takie podobieństwa pozwalają scalić wiedzę fizyczną, a użycie wspólnych terminów: przewodność i potencjał w tym pomaga.

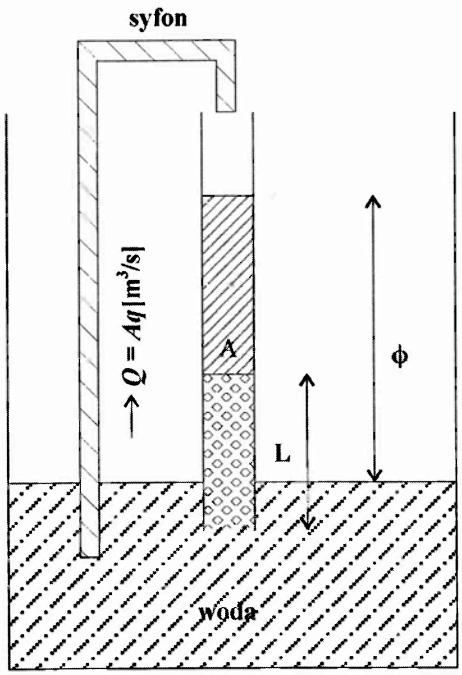
Wyznaczenie przewodności hydraulicznej k dla gleby stanowi problem doświadczalny. Układ pomiarowy jest przedstawiony na rys. 2. Próbkę gleby o długości L umieszczamy na dnie szklanego cylindra o polu przekroju poprzecznego A. Dla ułatwienia doświadczenia przepływ jest pionowy i wymusza go różnica wysokości ϕ poziomów wody wewnątrz i na zewnątrz rury. Ażeby utrzymać stałą różnicę poziomów, woda jest przepompowywana z powrotem do cylindra przez syfon, w którym bezpośrednio mierzy się strumień $Q = Aq$. Gradient otrzymujemy jako iloraz ϕ/L. Łatwo zauważyć, że ϕ jest poprawnie określone, ponieważ dla $\phi = 0$ nie obserwujemy przepływu.

Łatwo zmieniać potencjał hydrauliczny ϕ i mierzyć przewodność hydrauliczną k gleby, weryfikując zarazem równanie (1). Następnie student fizyki może zaproponować model gleby jako materiału składającego się z małych kulek o promieniu R. Łatwo wtedy obliczyć, jaka będzie przewodność hydrauliczna. Można ją również zmierzyć, wsypując kolejno do cylindra porcje szklanych kulek o różnych promieniach R. Obydwa sposoby pozwalają oszacować wielkość cząstek gleby. To doświadczenie jest lubiane zarówno przez studentów fizyki, jak i słuchaczy wykładów z hydrologii.

2.2. *Perspektywy zawodowe*

Absolwenci fizyki mają na rynku pracy następujące możliwości: mogą rozpocząć karierę akademicką, pójść do przemysłu lub firmy konsultingowej, pracować na posadzie rządowej lub uczyć w szkole średniej. We wszystkich przypadkach

poza pierwszym warto przejść przez wykłady z fizyki środowiska. Zapoznanie się z materiałem zawartym w podręczniku [5] powinno zająć łącznie 75 godzin wykładów i ćwiczeń. W Holandii daje to ok. 5% wszystkich punktów kredytowych potrzebnych do uzyskania magisterium z fizyki. Tym niewielkim wysiłkiem warto zdobyć całościowe spojrzenie na fizykę, inne niż na wykładach teoretycznych, takich jak mechanika kwantowa czy teoria pola.



Rys. 2. Przepływ wody gruntowej w pionowej próbce gleby. Różnica poziomów wody w cylindrze i w naczyniu wynosi ϕ; jest to potencjał hydrauliczny. Przepływ o gęstości strumienia q zachodzący w dół cylindra podlega prawu Darcy'ego, równ. (1). W doświadczeniu ϕ jest stałe dzięki przepompowywaniu wody syfonem. Dla sprawdzenia równ. (1) w kolejnych pomiarach można zmieniać ϕ w celu dokładnego oszacowania przewodności hydraulicznej k.

Trzeba przyznać, że przemysł często zgłasza zastrzeżenia, że uniwersytety przede wszystkim przygotowują do kariery naukowej, a nie biorą odpowiedzialności za przygotowanie dobrych absolwentów do pracy w przemysłowych laboratoriach badawczych. Nauczanie fizyki środowiska przynajmniej częściowo może wyjść naprzeciw oczekiwaniom przemysłu.

2.3. Podatnicy

Politycy i kręgi opiniotwórcze często narzekają, że fizyka jest droga lub nawet zbyt droga. Domagają się wówczas badań fizycznych bezpośrednio potrzebnych społeczeństwu i używają argumentu, że podatnicy chcą coś mieć za swoje pieniądze.

Nie sugerujemy tutaj odpowiedzi, że pieniądze powinny być użyte na fizykę środowiska. Po pierwsze, jest ona zbyt szeroko zdefiniowana, żeby wydzielić w niej osobny, dobrze określony program badawczy. Oczywiście, istnieją działy fizyki bezpośrednio związane ze środowiskiem, takie jak fizyka atmosfery, badania nad klimatem czy zjawiska transportu. Ale fizycy dobrze wiedzą z własnej historii, że związek badań podstawowych ze zrozumieniem natury i rozwiązywaniem konkretnych problemów poznaje się dopiero *ex post*.

Dlatego też najlepszym rozwiązaniem jest kształcenie fizyków sprawnych zawodowo, godnych zaufania i poważanych z uwagi na swoją wszechstronność. Potrzebujemy badań podstawowych, żeby rozwijać naszą wspólną wiedzę, ale żaden program badawczy na przyzwoitym poziomie nie spowoduje od razu podniesienia standardu nauczania. Większość nauczycieli akademickich prowadzi wykłady, które tylko częściowo pokrywają się z ich bardzo wyspecjalizowanymi badaniami. To natura badacza podtrzymuje ich ciągłe zainteresowanie, pozwala unikać przeciętności i czyni nauczanie przyjemnym.

3. Kogo uczyć fizyki środowiska?

Poczytne pismo amerykańskie *Physics Today* stale poświęca uwagę społeczności fizyków i naszym perspektywom. Dwa opublikowane tam ostatnio artykuły zasługują na uwagę w związku z nauczaniem fizyki środowiska. W pierwszym z nich [7] napisano:

„Musimy uświadomić sobie dwa niezaprzeczalne fakty: po pierwsze, zatrudnienie fizyków zależy od zdolności kształcenia naukowców, którzy potrafią zaspokoić potrzeby społeczeństwa, a po drugie, przyszłe potrzeby społeczeństwa będą różne od teraźniejszych. Zapotrzebowanie na naukowców będzie rosło w takich dziedzinach, które obecnie wydają się zupełnie obce większości wydziałów fizyki; będą nimi: transport, środowisko, materiały, dobra konsumpcyjne, zdrowie, rozrywka, usługi i finanse. (...) Zbyt wiele uniwersyteckiego nauczania fizyki ciągle podlega

ograniczeniom wynikającym z wąskiego jej pojmowania, które przeważa w kręgach akademickich".

Artykuł nie proponuje poszerzenia programu nauczania przez jego spłycenie. Mówi, że przynajmniej w kilku dziedzinach nauczanie powinno być na tyle dogłębne, żeby wykształcić w studentach zdolność rozwiązywania problemów. Jednakże poszerzenie tradycyjnego programu jest niezbędne dla poprawy zawodowych perspektyw fizyków i ich akceptacji społecznej. Artykuł w *Physics Today* popiera zatem wprowadzanie takich wykładów, jak fizyka środowiska. Uważamy, że istnieje zapotrzebowanie na dwa rodzaje tych wykładów. Pierwszy, oferowany do wyboru na czwartym lub piątym semestrze studiów, mógłby wykorzystywać poznany do tego czasu materiał z fizyki i matematyki. Natomiast drugi wykład, oferowany na pierwszym roku studiów, oparty na podstawowej znajomości fizyki i matematyki wyniesionej ze szkoły, powinien poszerzać horyzonty o nieznaną dotąd tematykę i zaostrzać apetyt zarówno na fizykę, jak i na jej zastosowania[1]. Taki wykład podstawowy może być również oferowany studentom nauk przyrodniczych innych niż fizyka, a także inżynierom.

Drugi artykuł z *Physics Today*, na który chcemy się tu powołać, analizuje zmianę wymagań wobec fizyki zauważoną przez US Accreditation Board for Engineering and Technology [8]. W artykule czytamy:

„Nowy system nauczania ciągle wymaga od studentów kierunków inżynieryjnych zaliczania »jednego roku zajęć z matematyki i innych nauk podstawowych (...) odpowiednich dla kierunku studiów«. Jednakże dawne wymaganie zaliczenia jednorocznego wykładu z fizyki wykorzystującego rachunek różniczkowy i całkowy zostało wycofane. W zamian, w zależności od kierunku studiów inżynieryjnych, studenci powinni wykazać się »umiejętnością zastosowania poznanych metod fizycznych« lub »biegłością w tej dziedzinie«".

Ten sam artykuł mówi, że większość wydziałów inżynieryjnych w USA jest zadowolona z dotychczasowego sposobu nauczania fizyki. Jednakże zmiana wymagań sugerowana przez poważny Komitet Akredytacyjny spowoduje ponowne rozważenie programu i metod nauczania. Te uwagi stosują się nie tylko do nauczania w USA, ale i w Europie, bo studia inżynierskie prowadzą do uzyskania zawodu uznawanego we wszystkich krajach. Wiemy oczywiście, że inżynierowie nie będą zbyt wiele czasu poświęcać fizyce. Wykładowcy powinni zatem skoncentrować się na pojęciach i metodach fizycznych nie wykraczających daleko poza licealny poziom matematyki. Podstawowy podręcznik fizyki środowiska może się tu okazać bardzo pomocny.

4. Przykłady i dylematy

W ostatniej części artykułu omówię kilka przykładów zaczerpniętych z własnej praktyki wykładowcy fizyki środowiska dla trzeciego roku studiów. Poniżej potraktuję fizykę jako oczywistość, z którą czytelnik jest zaznajomiony, i zwrócę uwagę tylko na nowe lub niecodzienne podejście.

4.1. Para wodna i klimat

Zmiana klimatu i gazy wywołujące efekt cieplarniany wchodzą w zakres każdego wykładu z fizyki środowiska, ponieważ dotyczą ciekawej fizyki i istotnych, żeby nie powiedzieć delikatnych, spraw politycznych. Łatwo można wykazać istnienie efektu cieplarnianego, używając następującego równania bilansu energetycznego dla Ziemi:

$$\text{energia przyjmowana} = \text{energia oddawana}. \quad (2)$$

Gęstość strumienia energii słonecznej docierającej do górnej warstwy atmosfery nazywamy stałą słoneczną S [W/m^2]. Promień Ziemi wynosi R, zaś ułamek a jest współczynnikiem rozpraszania wstecznego przez Ziemię. Zatem lewa strona równania (2) wynosi

$$(1-a)S\pi R^2. \quad (3)$$

Emitowane przez Ziemię promieniowanie podczerwone można przybliżyć przez promieniowanie ciała doskonale czarnego o temperaturze T. Prawa strona równania (2) przyjmuje więc postać

$$\sigma T^4 4\pi R^2, \quad (4)$$

gdzie σ jest stałą Stefana–Boltzmanna. Wstawiając do rów. (3) wartość albedo $a = 0{,}34$, dostajemy temperaturę $T = 255$ K. Zatem fakt

[1] Na wykładzie tego typu prowadzonym na Wydziale Fizyki KTH w Sztokholmie wypróbowuje się obecnie nowy podręcznik *Wstęp do fizyki środowiska* autorstwa E. Boekera i R. van Grondellego.

doświadczalny, że temperatura powietrza na powierzchni Ziemi ma znacznie przyjemniejszą średnią wartość $T = 288$ K wynika z obecności w atmosferze ziemskiej gazów cieplarnianych. Wpływ poszczególnych gazów na podniesienie temperatury o 33 K jest przedstawiony w tab. 1.

Tabela 1. Udział poszczególnych gazów cieplarnianych w ogrzewaniu Ziemi mierzonym na poziomie morza.

Gaz	Koncentracja [ppmv][a]	Ocieplenie [K]
H_2O (para wodna)	5000	20,6
CO_2	345	7,2
O_3 (w troposferze)	0,03	2,4
N_2O	0,3	0,8
CH_4	1,7	0,6
Inne (CFC, HFC, SF_6)		0,6
Całkowite ocieplenie		33,0

[a] 1 ppmv to jedna cząsteczka danego gazu na milion cząsteczek powietrza w danej objętości.

Dalej następuje ogólnie przyjęta dyskusja, w której zwracamy uwagę, że wzrost koncentracji gazów cieplarnianych innych niż para wodna wynika ze działalności człowieka. Na przykład koncentracja CO_2 przed rewolucją przemysłową wynosiła 275 ppmv. W tabeli 1 rzuca się w oczy przede wszystkim ogromny udział pary wodnej. W prostym zadaniu student może obliczyć, że koncentracja pary wodnej odpowiada 3 cm słupa wody. Ponieważ roczny opad atmosferyczny deszczu i śniegu wynosi ok. 75 cm słupa wody, oznacza to, że zawartość wody w atmosferze podlega wymianie co 15 dni. Z tego prostego przykładu wynika po pierwsze, że małe zmiany koncentracji pary wodnej będą miały poważne konsekwencje, po drugie zaś, że te małe zmiany trudno będzie dokładnie obliczyć.

Z powyższego przykładu i z dokładniejszej analizy bilansu promieniowania student wyciąga jasny wniosek, że modelowanie nie jest rzeczą prostą i że wyniki takich obliczeń zawsze zawierają mnóstwo niepewności. Studenci stają więc przed problemem, jak przedstawić dane na temat efektu cieplarnianego i globalnego ocieplenia politykom i całemu społeczeństwu. Jeśli ktoś za bardzo podkreśli rolę niepewnego i niedokładnego modelowania, wówczas politycy zajmą stanowisko „poczekamy, zobaczymy", zanim podejmą niepopularne środki zaradcze. Natomiast pominięcie elementu niepewności nie jest zgodne z zawodowym obiektywizmem zakorzenionym w nas, fizykach.

W wielu karierach zawodowych naukowcy będą musieli zetknąć się z problemem, jak przy opisie niekorzystnych zjawisk w środowisku rozwiązać problem niepewności. Dlatego tę sprawę należy omawiać w procesie nauczania, jakkolwiek odpowiedzi na pytania nie będą tak proste, jak w przypadku czystej fizyki. Zwykle, na koniec rozmowy ze studentami o sposobie przedstawiania danych szacunkowych, zwracamy uwagę na to, że musi on zależeć od sytuacji i kontekstu.

4.2. Omawianie energetyki jądrowej

Czy należy omawiać problemy energetyki jądrowej na wykładzie fizyki środowiska, czy nie? Niektórzy z naszych kolegów zajmujących się środowiskiem i będących zdecydowanymi przeciwnikami wykorzystania energii jądrowej uważają, że nie należy w ogóle o tym mówić. Po pierwsze, twierdzą, najskuteczniejszą metodą wyeliminowania energetyki jądrowej jest zniszczenie podstawowej wiedzy o niej. Bez naukowców i inżynierów, którzy popierają energetykę jądrową i starają się opracować „bezpieczniejsze" techniki i rozwiązać trudności praktyczne, elektrownie jądrowe automatycznie wyszłyby z użycia. Po wtóre, szczegółowe omawianie działania elektrowni jądrowych i zmienności ich parametrów w czasie odbiera wykładowcy i studentom możliwość zajęcia się innymi, pożytecznymi tematami.

U nas w Holandii zajęliśmy stanowisko, że energetyka jądrowa będzie jeszcze z nami przez jakiś czas, zatem nasi studenci powinni rozumieć problemy z nią związane. Nawet gdy energetyka jądrowa wyjdzie z użycia, pozostałości po niej ciągle będą nam towarzyszyć „stygnąc" i trzeba je będzie zdemontować. Opieka nad odpadami jądrowymi musi być rzetelna i niezawodna jeszcze przez długi czas, więc studenci powinni mieć świadomość następstw promieniowania jonizującego. W związku z tym powinni potrafić zrozumieć dyskusję, taką jak jedna z ostatnich w *Physics Today* [9], o skutkach małych dawek promieniowania.

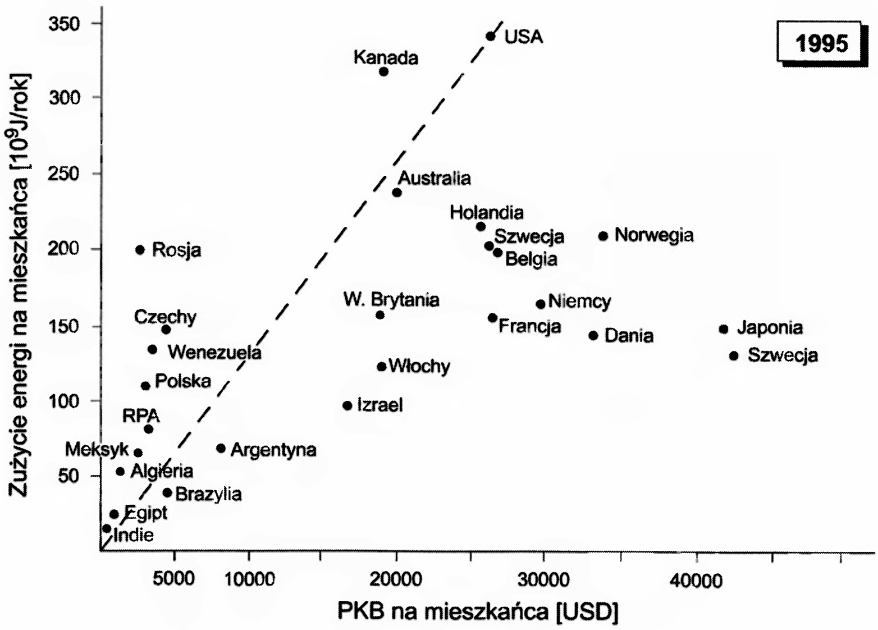
Ponadto nie chcemy eliminować możliwości, jakie daje energetyka jądrowa, ponieważ przyszłe

pokolenia mogą stanąć wobec konieczności ich wykorzystania. Możemy dodać dla żartu, że gdy brak czasu nie pozwala nam omówić wszystkich tematów, dajemy studentom do wyboru albo energetykę jądrową, albo zakłócenie naszego otoczenia szumem akustycznym. Choć to ostatnie jest bardzo istotne dla życia w dużych miastach, studenci zawsze wybierają energetykę jądrową. Temat ten wydaje im się bardziej fascynujący – i taki też jest.

4.3. Zużycie energii

Źródłem wielu niekorzystnych zjawisk pojawiających się w naszym środowisku jest konwersja energii i jej zużycie. Zatem jednym z możliwych rozwiązań tych problemów jest ograniczenie zużycia energii przy jednoczesnym zachowaniu poziomu życia. Niezwykle pouczające jest zapoznanie się z zależnością między zużyciem energią na mieszkańca i produktem krajowym brutto (PKB) na mieszkańca w różnych krajach (patrz rys. 3). Dochód ten jest traktowany tutaj jako wskaźnik poziomu życia i dobrobytu w danym kraju.

Ciekawym zadaniem dla studentów jest zrozumienie, dlaczego ich własny kraj tak bardzo się różni od innych podobnych krajów lub od swoich sąsiadów. Dla naszych celów większe znaczenie ma porównanie z wielkimi i silnymi gospodarczo krajami, takimi jak Japonia czy Stany Zjednoczone[2]. Różnice są uderzające: okazuje się, że Japonia osiąga ogromny dobrobyt przy mniejszym niż w innych krajach zużyciu energii. Różne są tego przyczyny: Japończycy często używają publicznych środków transportu i powierzchnia ich mieszkań przypadająca na osobę jest mniejsza niż w innych krajach. Ponadto silny rząd centralny mocno opodatkowuje zużycie energii, ponieważ Japonia nie ma własnych jej źródeł. Dla przemysłu stanowi to poważną zachętę do wkładania wszelkiego wysiłku w oszczędzanie energii.



Rys. 3. Zużycie energii i produkt krajowy brutto na głowę mieszkańca w niektórych krajach w 1995 r. Dane pochodzą ze statystyki ONZ.

Inną ciekawostką widoczną na rys. 3 jest to, że większość ludzi w skali światowej żyje w warunkach odpowiadających lewej dolnej części diagramu. Wszyscy oni dążą zapewne do większego dobrobytu, więc co jest ich ideałem: Japonia czy USA, a może jeszcze inny kraj? Powiązane z tym

[2] Położenie Rosji na wykresie jest trochę błędne. W latach 1990–95 Rosja mocno przesunęła się w lewo na wykresie ze względu na załamanie gospodarki.

pytanie brzmi: czy wszyscy ludzie mają takie same „prawo" do światowych zasobów? Jeśli tak, to jakie zużycie energii powinno temu prawu odpowiadać? Jeśli dotyczy to sąsiedztwa USA czy Japonii, to zadajemy sobie dodatkowo pytanie, czy przyroda jest w stanie temu zapotrzebowaniu podołać. Jeżeli nie, to zadajemy pytanie, co jest przyczyną tego rozróżnienia i czy brak równouprawnienia będzie podtrzymywany. Czy w rezultacie ludzie z biednych krajów będą stale emigrować do bogatszych, legalnie lub nielegalnie?

Na powyższe pytania nie ma tak oczywistych odpowiedzi jak w przypadku zadań fizycznych, jednakże warto zastanowić się nad nimi nawet skrótowo. W związku z tym można sobie wymyślić rozwój sytuacji do roku 2050 [10]. Zakładając, że zaludnienie wzrośnie o 50% i utrzyma się wzrost średniego zużycia energii na osobę, obliczamy, że zużycie energii pierwotnej wzrośnie z 400×10^{18} J/rok w 1997 r. do 900×10^{18} J/rok w roku 2050. Jeżeli ze względu na emisję CO_2 uda się nam ograniczyć zużycie paliw kopalnych do 300×10^{18} J/rok, to powstaje pytanie, skąd weźmiemy brakujące 600×10^{18} J/rok.

Warto, by pod koniec wykładu z fizyki środowiska studenci zdawali sobie sprawę, że z odnawialnych źródeł energii powinno się korzystać szerzej niż obecnie. Powinni jednak wiedzieć, że wzrost produkcji tej energii z obecnych 3×10^{18} J/rok do np. 300×10^{18} J/rok będzie wymagał dużego wysiłku. Tego argumentu używają autorzy pracy [10], żeby przekonać do potrzeby rozwoju energetyki jądrowej. Do takiego wniosku studenci mogą mieć zastrzeżenia, ale muszą w takim razie znaleźć jakiś rozsądny kontrargument.

W poprzednich paragrafach postawiliśmy szereg pytań. Zaprezentowaliśmy je jako pytania do studentów, ale są one skierowane również do wykładowców. Odpowiedzi na nie wykładowcy nie mogą znaleźć w swoich notatkach, również nie ma ich wszystkich w naszym podręczniku [5]. Pojawią się nowe oszacowania i oceny, argumenty zaś wyjdą poza obszar fizyki. Dlatego w tej dyskusji wykładowca powinien raczej uczestniczyć na równej stopie ze studentami, inaczej niż w dyskusji dotyczącej tylko fizyki. Wykładowca powinien akceptować punkty widzenia różne od jego własnych. Wszelako należy przestrzegać dwóch zasad: spójności argumentacji oraz spójności z wiedzą studentów w zakresie fizyki. W ten sposób nauczanie fizyki środowiska przyczyni się do ogólnego wykształcenia studentów. Będzie tym, co Niemcy nazywają: Bildung.

Artykuł został przygotowany w ramach projektu Tempus-PHARE S_JEP-12232-97.

Tłumaczył *Tomasz Szoplik*
Instytut Geofizyki UW
Warszawa

Literatura

[1] J.L. Monteith, *Principles of Environmental Physics*, wyd. I (Edward Arnold, Londyn 1973).

[2] J.L. Monteith, M.H. Unsworth, *Principles of Environmental Physics*, wyd. II (Edward Arnold, Londyn 1990).

[3] *What is Environmental Physics*, plakat i ulotka informacyjna (Institute of Physics, Londyn), bez daty, około 1998 r.

[4] *Bulletin Environmental Physics Group* **3**, nr. 1 (1997), s. 6.

[5] E. Boeker, R. van Grondelle, *Environmental Physics*, wyd. II (John Wiley and Sons, Chichester 1999); wyd. I: 1995. Polskie tłumaczenie drugiego wydania ukaże się w 2001 r. Dla Wydawnictwa Naukowego PWN książkę tłumaczą Konrad Bajer, Aleksandra Kopystyńska i Tomasz Szoplik.

[6] A. Wellburn, *Air Pollution and Climate Change: The Biological Impact*, wyd. II (Longman, Londyn 1994).

[7] S.M. Gruner, J.S. Langer, P. Nelson, V. Vogel, „What future will we choose for physics?", *Phys. Today*, grudzień 1995, s. 25.

[8] J. Kumagai, „How will the new engineering education criteria affect physics?", *Phys. Today*, styczeń 1999, s. 59.

[9] Listy R. Wilsona, R.L. Garwina i Z. Jaworowskiego, *Phys. Today*, maj 2000, s. 11–14, 76.

[10] W.C. Sailor, D. Bodansky, C. Braun, S. Fetter, B. van der Zwaan, „A nuclear solution to climate change?", *Science* **288**, 1177 (2000).

Międzynarodowa Konferencja Fizyki Półprzewodników, Osaka 2000

W dniach 17–22 września 2000 r. w Osace odbyła się 25. Międzynarodowa Konferencja Fizyki Półprzewodników. Komitetowi Organizacyjnemu przewodniczył prof. Hiroshi Kamimura, a pracami Komitetu Programowego kierował prof. Tsuneya Ando. W konferencji wzięło udział 1054 fizyków z 38 krajów świata. Najliczniejszą grupę stanowili gospodarze. Ze zgłoszonych blisko 1300 prac Komitet Programowy zaakceptował (po zasięgnięciu opinii recenzentów) 997 prac (w tym 43 referaty na zaproszenie). 17-osobowa delegacja polska była 10. pod względem liczebności. Przedstawiliśmy 1 referat na zaproszenie (prof. Roman Stępniewski z Uniwersytetu Warszawskiego), a także ok. 20 krótkich referatów i plakatów.

Obrady konferencji przebiegały bardzo sprawnie i były zorganizowane z dużym rozmachem. W uroczystości otwarcia uczestniczył członek japońskiej rodziny cesarskiej, książę Takamado z małżonką. Odczytano również list od premiera Japonii Yoshiro Moriego. Książę wraz z małżonką zaszczycili swoją obecnością całą sesję tematyczną o nanorurkach. Spowodowało to pewne zamieszanie wśród mówców, którzy zgodnie z protokołem dworskim musieli na początku referatu przywitać dostojnych gości. Udział „czynników oficjalnych" został powszechnie odebrany jako podkreślenie wagi, jaką przywiązuje się w Japonii do rozwoju nowoczesnych technologii, zwłaszcza półprzewodnikowych. Zwracała także uwagę bardzo liczna grupa sponsorów przemysłowych: ok. 40 znanych japońskich i międzynarodowych koncernów elektronicznych, komputerowych, telekomunikacyjnych, energetycznych i samochodowych. Konferencji towarzyszyła wystawa osiągnięć przemysłu półprzewodnikowego i elektronicznego. Szczególne wrażenie wywierały nowe zastosowania związane ze źródłami światła z azotku galu i indu, przedstawione przez firmy Nichia i Toyoda Gosei, oraz imponujących rozmiarów (długość ok. 2 m!) kryształ krzemu produkcji firmy Sumitomo. Firma Toyota pokazała samochód o hybrydowym napędzie spalinowo-elektrycznym najnowszej generacji. Dzięki rozbudowanej automatyce i wyspecjalizowanej elektronice oba układy napędowe uzupełniają się wzajemnie, płynnie wymieniając się pierwszoplanową rolą w zależności od aktualnych warunków jazdy. Samochód ten ustanowił światowe rekordy pod względem ekonomiki użytkowania i redukcji zanieczyszczeń.

Nie sposób szczegółowo omówić niezwykle bogaty program naukowy konferencji, prezentowany w układzie czterech równoczesnych sesji ustnych z dwugodzinnymi sesjami plakatowymi obejmującymi ok. 280 prac! W podsumowaniu wskazano na trzy nurty badań, które wywołują obecnie największe zainteresowanie środowiska. Dominują układy niskowymiarowe, a zwłaszcza badania ich właściwości optycznych i transportu elektronów w układach kropek kwantowych oraz w układach z dwuwymiarowym gazem elektronowym (referaty plenarne K. von Klitzinga i J. Eisensteina). Utrzymuje się duże zainteresowanie półprzewodnikami z szeroką przerwą energetyczną, szczególnie azotkiem galu i materiałami pochodnymi (referaty plenarne C.G. Van de Wallego oraz U.K. Mishry). Szybko rozszerza się zainteresowanie spintroniką półprzewodnikową zarówno w jej nurcie związanym z półprzewodnikami półmagnetycznymi, jak i zjawiskami spinowymi w półprzewodnikach niemagnetycznych (referaty plenarne D.D. Awschaloma i D. Chemli).

Bardzo ciekawa była także specjalna sesja plenarna poświęcona związkom badań podstawowych z zastosowaniami. Bardzo skuteczne wprowadzenie nowych idei do zastosowań pięknie pokazał F. Capasso na przykładzie lasera kaskadowego oraz Żores Alfiorow (laureat Nagrody Nobla z fizyki w 2000 r.) na przykładzie heterostruktur półprzewodnikowych. Zwłaszcza referat Alfiorowa (członka zagranicznego Polskiej Akademii Nauk) wzbudził wiele refleksji. Nie ulega wątpliwości, że odkrycie w latach sześćdziesiątych szczególnych własności heterozłącza półprzewodnikowego umożliwiło tak spektakularny rozwój optoelektroniki, w tym technologii optycznego zapisu i odczytu informacji (płyty kompaktowe), oraz rozwój szybkiej elektroniki w zakresie częstotliwości 1 GHz, będącej podstawą m.in. telefonii komórkowej. Przedstawiono także niezwykle ekscytujące, acz dosyć odległe w czasie możliwości związane z komputerami kwantowymi (referat plenarny Y. Yamamoty) i roli technologii półprzewodnikowych w ich konstrukcji. Wyraźnie było widać, że opracowywanie podstaw pojęciowych komputerów kwantowych znacznie wyprzedza prace nad znalezieniem fizycznych obiektów, które mogłyby realizować takie obliczenia. Zdecydowanie rewolucja informatyczna związana z wprowadzeniem komputerów kwantowych jest jeszcze przed nami, ale jak daleko?

Konferencja w Osace była niezwykle inspirującym doświadczeniem, pokazującym fizykę półprzewodników jako bardzo prężny dział fizyki o bliskich powiązaniach z nowoczesnymi zastosowaniami. Wśród jej ważnych i aktualnych kierunków działania są także dziedziny, w których środowisko polskie ma niekwestionowane osiągnięcia, np. badania azotków grupy III oraz spintronika półprzewodnikowa. Z drugiej zaś strony budzi się oczywista refleksja, że często ta niekwestionowana pozycja polskiej nauki w rozwoju podstaw nowych dziedzin w fizyce półprzewodników nie przekłada się później na przewodnią rolę polskiego przemysłu w ich zastosowaniach. Nowoczesna technologia półprzewodników rodzi się z pomysłów fizyków. Jeśli decydentom starcza wyobraźni dalej niż do najbliższych wyborów, to podejmują decyzje o fi-

nansowaniu badań w dziedzinach, którymi interesuje się świat, bo to są inwestycje strategiczne i, jak pokazuje życie, niezwykle opłacalne. Mechanizm ten, wielokrotnie sprawdzony przez gospodarzy konferencji, nie działa jednak w Polsce.

Kolejna 26. konferencja fizyki półprzewodników odbędzie się w 2002 r. w Edynburgu. Jej organizacji podjęli się prof. Laurence Eaves i prof. Maurice S. Skolnick.

Tomasz Story, Leszek Dobaczewski
Instytut Fizyki PAN
Warszawa

37. Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej

W dniach 6–15 lutego 2001 r. w Karpaczu odbyła się 37. Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej zorganizowana przez Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Wzięły w niej udział 72 osoby z 18 krajów. Tym razem była ona bardziej konferencją niż szkołą i służyła jako forum spotkań fizyków ze Wschodu i Zachodu. Jak w poprzednich latach, wykładowcy reprezentowali przodujące ośrodki fizyki teoretycznej, takie jak Cambridge, Paryż, Los Angeles, Rzym, Dubna i wiele innych.

Tegoroczne spotkanie miało tytuł: „Najnowsze osiągnięcia w teorii oddziaływań fundamentalnych", a przedstawiono na nim wyniki badań w następujących dziedzinach: zdeformowane układy całkowalne; teoria strun, membran itd.; grupy kwantowe i deformacje struktur algebraicznych; supersymetria i jej uogólnienia; geometria niekomutatywna; grawitacja kwantowa. Pokazano podczas niego próby przerzucenia mostów między teorią strun a geometrią niekomutatywną i supersymetriami. Przedstawiono też próby połączenia tych teorii z nieliniowymi teoriami pola. Wśród nich poczesne miejsce zajmuje elektrodynamika Borna–Infelda zaproponowana jeszcze w 1932 r. Wzmożone zainteresowanie tą klasyczną już teorią zostało zrodzone dzięki najnowocześniejszej wersji teorii strun i tzw. teorii M, w których równania wyprowadzone niegdyś przez Borna i Infelda pojawiają się jako część układu równań opisującego większą liczbę pól elementarnych jednocześnie, powstających jako stany wzbudzone strun i membran zanurzonych w 11-wymiarowej czasoprzestrzeni, w której znana nam czasoprzestrzeń jest tylko jedną z podprzestrzeni.

W jednym z wykładów przedstawiono koncepcję dwóch czasów. Nie jest to pomysł całkiem nowy, bo już wiadomo było, że dodatkowe wymiary czasowe naruszają przyczynowość. Jednakże tym razem drugi wymiar czasowy jest eliminowany przez przekształcenie cechowania, stając się tylko parametrem, i nie stoi w sprzeczności z zasadą przyczynowości.

W kilku wykładach próbowano określić możliwe do ewentualnego zaobserwowania konsekwencje deformacji symetrii rządzących czasoprzestrzenią i oddziaływaniami fundamentalnymi. Teoria deformacji może opisać sytuacje, w których obserwuje się odchylenia od przewidywań dobrze sprawdzonych teorii, np. przy bardzo wysokich energiach, dużych gęstościach, małych odległościach. Wykazano, że uzasadnione są nadzieje, iż deformacje są dobrym kandydatem do ujęcia w karby matematyczne takich odchyleń. Na przykład nieprzemienność operatorów współrzędnych przestrzennych pociąga za sobą istnienie wyróżnionego wektora przestrzennego, co naruszałoby niezmienniczość lorentzowską (oczywiście tylko w wymienionych wcześniej skrajnych warunkach). W jednym z wykładów usłyszeliśmy, jak pewne zaskakujące obserwacje promieniowania kosmicznego (istnienie protonów i kwantów gamma o zbyt dużej energii) można wykorzystać do badania zjawisk fizycznych w skali długości Plancka.

Inna grupa wykładów pozostawiła wrażenie, że oto na naszych oczach wykluwa się wreszcie kwantowa teoria grawitacji – na co czekaliśmy od ponad pół wieku. Wymaga ona rezygnacji z niektórych naszych przyzwyczajeń, np. czasoprzestrzeń nie powinna być modelowana przez rozmaitość i metrykę. Teraz trzeba ją uważać za klasę równoważności dyfeomorfizmów wielu rozmaitości i metryk – nazwano to niezależnością od tła. Dowiedzieliśmy się też, że stała kosmologiczna pojawia się jako parametr deformacji kwantowej.

Dyrektorami Szkoły byli Jerzy Lukierski i Ziemowit Popowicz z Uniwersytetu Wrocławskiego oraz Jakub Rembieliński z Uniwersytetu Łódzkiego. Ponadto w komitecie organizacyjnym działali: Arkadiusz Błaut, Andrzej Frydryszak, Marek Mozrzymas i Dobromiła Nowak-Szczepaniak. Pomocy finansowej udzieliły: Ministerstwo Edukacji Narodowej, Polska Akademia Nauk, Uniwersytet Wrocławski, Uniwersytet Łódzki i Fundacja Szkół Zimowych. Materiały Szkoły ukażą się w wydawnictwie American Institute of Physics (Woodbury, New York) w serii Conference Proceedings.

Bernard Jancewicz
Instytut Fizyki Teoretycznej UWr
Wrocław

Ryszard Kerner
Laboratoire de Physique Théorique des Liquides
Université Pierre-et-Marie-Curie
Paryż

RECENZJE

Nobel za węglowe piłeczki

Andrzej Huczko: *Fulereny. Nobel za węglowe piłeczki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000, s. 134.

Przyznanie Nagrody Nobla (1996) za odkrycie fullerenów stało się pretekstem do napisania książki *Fulereny. Nobel za węglowe piłeczki*.

W powyższym zdaniu uderza rozbieżność ortograficzna, bez wyjaśnienia której kontynuacja omówienia książki jest niemożliwa. Bo jak tu pisać o „fulerenach", skoro przyzwyczajenie – może nawet już tradycja (15 lat od odkrycia i 4 lata od Nobla) – domagają się pisowni „fullereny", a więc z użyciem dwóch „l". Chociaż nasi lingwiści w najnowszych wydaniach encyklopedyczno-słownikowych [1,2] zdecydowali o pisowni z jednym „l", to jednak w literaturze przedmiotu dostępnej w języku polskim wyraźnie przeważa pisownia „fullereny". Wystarczy przejrzeć ostatnie, np. od 1996 r. (daty Nobla za fullereny) roczniki dwóch najpoczytniejszych na naszym rynku czasopism popularnonaukowych (pozycje książkowe są bardziej niż skromne i oczywiście nie ma w nich ustalonej pisowni, o czym dalej), a więc *Wiedzy i Życia* oraz *Świata Nauki*. Łatwo stwierdzimy (www.wiw.pl: *WiŻ*, roczniki 1996–98; *ŚN*, roczniki 1997–99), że na 30 pozycji poświęconych zagadnieniom związanym z fullerenami tylko w jednym przypadku (*WiŻ* nr 10 z 1996 r.) zastosowano pisownię z jednym „l". Wszystkie obszerne i poważne opracowania, w tym omówienie Nagrody Nobla za fullereny [3] oraz artykuł autorytetu polskich fizyków-popularyzatorów A.K. Wróblewskiego [4] posługują się pisownią przez „ll". Widzimy więc, że mimo dosyć wczesnych rozstrzygnięć językowych [1], środowisko fizyków i chemików nie przyjęło proponowanego przez językoznawców dla fullerenów zapisu „fulereny". Autor książki jest tu wyjątkiem i należy do zwolenników tej mało popularnej formy, noszącej cechy hiperpoprawności.

Mam nadzieję, że powyższe uwagi usprawiedliwią mój tradycjonalizm i to, że w dalszej części tego omówienia zostanę jednak przy pisowni „fullereny".

Autor książki, Andrzej Huczko, fullerenami zajmuje się już od dłuższego czasu, m.in. od 5 lat organizuje na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego konwersatoria fullerenowe, w programie których można już teraz znaleźć chyba wszystkie liczące się w Polsce nazwiska, związane z fullerenami. Ostanie lata Andrzej Huczko poświęcił tak modnym obecnie badaniom nanorurek węglowych. Wraz z Przemysławem Byszewskim, pierwszym polskim wytwórcą i badaczem fullerytu C_{60} i jego alkalicznych interkalatów, umieścił już wcześniej na rynku polskim zbiór artykułów wydany w Bibliotece *Wiadomości Chemicznych* Uniwersytetu Wrocławskiego (1998), zatytułowany *Fulereny i nanorurki węglowe*. Inna pozycja o tematyce fullerenowej na naszym rynku to skrypt W. Śliwy *Fullereny* (proszę porównać pisownię przyjętą w obu tytułach!), wydany przez Wydawnictwo Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Częstochowie (1995/96).

Omawiana książka jest monograficznym rozwinięciem artykułów Andrzeja Huczki zamieszczonych w Bibliotece *Wiadomości Chemicznych* UWr. Autor niewątpliwie świadomie zrezygnował z odnośników literaturowych i narrację utrzymał w przystępnej, miejscami fabularyzowanej konwencji. Lokuje to omawianą pozycję blisko wydawnictw popularnonaukowych, dzięki czemu książka doskonale spełnia rolę wprowadzenia w tematykę fullerenową, zwłaszcza z chemicznego punktu widzenia. Zawiera ona większość podstawowych informacji niezbędnych czytelnikowi, który chciałby poznać podstawy wiedzy związanej z fullerenami czy tak popularnymi ostatnio nanorurkami. Tym czytelnikom, którzy chcieliby szerzej spojrzeć na te zagadnienia, poleciłbym pozycję angielskojęzyczną: M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P.C. Eklund, *Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes*, Academic Press 1996 (pozycja [16] w „Bibliografii źródłowej" omawianej książki).

Monografia *Fulereny. Nobel za węglowe piłeczki* składa się z siedmiu rozdziałów poprzedzonych „Wstępem" i podsumowanych „Zakończeniem". Niewątpliwie pomocne w czytaniu są hasła zamieszczone w „Słowniczku" i „Skorowidzu".

„Wstęp" poświęcony jest trzem głównym, jak mówi Autor, odkryciom ostatniego ćwierćwiecza: nadprzewodnictwu, „zimnej fuzji" i fullerenom. W tym szeregu najważniejszych odkryć dla „zimnej fuzji" jednak nie powinno być miejsca. Została ona tu umieszczona prawdopodobnie z powodu emocji, jakie swego czasu wywołała nie tylko w środowisku naukowym. Jak dotąd bowiem, mimo ogromnych nakładów finansowych na badania, „zimnej fuzji" do odkryć zaliczyć się nie da, o czym zresztą wie i wspomina również sam Autor książki.

Rozdział I poświęcony jest krótkiemu omówieniu podstawowych odmian alotropowych węgla. Rozdział II ze swymi podrozdziałami wyczerpująco przedstawia historię odkrycia fullerenów wraz z wyjaśnieniem pochodzenia nazwy. W Rozdziale III obok obszernego przeglądu metod stosowanych do wytwarzania (również na skalę przemysłową) fullerenów Autor przedstawia liczne propozycje wyjaśnienia mechanizmu ich powstawania. Liczba tych propozycji świadczy o tym, że spójny obraz takiego mechanizmu na razie nie istnieje. Nie oznacza to jednak, że stawianie ostrej granicy pomiędzy „kinetyką" i „termodynamiką" procesu tworzenia się fullerenów (s. $38^{2,3}$) lub później omawianych nanorurek węglowych (s. $82_{5,6}$) cokolwiek tu ułatwi, zwłaszcza że powinniśmy pamiętać o tym, że każdy porządny podręcznik termodynamiki zaczyna się od równania kinetycznego Boltzmanna.

Rozdziały IV i V to główna część książki. „Charakterystyka fulerenów" została zawarta w Rozdziale IV. Po krótkim przedstawieniu własności fizykochemicznych C_{60} Autor przechodzi do charakterystyki kolejno: „Fulerenów egzohedralnych", czyli takich cząsteczek C_n, do których na zewnątrz przyłączone są rodniki lub grupy funkcyjne; „Fulerenów endohedralnych", czyli fullerenów, w których wnętrzu umieszczone są różne pierwiastki – cząsteczki C_n można wtedy traktować jak klatki, w których zamykane są wybrane przez nas obiekty. Następnie przedstawiono „Heterofullereny", a więc fullereny C_n, w cząsteczkach których w miejsce jednego lub większej liczby atomów węgla podstawiono atomy innych pierwiastków. W końcu zaprezentowana została przebogata „Rodzina węglowych piłeczek" z cząsteczkami-gigantami, np. C_{1500}, czy najmniejszymi C_{28}, obserwowanymi jednak tylko w konfiguracji endohedralnej $U@C_{28}$. Następnie pojawia się szeroko opracowany podrozdział „Perspektywiczne zastosowania", w którym omówiono również własności fullerytu C_{60} oraz jego interkalatów M_xC_{60} z nadprzewodnictwem i polimeryzacją. Rozdział IV zakończony jest krótkim przeglądem możliwości zlokalizowania fullerenów w przyrodzie, potęgującym uczucie zdziwienia, że tak długo czekały one na swoich odkrywców.

Rozdział V w całości poświęcony został takim nanoobiektom, jak „Nanorurki", „Nanocebulki" i „Nanokapsułki węglowe". Najważniejsze, ze względu na perspektywy zastosowań, są tu niewątpliwie nanorurki węglowe. Autor wyczerpująco omawia metody otrzymywania i mechanizmy powstawania nanorurek. Następnie, po krótkiej prezentacji własności fizykochemicznych nanorurek, przedstawione są bardzo obiecujące perspektywy ich wykorzystania, np. jako nanodziała elektronów z przeznaczeniem dla technologii płaskoekranowych wyświetlaczy (według ostatnich doniesień dziewięciocalowy płaski ekran został już skonstruowany przez grupę naukowców koreańskich [5] przy wykorzystaniu tej technologii). Rozdział V zamykają dwa krótkie podrozdziały, opisujące rzeczywiście egzotyczne obiekty, nazywane „Nanocebulkami" oraz „Nanokapsułkami". Te pierwsze to sfery fullerenowe zawarte jedna w drugiej, np. $C_{960}@C_{1500}@C_{2160}@C_{2940}$ (czasami z diamentem w środku). Te drugie to wielowarstwowe klatki węglowe, we wnętrzu których mogą być umieszczane nie tylko pojedyncze atomy różnych pierwiastków, ale i obiekty znacznie większe, np. krystality.

Książkę kończą dwa rozdziały: VI – „Co przyniesie przyszłość" i VII – „Kontrowersje wokół Nagrody Nobla" oraz „Zakończenie". Wydaje się, że tym trzem fragmentom książki wystarczyłby jeden wspólny tytuł: „Zakończenie". Zwłaszcza, że rozdziały VI i VII są bardzo krótkie, a „Kontrowersje..." w przypadku fullerenów kontrowersji nie budzą, co umiejętnie pokazał sam Autor już we „Wstępie", gdzie fullerenowych noblistów ulokował na bardzo wysokich pozycjach światowego rankingu cytowań.

Niewielkie zmiany układu książki chciałbym również zasugerować w obrębie rozdziału IV: zamieszczona tam w podrozdziale „Własności fizykochemiczne" tabela IV-1 prezentuje przede wszystkim własności fullerytu C_{60}, więc bardziej pasowałaby do podrozdziału „Fizykochemia ciała stałego", co pozwoliłoby ten podrozdział nieco rozbudować, zwłaszcza o opis przemian fazowych obserwowanych w fullerytach C_{60} lub C_{70}. Istnienia jednej z takich przemian można się zaledwie domyślać na podstawie danych zamieszczonych we wspomnianej wyżej tabeli (inne struktury krystaliczne powyżej i poniżej 260 K). Pozwoliłoby to przesunąć mocny chemiczny akcent książki w kierunku fizyki, która przecież o fullerenach potrafi powiedzieć równie dużo.

Książka napisana jest żywym językiem i czyta się ją dobrze. Autor nie ustrzegł się jednak pewnych błędów. Niestety, nie pomogła tu korekta, która dopuściła do druku nawet obcięte rysunki: w podpisie do rys. II-1 (s. 14) zabrakło ostatniego słowa: „wierzchołkami", a rys. V-28 (s. 114) obcięto zarówno z lewej, jak i prawej strony. Inne błędy pozostawione przez korektorkę to:

22^2: jest „C60", powinno być „C_{60}";

36^8: jest „wydajność fulerenów", powinno być „wydajność procesu tworzenia się fullerenów";

36^{20}: jest „mechanizm reakcyjny", powinno być „mechanizm reakcji";

50: w tabeli IV-1 nie ma polskich nazw dla struktur sc (simple cubic) i fcc (face centered cubic);

101_4: jest „dostarczyły niezwykle bogaty materiał", powinno być „dostarczyły niezwykle bogatego materiału";

106^2: jest „różnica potencjału", powinno być „różnica potencjałów";

108^{19}: jest „pod próżnią", powinno być „w próżni";

117^3: jest „związane aktualnie bardziej z", powinno być „związane aktualnie z";

125_{11}: jest „eksperymentalistów", powinno być „eksperymentatorów".

Nie wiadomo dlaczego pozostawiono różne sposoby zapisu w przypadkach: „o strukturze klatkowej" (s. 36^{19}) i „struktura »klatkowa«" (s. $45^{9,10}$). Również połączenie dwóch bliskoznacznych wyrazów: „badań diagnostyki" (s. 97^{16}) nie jest najlepsze.

Sądzę też, że uważny korektor mógłby zasugerować zmianę niektórych terminów, np.: „klasterowanie" (rys. II-3 lub s. 24^4) na „tworzenie klasterów"; „pirolizowanie" (s. 35^3) na „poddawanie procesowi pirolizy", czyli tak, jak na s. 97_{19} („pirolizy węglowodorów"); „gazodynamiczno-kinetyczne klasterowanie" (s. 36_{14}) na coś przyjemniejszego dla ucha.

W tekście jest jednak także kilka błędów lub nieścisłości trudnych do usunięcia podczas korekty. Są to:

— Rys. I-1c (s. 9) nie przedstawia „siatki krystalicznej fulerenu C_{60}", a cząsteczkę C_{60}. Umieszczenie odnośnika do tego rysunku na stronie następnej, na końcu poprawnie skonstruowanego zdania, może spowodować błędne zrozumienie tego zdania.

— Na rys. II-2b (s. 14) izomery C_{60} są identyczne, w odróżnieniu od wyraźnej różnicy zilustrowanej dla izomerów C_{84} (rys. IV-15(c-e), s. 68).

— Na rys. IV-2 (s. 48) w opisie struktury geometrycznej cząsteczki C_{60} zabrakło: „60 wiązań pojedynczych" lub „90 krawędzi", potrzebnych później na s. $103^{6,7}$ do teorematu Eulera.

— Podana na s. 75^{3} temperatura przejścia do nadprzewodnictwa dla grafitu interkalowanego potasem (0,55 K), jest temperaturą wyjątkowo wysoką dla tego układu, bo uzyskaną dla niestechiometrycznego składu C_8K (z trudnym do powtórzenia nadmiarem potasu). Stechiometryczny układ C_8K przechodzi do fazy nadprzewodzącej w temperaturze 0,39 K [6].

— Z dwóch zdań: „β-BN, która to odmiana krystalograficzna uważana jest za twardszą od diamentu" (s. $66^{6,7}$) i „jego twardość przewyższa twardość azotku boru, a nawet diamentu" (s. 76_5), tylko jedno jest prawdziwe.

— Na s. $80^{5,6}$ po zdaniu: „Okazało się jednak, że prawdopodobnie Przyroda stworzyła fulereny w naszych ziemskich warunkach" nowy akapit rozpoczyna się zdaniem: „Ostatnie pięć lat przyniosło w tej materii nowe odkrycia", po czym kontynuacja tego akapitu, jak również dwa krótkie następne akapity, poświęcone są fullerenom powstałym nie na Ziemi, a w Kosmosie. O naszych ziemskich warunkach Autor pisze dopiero później.

Takie przestawienia tekstu nie ułatwiają lektury. Kilka przypadków przestawień związanych jest także z terminologią, co również może utrudnić zrozumienie tekstu, zwłaszcza tym czytelnikom, którzy po raz pierwszy zetknęli się z fullerenami. Znajdujemy tu mało znane określenia pojawiające się na długo przed ich wyjaśnieniem:

— „magiczne liczby" (s. 36_{16}), wyjaśnienie dopiero na s. $69^{1,2}$;

— „trybologiczny" (s. 56^{10}), wyjaśnienie: s. 78_{5-7};

— „fulerydy" (s. 59^{6}), wyjaśnienie na s. 74_4;

— „ikospiralny" (opis rys. III-15, s. 42) – znaczenia tego terminu czytelnik może się tylko domyślić, jeśli zapamiętał wcześniejsze wyjaśnienie słowa „ikosaedr" (s. $13_{3,4}$ lub $48^{6,7}$).

— Podobnie jest ze stwierdzeniem na s. 59^{6}: „oczywiście te pierwsze są wrażliwe na kontakt z powietrzem". W tym miejscu stwierdzenie to nie jest wcale takie oczywiste – wyjaśnienie pojawia się dopiero na s. 75^{7}. Poza tym sugestia zamieszczona przy tej okazji na s. 59^{4}, mówiąca o tym, że układy $M^{3+}@C_{60}^{3}$ mogą być nadprzewodzące, wydaje się przedwczesna.

Bez wyjaśnienia w tekście lub w „Słowniczku" pozostały takie nie najłatwiejsze terminy, jak:

— „laserowa ablacja" (s. 36_{17}), zwłaszcza, że używane są również określenia: „laserowa aktywacja" (s. 24^{21}) czy „laserowa sublimacja" (s. $67^{4,5}$),

— „cykloaddycja" (s. 57^{1}),

— „kaliksareny" (s. 57^{8}),

— „cyklodekstryny" (s. $57^{8,9}$).

Trudno mi również zgodzić się na: „elementów [...] tablicy Mendelejewa" (s. $10_{12,13}$), skoro wiemy, że w tablicy Mendelejewa są pierwiastki (ang. elements), i na: „spektrometrii mas" (s. 15^{17} i w innych miejscach), skoro sam użyłbym tu: „spektrometrii masowej", tak jak Autor książki używa „spektrometrii emisyjnej (s. 40^{4}) czy „mikroskopii skaningowej, siłowej oraz transmisyjnej" (s. 82^{7}). Również „annealing" (s. 39^{5}) to nie „transformacja przestrzenna", a jedynie wygrzewanie, czyli metoda obróbki termicznej prowadząca do takiej transformacji, a „koherentność" (koherencja, albo lepiej: spójność) – s. 106^{9} – to nie „skupienie", a zgodność faz. I w końcu przymiotnik „utopijne" określający środowisko naukowe (s. 128_{11}) nie brzmi dobrze – ma on już dzisiaj znaczenie pejoratywne.

Wyszczególnione pomyłki i błędy obniżają ocenę omawianej monografii. Jednak jako całość książka stanowi pozycję wartościową i chyba już teraz, po 15 latach od odkrycia fullerenów, wręcz konieczną na półkach w naszych księgarniach.

Literatura

[1] *Nowa encyklopedia PWN* (PWN, Warszawa 1995), t. II, s. 450.

[2] *Nowy słownik ortograficzny PWN z zasadami pisowni i interpunkcji*, opr. E. Polański (PWN, Warszawa 1998), s. 191.

[3] *Świat Nauki*, nr 3/1997, s. 8, z odnośnikami do wcześnych publikacji, w których zastosowano również pisownię „fullereny": *Świat Nauki*, nr 12/1991 oraz 11/1993.

[4] A.K. Wróblewski, *Wiedza i Życie*, nr 1/1998, s. 18.

[5] S. Mirsky, *Świat Nauki*, nr 8/2000, s. 20 (tłumacz zastosował tu również pisownię „fullereny").

[6] M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, *Adv. Phys.* **30**, 139 (1981).

Wojciech Kempiński

Instytut Fizyki Molekularnej PAN

Poznań

LISTY DO REDAKCJI

Uwagi na temat nauczania fizyki: głos nauczyciela

Od kilku lat dosyć często w czasopismach zajmujących się fizyką ukazują się artykuły na temat nauczania fizyki w polskich szkołach, a właściwie na temat jego niskiego poziomu. Winą za to obarcza się najczęściej nauczycieli tego przedmiotu.

Jako nauczyciel fizyki czuję się z tego powodu wywołany do tablicy w celu przedstawienia problemu od strony praktycznej, tym bardziej, że wśród głosów na ten temat stosunkowo rzadko można przeczytać opinię nauczycieli, szczególnie z niewielkich miejscowości. Fizyki uczę już 15 lat na różnych szczeblach edukacji, obecnie m.in. w liceum i gimnazjum. Jak zatem wygląda nauczanie z mojego punktu widzenia?

Jednym z istotnych problemów jest ciągłe zmniejszanie liczby godzin w cyklu nauczania bez zmiany ilości materiału nauczania – tak dzieje się od roku 1992, gdy zaczęto oszczędzać na oświacie poprzez redukcję godzin nauczania poszczególnych przedmiotów (wówczas czasowo zmniejszono liczbę godzin nauczania i stan ten trwa do dziś, zniesiono również zajęcia pozalekcyjne, w tym koła zainteresowań). Liczba godzin zmniejsza się również z przyczyn organizacyjnych. Na przykład w poprzednim roku szkolnym trafiło się po kolei pięć tygodni, w ciągu których zajęcia odbywały się przez 2, najwyżej 3 dni. Przyczyną tego były: rekolekcje (3 dni), Święta Wielkanocne (2 dni i 2 dni), święta majowe (3 dni), matury pisemne (2 dni). W tym czasie zdarzyło się pożegnanie klas czwartych oraz wyjście do kina. Ten długi okres przez większość młodzieży został potraktowany jako czas wolny od nauki i praktycznie dla nauki stracony. Dlatego też pierwsze lekcje po okresie tak długiej przerwy należało potraktować jako lekcje powtórzeniowe. Liczne inne okresy ferii i świąt, a także dosyć wczesne zakończenie nauki przed wakacjami (23 lub już 21 czerwca) powodują, że liczba godzin lekcyjnych, przy dwóch godzinach tygodniowo, w ciągu roku szkolnego wynosi poniżej 60, tak jakby rok szkolny trwał poniżej trzydziestu tygodni, tj. około 7 miesięcy!!! Obowiązujące programy zakładają ponad siedemdziesiąt godzin lekcyjnych w ciągu roku przy dwóch tygodniowo.

Nie jest prawdą, że młodzież szczególnie nie lubi się uczyć fizyki. Większość młodzieży po prostu nie lubi się uczyć, a szczególnie przedmiotów, które wymagają systematyczności i myślenia. Naukę traktuje się, zresztą chyba od zawsze, jako zło i to nie zawsze konieczne, a ilość dostępnych współcześnie możliwości rozrywek jest tak duża, że na to „zło" młodzież ma coraz mniej czasu. Ten brak czasu, malejąca liczba godzin nauczania i „zakłócenia" w przebiegu roku szkolnego odbijają się szczególnie na nauczaniu przedmiotów wymagających systematycznej pracy – w tym fizyki.

Większość szkół, nawet licea, nie ma pracowni fizycznych, tylko ich ubogo wyposażone namiastki. Owszem, można zademonstrować podstawowe prawa czy zjawiska, jednak przy trzydziestoosobowych klasach i ubogim wyposażeniu lekcje, na których uczniowie samodzielnie przeprowadzają eksperymenty, są rzadkością. Trudne jest zdobycie środków na zakup dobrego sprzętu i unowocześnienie pracowni również w gimnazjach. Powoduje to, że lekcje nie są zbyt atrakcyjne, a stają się nadmiernie abstrakcyjne, gdy nauczyciel koncentruje się na rozwiązywaniu zadań.

Kolejną istotną przyczyną jest spadek popularności wykształcenia technicznego obserwowany od początku lat dziewięćdziesiątych. W ostatnich latach spadek ten, jak mi się wydaje, zahamował się. Efekt ten związany był z rynkiem pracy, modą na zarządzanie, marketing, ekonomię, prawo itp. Pojawienie się licznych uczelni, w tym prywatnych, kształcących w tych kierunkach spowodowało, jak się wydaje, nasycenie rynku pracy i obecnie łatwiej znaleźć atrakcyjną pracę będąc absolwentem politechniki czy uniwersyteckiej fizyki niż uczelni ekonomicznej. Być może spowoduje to wzrost zainteresowania fizyką z przyczyn czysto praktycznych, a takie względy decydują przede wszystkim o wyborze przedmiotów do uczenia się przez młodzież w szkołach średnich.

Nie ułatwia nauczycielom pracy zamieszanie wokół programów nauczania w gimnazjum i brak jasnej koncepcji nauczania fizyki na tym etapie edukacji, tj. brak odpowiedzi na pytanie, co właściwie uczeń powinien wiedzieć i umieć po ukończeniu gimnazjum. W zasadzie nie wiadomo też, jak ma wyglądać fizyka w przyszłym liceum – znamy tylko ogólnikowe hasła. Z liczby godzin w cyklu nauczania gimnazjalnego wynikałoby, że należy odejść od tradycyjnego programu nauczania działami (w trzyletnim cyklu gimnazjalnym może być tylko 4 godz. fizyki tygodniowo). Jednak wśród programów nauczania dominują programy z tradycyjnym układem materiału, częstokroć będące adaptacją programów klas VII i VIII dotychczasowej szkoły podstawowej, które będą coraz trudniejsze do realizacji, ze względu na trudności matematyczne wynikające ze zmiany programu nauczania matematyki, co powoduje np., że na lekcjach fizyki w klasie pierwszej gimnazjum uczniowie po raz pierwszy spotykają się z układem współrzędnych i wykresami funkcji, a także z przekształceniami wyrażeń typu $a = b/c$.

Można stwierdzić, że to, co najtrudniejsze przy opracowaniu programu – korelacja między różnymi przedmiotami nauczania – w większości programów nie została uwzględniona. Tak jest nie tylko w przypadku programów nauczania fizyki. Program, podobnie jak podręcznik, aby był dobry, musi być sprawdzony w działaniu i na tej podstawie skorygowany (dopiero w praktyce w pełni ukazują się niedociągnięcia i pomyłki), o czym zdaje się zapomnieli twórcy reformy oświaty. Aktualny stan przygoto-

wania do reformy szkolnictwa ponadgimnazjalnego, która ma być wdrażana od 1 września 2002 r., wskazuje, że w nowych liceach nie będzie pod tym względem lepiej.

Ciągle brak jest więc spójnej koncepcji nauczania fizyki na poszczególnych etapach edukacji: w jakim stopniu to nauczanie ma przygotowywać do dalszej nauki, co powinien umieć uczeń czy student rozpoczynający edukację na wyższym szczeblu, jaką dać wiedzę i umiejętności, które powinien mieć każdy uczeń kończący dany etap edukacji.

Tak pokrótce wygląda przegląd problemów w nauczaniu fizyki, widzianych od strony praktycznej.

Jarosław Krakowski
LO im. Marii Skłodowskiej-Curie
Sokołów Podlaski

KRONIKA

PTF

Nagroda Mariana Smoluchowskiego – Emila Warburga

Polskie Towarzystwo Fizyczne (PTF) i Niemieckie Towarzystwo Fizyczne (DPG) ustanowiły w 1997 r. wspólną Polsko-Niemiecką Nagrodę z Fizyki imienia Mariana Smoluchowskiego i Emila Warburga, która jest przyznawana za wybitny wkład do fizyki czystej lub stosowanej co dwa lata, na przemian fizykowi polskiemu i fizykowi niemieckiemu. Kandydatów polskich przedstawia PTF do wyboru przez DPG i odwrotnie – DPG przedstawia kandydatów niemieckich do wyboru przez PTF. Pierwsza taka Nagroda została przyznana w 1998 r. (za rok 1997) Andrzejowi Białasowi (Kraków), a Nagrodę za rok 1999 otrzymał Ludger Wöste (Berlin).

Nagrodę za rok 2001 otrzymał Janusz Zakrzewski (UW), członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk, członek korespondent Polskiej Akademii Umiejętności, członek Towarzystwa Naukowego Warszawskiego. Laureat prowadzi badania doświadczalne w dziedzinie fizyki cząstek i wysokich energii, w szczególności w zakresie oddziaływania hadronów wysokiej energii z jądrem atomowym, zderzeń proton-antyproton i elektron-proton. Jest współodkrywcą podwójnego hiperjądra, brał udział w odkryciu bozonu pośredniczącego Z_0. Zainicjował współpracę grupy warszawskich fizyków z fizykami z DESY w Hamburgu. Kierował grupą odpowiedzialną za konstrukcję i działanie 2 zasadniczych części detektora ZEUS w tym ośrodku.

Wręczenie Nagrody odbyło się 28 marca 2001 r. w Hamburgu w czasie posiedzenia Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego (65. Physikertagung).

B. W.

CERN

W grudniu 2000 r. na prezesa Rady CERN-u (na roczną kadencję) został wybrany Maurice Bourquin (Genewa), a na wiceprezesa Ryszard Sosnowski (Warszawa).

CERN Courier **41**, nr 1 (2001) *B. W.*

Nominacje profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych nadany przez Prezydenta Rzeczpospolitej Polskiej otrzymali w dniu 23 marca 2001 r.: Andrzej Cezary Czachor (IEA, Świerk), Henryk Kasprzak (PWr), Jerzy Kazimierz Nowak (PWr) i Maciej Przanowski (PŁ).

Rzeczpospolita, nr 70 (2001) *B. W.*

Doktorat h.c. Trautmana

W dniu 14 lutego 2001 r. Andrzej Trautman, profesor zwyczajny Uniwersytetu Warszawskiego, otrzymał doktorat honoris causa i złoty medal Uniwersytetu Śląskiego w Opawie (Republika Czeska). Uroczystość wręczenia doktoratu była centralnym punktem obchodów 10. rocznicy powstania tego Uniwersytetu.

Uniwersytet w Opawie, przyznając swój pierwszy doktorat honorowy, podkreślił szczególny wkład Andrzeja Trautmana do teorii względności i fizyki matematycznej. W laudacji wygłoszonej przez Rektora Uniwersytetu Śląskiego przypomniane zostały takie osiągnięcia Trautmana, jak: sformułowanie warunków brzegowych dla równań pola grawitacyjnego zgodnych z występowaniem promieniowania i wykazanie, że pociągają one za sobą zmniejszanie się energii promieniowania; znalezienie wraz z Ivorem Robinsonem obszernej klasy ścisłych rozwiązań równań Einsteina zawierających „sferyczne" fale grawitacyjne; dostrzeżenie związków między własnościami fal grawitacyjnych i przenoszeniem przez nie informacji. Przypomniano także o wkładzie Trautmana do teorii Einsteina–Cartana, teorii Yanga–Millsa oraz teorii struktur zespolonych i spinorowych na rozmaitościach.

Przypomniano również kontakty prof. Trautmana z matematykami i fizykami z Czech, datujące się od spotkania jego z Vaclavem Hlavatym w 1958 r. Kontakty te były najbardziej intensywne w latach siedemdziesiątych, w okresie współpracy między Trautmanem a obecnym Rektorem Uniwersytetu Śląskiego Demetrem Krupką. Ich wspólne zainteresowania w dziedzinie wiązek włóknistych i wiązek zetów zaowocowały pracami na temat ogólnej niezmienniczości struktur lagranżowskich.

Mamy nadzieję, że doktorat honorowy dla profesora Trautmana przyspieszy podpisanie umowy o współpracy między Uniwersytetem Śląskim w Opawie i Uniwersytetem Warszawskim. Umowa taka jest przygotowywana przez Instytut Fizyki Teoretycznej i Katedrę Metod Matematycznych Fizyki UW oraz Instytut Matematyki Uniwersytetu w Opawie.

Paweł Nurowski

Stypendia FNP dla młodych naukowców

Odbyła się IX już edycja konkursu Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej na stypendia krajowe dla młodych naukowców (mających nie więcej niż 30 lat). Wpłynęły 573 wnioski (488 z uczelni wyższych, 57 z placówek PAN i 28 z innych jednostek badawczych). Przyznano aż 126 stypendiów rocznych w wysokości 20 tys. zł, zwolnionych od podatku i wypłacanych w 4 ratach kwartalnych. Uroczyste wręczenie dyplomów stypendialnych odbyło się 24 marca 2001 r. na Zamku Królewskim w Warszawie.

Oto lista stypendystów fizyków, biofizyków i astronomów: Waldemar Bednarski (IFM PAN, Poznań), Krzysztof Belczyński, astr. (CAMK PAN, Warszawa), Michał Czakon (UŚl), Winicjusz Drozdowski (UMK), Tomasz Klimczuk (PG), Mariusz Lisowski (UŚl), Sebastian Maćkowski (IF PAN, Warszawa), Szymon Mercik (PWr), Barbara Mochejska, astr. (CAMK PAN, Warszawa), Krzysztof Murzyn, biofiz. (UJ), Arkadiusz Olech, astr. (UW), Grzegorz Sęk (PWr), Bartłomiej Szafran (AGH) i Konrad Zdanowski, biofiz. (IBB PAN, Warszawa).

B. W.

Rocznice

Podobnie jak w latach ubiegłych, czasopismo *Nature* w pierwszym zeszycie styczniowym przypomina o rocznicach uczonych i wydarzeń naukowych przypadających w danym roku.

Sto lat temu, w 1901 r., urodziło się trzech spośród twórców nowoczesnej fizyki: Fermi, Heisenberg i Lawrence.

Enrico Fermi (1901 – 1954), profesor uniwersytetu rzymskiego, a później uniwersytetów amerykańskich: Columbia i Chicago, wytworzył w reakcjach z neutronami nowe pierwiastki promieniotwórcze i odkrył jądrowe reakcje łańcuchowe zapoczątkowane oddziaływaniem z powolnymi neutronami, za co otrzymał w 1938 r. Nagrodę Nobla. Zajmował się też fizyką statystyczną (statystyka Fermiego–Diraca), teorią ciała stałego (poziom Fermiego), teorią rozpadu β. W 1942 r. skonstruował w Chicago pierwszy reaktor jądrowy.

Werner Heisenberg (1901 – 1976) był twórcą macierzowej postaci mechaniki kwantowej (Nagroda Nobla 1932). W 1927 r. podał jedną z najważniejszych zasad fizyki mikroświata – zasadę nieoznaczoności. Wyraził postulat, że jądro atomowe składa się z protonów i neutronów. Miał ważne osiągnięcia w dziedzinie ferromagnetyzmu, zajmował się unitarną teorią pola i cząstek elementarnych, a także problemami filozoficznymi fizyki.

Ernest Orlando Lawrence (1901 – 1958), profesor Uniwersytetu Kalifornijskiego i dyrektor Radiation Laboratory, zbudował pierwszy cyklotron, za co w 1939 r. otrzymał Nagrodę Nobla. Później skonstruował bewatron, przyspieszający protony do energii 6,3 GeV, brał udział w pracach nad bombą jądrową, produkował w swoich akceleratorach sztuczne pierwiastki promieniotwórcze, zajmował się także zastosowaniem fizyki atomowej w biologii i medycynie.

Sto lat temu zmarł George Francis FitzGerald (1851 – 1901), który wysunął hipotezę, że ciała poruszające się z prędkością v kurczą się w kierunku ruchu zależnie od stosunku v/c (co jest znane obecnie jako skrócenie Lorentza–FitzGeralda).

Przed stu laty, w 1901 r., zostały po raz pierwszy przyznane Nagrody Nobla. Z fizyki otrzymał ją Wilhelm Conrad Roentgen za „odkrycie zadziwiających promieni, następnie nazwanych jego imieniem". Promieniowanie rentgenowskie znalazło natychmiast zastosowanie w medycynie. W fizyce na wyjaśnienie swej natury i zastosowania w analizie strukturalnej musiało poczekać na Maksa von Lauego (Nobel 1914) oraz Williama Henry'ego i Williama Lawrence'a Braggów (Nobel 1915).

Sto pięćdziesiąt lat temu, w 1851 r., Heinrich Daniel Ruhmkorff wynalazł w Paryżu cewkę indukcyjną, która później stała się narzędziem w badaniach wyładowań w gazach oraz posłużyła Hertzowi do wzbudzania drgań elektromagnetycznych. Również w 1851 r. Jean-Bernard-Léon Foucault zademonstrował paryżanom obrót Ziemi za pomocą wahadła zawieszonego pod kopułą Panteonu.

Dwieście lat temu, w 1801 r., Thomas Young (1773 – 1829) miał w Londynie w Royal Institution wykład „O teorii światła i kolorów", w którym powiedział m.in.: „Niech ośrodek pomiędzy dwiema powierzchniami będzie rzadszy niż ośrodek otaczający. Wówczas impuls odbity od drugiej powierzchni, napotykając na powierzchni pierwszej falowanie postępujące w ślad za pierwszym, nada cząsteczkom środowiska rzadszego zdolność zupełnego zatrzymania ruchu środowiska gęstszego. Przez zniszczenie światła odbitego promienie te będą silniej wprawiane w ruch niż gdyby były w spoczynku: światło przechodzące będzie wzmocnione".

Nature **409**, nr 6816 (2001) *B. W.*

Na Węgrzech więcej pieniędzy na naukę

Rząd węgierski zatwierdził 50-procentowe podwyższenie wydatków na naukę i technikę. W ciągu najbliższych 2 lat na ten resort ma być przeznaczone o 140 mln euro więcej niż dotychczas, co zapewni zarówno podwyższenie wynagrodzeń jak i lepsze finansowanie badań. Jest też istotne, że prywatne firmy będą mogły w znacznie większym stopniu odpisywać od podatku kwoty wydane na badania i rozwój.

Sekretarz Generalny Węgierskiej Akademii Nauk, Norbert Kroo, fizyk, powiedział, że drogę do takiego wzmocnienia finansowania nauki przygotował udział Węgier w europejskim programie Framework.

Nature **409**, nr 6816 (2001) *B. W.*

Ciekawa fizyka

W dniu 21 lutego 2001 r. w Muzeum Techniki w Warszawie została otwarta wystawa „Ciekawa fizyka". W uroczystym otwarciu uczestniczyli przedstawiciele Gminy Warszawa Centrum – panie: Ludwika Wujec, wiceburmistrz gminy i Anna Bielańska, wicedyrektor Wydziału Oświaty gminy. Obecni byli m.in. prof. Ryszard Sosnowski z Instytutu Problemów Jądrowych, dr Mirosław Karpierz – dziekan Wydziału Fizyki PW, dr Stanisław Pietruszko z IMIO PW, mgr Zuzanna Suwald z Ośrodka Metodycznego, członkowie Rady Naukowej Muzeum Techniki oraz przedstawiciele szkół warszawskich. Gości powitał dyrektor Muzeum Techniki, inż. Jerzy Jasiuk, i po krótkim wystąpieniu pani burmistrz Ludwiki Wujec, autorka niniejszej notatki i zarazem autorka scenariusza wystawy oprowadziła gości.

Celem wystawy, zorganizowanej pod hasłem „Sprawdzę + pomyślę = zrozumiem" jest ułatwienie zrozumienia praw fizyki, a jej cechą szczególną – możliwość dotykania eksponatów czy nawet samodzielnego przeprowadzania doświadczeń. Ta forma, zwana interakcyjną, cieszy się dużym zainteresowaniem i na świecie dawno już odkryto jej walory dydaktyczne i popularyzacyjne. Obecne zbiory wystawy warszawskiej – 12 eksponatów – stanowią jedynie zalążek, ale wszystko jest fascynujące. Jest tam m.in. olbrzymi sześciokątny kalejdoskop, do którego można (a nawet należy) wejść, ogromne koło Maxwella, rura próżniowa, w której papierek i kamień spadają tak samo szybko, urządzenie do badania niezależności ruchów. Można podziwiać świecenie wiązki elektronów w rurze katodowej i widmo wodoru. Zjawiska fizyczne są wyeksponowane tak, by towarzyszące im zwykle efekty uboczne zostały zminimalizowane, co pozwala skupić się na istocie rzeczy. Oprócz przyrządów, przy stanowiskach znajduje się informacja zachęcająca do samodzielnych prób, kilkuzdaniowe objaśnienia i czasem portret odkrywcy zjawiska. Dla osób bardziej wyrobionych czy zainteresowanych przygotowano też obszerniejsze teksty.

Atmosfera wystawy sprzyja samokształceniu. Możliwość poznawania świata takimi metodami powinien mieć każdy człowiek, choć trudno to osiągnąć w szkole. Stałe ograniczanie liczby godzin fizyki powoduje, że nawet w dobrze wyposażonej szkole nie wszystko można spokojnie obejrzeć. Ponadto przyrządy fizyczne wymagają opieki kompetentnego konserwatora. W placówkach otwartych typu Muzeum wykorzystanie skomplikowanych przyrządów jest bardziej efektywne.

Zaobserwowana popularność festiwali nauki, pikników naukowych i innych tego typu inicjatyw jest faktem. Obecnie odczuwa się potrzebę nie tylko parodniowych imprez, ale i stałych ekspozycji. Mogłyby one powstawać w muzeach, gmachach uczelni lub w dawnych szkołach i pomagać w zdobywaniu wiedzy mieszkańcom regionu.

Marzeniem środowisk odpowiedzialnych za nauczanie przedmiotów przyrodniczych jest prawdziwe eksploratorium. Wierzę, że i tego się doczekamy. Albert Einstein wypowiedział zdanie: „Jeżeli Pan Bóg stworzył ten świat, z pewnością nie troszczył się o to, abyśby mogli go łatwo zrozumieć" . Dziś dziękuję wszystkim, którzy wsparli mnie w staraniach o zorganizowanie takiego miejsca, gdzie zrozumienie praw fizyki jest łatwiejsze.

Dziękuję paniom mgr Dorocie Raince i Alicji Sobczyk za współpracę w tworzeniu scenariusza, mgrowi Andrzejowi Gołębiewskiemu za opracowanie i przygotowanie przyrządów, a przede wszystkim inż. Jerzemu Jasiukowi, dyrektorowi Muzeum Techniki, który wziął na siebie cały trud organizacyjny i wraz z zespołem stworzył warunki do popularyzowania idei wystaw interakcyjnych.

Dziękujemy za wsparcie finansowe Wydziałowi Oświaty Gminy Warszawa Centrum, bez którego przygotowanie wystawy byłoby niemożliwe.

Róża Małgorzata Święcka

Dziwna dyfuzja w półprzewodniku

Od czasu prac Jakuba Frenkla z połowy lat dwudziestych XX stulecia przyjmuje się, że podstawową rolę w dyfuzji atomów w kryształach grają defekty punktowe: luki lub atomy międzywęzłowe. W półprzewodnikach jednoatomowych, krzemie i germanie, mamy do czynienia z obydwoma mechanizmami. W krzemie współczynniki samodyfuzji z udziałem obu tych defektów są podobne w szerokim zakresie temperatury. W temperaturze topnienia koncentracje międzywęźli i luk różnią się tylko o ok. 30%. Stwarza to możliwość takiej hodowli kryształów Si, że te dwa rodzaje defektów wzajemnie się anihilują i rośnie kryształ nieomal doskonały, co ma oczywiście ogromne znaczenie przy wytwarzaniu płytek krzemowych dla mikroelektroniki.

Sytuacja jest bardziej skomplikowana w przypadku związków półprzewodnikowych, gdzie mamy do czynienia z dwiema, lub nawet więcej, podsieciami atomów tworzących związek. Wyniki dotychczas przeprowadzonych pomiarów wskazywały, że np. w antymonku galu dyfuzja zachodzi ze zbliżoną prędkością dla obu składowych atomów. Ostatnio jednak grupa fizyków z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley (do której należy m.in. Władysław Walukiewicz, nasz dawny kolega z IF PAN) oraz z Państwowego Centrum Mikroelektroniki w Madrycie przeprowadziła badania samodyfuzji w strukturach wielowarstwowych antymonku galu, utworzonych z warstw o różnym składzie izotopowym ^{69}Ga, ^{71}Ga i ^{121}Sb, ^{123}Sb. Są to izotopy trwałe. Jednoczesne pomiary rozkładu głębokościowego poszczególnych izotopów przeprowadzono metodą SIMS (spektroskopii mas jonów wtórnych). Okazało się, że w pobliżu temperatury topnienia antymon dyfunduje tysiąc razy wolniej niż gal. Tę znacznie wolniejszą dyfuzję antymonu autorzy tłumaczą jako wynik reakcji między defektami w obu podsieciach (galowej i antymonowej), prowadzącej do zaniku defektów koniecznych do dyfuzji antymonu – atomy galu wchodzą do pustych miejsc w podsieci antymonu, blokując w ten sposób dyfuzję Sb z udziałem luk.

Na podstawie uprzednio znanych wyników sądzono, że prędkości samodyfuzji obu składników są zbliżone. Na-

leży jednak zwrócić uwagę, że w dawniejszych doświadczeniach używano izotopowych wskaźników promieniotwórczych, które wdyfundowywano poprzez powierzchnię próbek, jest więc możliwe, że efekty powierzchniowe zakłócały prawdziwy obraz.

Odpowiedź na pytanie, czy proponowany przez autorów model dyfuzji w GaSb jest słuszny i czy stosuje się również do innych związków półprzewodnikowych, wymaga niewątpliwie dalszych badań.

Nature **408**, nr 6808 (2000) *B. W.*

Fizyka w pociągu

W wagonach I klasy pociągów typu InterCity kolei niemieckich rozłożono egzemplarze broszurki *Physik ist Zukunft* (Fizyka jest przyszłością), by podróżni się nie nudzili i mogli poczytać o roli fizyki we współczesnym świecie. Taką akcję upowszechniającą zagadnienia fizyki, trwającą od połowy stycznia do połowy lutego 2001 r., podjęło Niemieckie Towarzystwo Fizyczne (DPG). Broszurka zawierała również zgadywankę. Zwycięzcom konkursu DPG zafundowała weekend na wyspie Helgoland – czyżby dla przypomnienia tak owocnego pobytu tam Heisenberga w 1925 r.?

Phys. Bl. **57**, nr 2 (2001) *B. W.*

Wersja elektroniczna czasopism APS w Bibliotece Kongresu

Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne (APS) kończy tworzenie kompletu kopii elektronicznych swoich 8 czasopism od początku ich istnienia (np. pierwszy zeszyt *Phys. Rev.* wyszedł w 1893 r.). Kopie te są przekazywane do Biblioteki Kongresu USA. Zapisy elektroniczne bieżących czasopism APS będą również tam odsyłane.

Nature **409**, nr 6816 (2001) *B. W.*

Louis Eugène Félix Néel (1904 – 2000)

14 listopada 2000 r. zmarł Louis Néel, jeden z najwybitniejszych uczonych francuskich, współtwórca nowoczesnej nauki o materiałach magnetycznych. Louis Néel studiował w latach 1924–28 w Ecole Normale Supérieure. W 1932 r. doktoryzował się na Uniwersytecie w Strasburgu, gdzie następnie w latach 1937–45 pracował na stanowisku profesora. W latach 1928–39 współpracował z P. Weissem, twórcą teorii ferromagnetyzmu w modelu pola molekularnego. W czasie wojny Néel zajmował się problemem ochrony okrętów przed niemieckimi minami magnetycznymi. W latach 1956–70 kierował centrum jądrowym w Grenoble. Centrum to i inne centra naukowe w Grenoble powstały w większości z jego inicjatywy, dlatego słusznie jest on uznawany za twórcę centrum badawczego w Grenoble. W połowie lat 70. przeszedł na emeryturę, nie przestając być aktywnym naukowo.

Współpracując z P. Weissem przez wiele lat, Néel podjął próbę wyjaśnienia w ramach teorii pola molekularnego Weissa magnetyzmu pewnych metali, których właściwości magnetyczne były niezależne od temperatury w stosunkowo szerokim jej zakresie. Badania te doprowadziły go do koncepcji antyferromagnetyzmu, potwierdzonej doświadczalnie kilka lat po opublikowaniu pracy Néela, a następnie do koncepcji ferrimagnetyzmu. Opracowana przez niego teoria ferrimagnetyzmu stworzyła podstawę dla zrozumienia właściwości magnetycznych dwu dużych grup tlenkowych materiałów magnetycznych o strukturze spineli i granatu. Materiały te były i są szeroko wykorzystywane w technice. Za prace te Louis Néel otrzymał w 1970 r. Nagrodę Nobla z fizyki.

Louis Néel opublikował ponad 150 prac naukowych. Oprócz prac na temat antyferromagnetyzmu i ferrimagnetyzmu wiele uwagi poświęcił teorii krzywej magnesowania i pętli histerezy, teorii domen magnetycznych, właściwościom magnetycznym małych cząstek, teorii opóźnienia magnetycznego, anizotropii powierzchniowej (koncepcje Néela w tej dziedzinie wykorzystywane są obecnie do tzw. prostopadłego zapisu informacji), superantyferromagnetyzmowi. Ma on również istotny wkład w powstanie paleomagnetyzmu, gdyż wyjaśnił magnetyzm skał opierając się na opracowanym przez siebie modelu małych cząstek. Jego wkład do fizyki materiałów magnetycznych został uwieczniony takimi nazwami, jak temperatura Néela, struktura domenowa Néela czy ściana domenowa Néela.

Louis Néel

Louis Néel był od 1953 r. członkiem Francuskiej Akademii Nauk. Był on również członkiem zagranicznym Akademii Nauk ZSRR, Polski, Rumunii, Holandii, Królewskiego Towarzystwa (Londyn), Akademii Leopoldina (Niemcy) i Amerykańskiej Akademii Sztuki i Nauki. Posiadał doktoraty honorowe wielu uniwersytetów i politechnik. W latach 1963–66 był prezesem Międzynarodowej Unii Fizyki Czystej i Stosowanej.

Henryk Szymczak

...ODOWSKIEJ
...stytutu Fizyki
...Skłodowskiej 1
...37-62-94

KALENDARZ IMPREZ

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

2001

5 – 9 czerwca 2001, Toruń

XXXIII Sympozjum Fizyki Matematycznej

Inst. Fizyki UMK; dr Miłosz Michalski, IF UMK, Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, tel.: (56) 6113236, fax: (56) 6225397, adr.el.: smp@phys.uni.torun.pl.

10 – 15 czerwca 2001, Krynica-Czarny Potok

IX Krajowe Sympozjum Nadprzewodnictwo Wysokotemperaturowe

Wydz. Fizyki i Techniki Jądrowej AGH oraz Inst. Fizyki UJ; prof. Andrzej Kołodziejczyk, Wydz. FiT Jądr. AGH, Reymonta 19, 30-059 Kraków, tel.: (12) 6172589, adr.el.: akol @uci.agh.edu.pl lub prof. Andrzej Szytuła, IF UJ, Reymonta 4, 30-059 Kraków, tel.: (12) 6324888 w. 5546, adr.el.: szytula @if.uj.edu.pl.

11 – 15 czerwca 2001, Turawa

33. Seminarium Anihilacji Pozytonów

Inst. Fizyki Doświadczalnej UWr, Inst. Fizyki Uniw. Opolskiego; mgr Barbara Konieczna, IFD UWr, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław, tel.: (71) 3201315, fax: (71) 3287365, adr.el.: konn@ifd.uni.wroc.pl
Z: 15.4.01, A: 15.4.01, P, O: 500 zł.

27 – 30 czerwca 2001, Wrocław

XVI Sympozjum Maksa Borna: Operatory Schrödingera, potencjały losowe i zaburzenia osobliwe

Inst. Fizyki Teoretycznej UWr; prof. Witold Karwowski, IFT UWr, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław, adr.el.: wkar@ift.uni.wroc.pl.
A: 18.5.01, P, U: 60, O: 500 zł, ang.

28 czerwca – 3 lipca 2001, Zakopane

Int. Conf. „From Quantum Optics to Photonics"

Inst. Fizyki UJ, Wydz. Fizyki UW, Sekcja Optyki PTF, patronat Europejskie Tow. Optyczne; sekretariat konferencji: IF UJ, Reymonta 4, 30-059 Kraków, fax: (12) 6338494, adr.el.: eosam@if.uj.edu.pl, Internet: www.igf.fuw.edu.pl/eosam2001.
A: 30.4.01, P, U: 200, O: 450 USD (łącznie z zakwaterowaniem i wyżywieniem), ang.

2 – 7 września 2001, Zakopane

IUTAM Symposium on Tubes, Sheets and Singularities in Fluid Dynamics

Wydz. Fizyki UW; dr Konrad Bajer, Inst. Geofizyki UW, tel.: (22) 8226013, fax: (22) 8222387, adr.el.: IUTAM@igf.fuw.edu.pl.

5 – 7 września 2001, Gliwice

IV Krajowa Konferencja „Podstawy Fizyczne Badań Nieniszczących"

Oddz. Gliwicki Polskiego Tow. Fizycznego i Inst. Fizyki Politechniki Śląskiej; dr Jerzy Bodzenta, IF PŚl, Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, tel.: (32) 2372932, adr.el.: bodzenta@zeus.polsl.gliwice.pl.
Z: 30.5.01, A: 15.6.01, P.

10 –13 września 2001, Ustroń

II Int. Seminar on Semiconductor Surface Passivation – SSP 2001

Zakład Mikroelektroniki Inst. Fizyki PŚl; dr hab. Jacek Szuber, ZM IF PŚl, Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, tel.: (32) 2372057, fax: (32) 2372216, adr.el.: szuber@zeus.polsl.gliwice.pl, Internet: zeus.polsl.gliwice.pl/zm/ssp'2001.
A: 31.5.2001, P, U: 75, O: 300 USD, ang.

11 – 14 września 2001, Polanica Zdrój

XLVIII Otwarte Seminarium z Akustyki, OSA 2001

Oddz. Wrocławski Polskiego Tow. Akustycznego, Inst. Telekomunikacji i Akustyki Pol. Wrocławskiej i Komitet Akustyki PAN; dr inż. Krzysztof Opieliński, ITiA PWr, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel.: (71) 3203028, adr.el.: osa2001@zakus.ita.pwr.wroc.pl, Internet: zakus.ita.pwr.wroc.pl/pta/osa2001.
Z: 31.1.01, A: 12.5.01, P.

17 – 20 września 2001, Toruń

XXXVI Zjazd Fizyków Polskich

Oddział Toruński PTF; prof. A. Bielski, IF UMK, Grudziądzka 5/7, 87-100 Toruń, adr.el.: ptf@phys.uni.torun.pl, Internet: www.phys.uni.torun.pl/~ptf.

19 – 21 września 2001, Warszawa

Int. Symposium: Plasma 2001 – Research and Applications of Plasma

Inst. Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy; 00-908 Warszawa 49, skr.poczt. 49, tel: (22) 6381460, fax: (22) 6668372, adr.el.: plasma2001@ifpilm.waw.pl.
P, U: 150, O: 250 USD, ang.

20 – 22 września 2001, Kraków

X Int. Symposium on Electromagnetic Field in Electrical Engineering

Instytut Elektrotechniki; prof. Andrzej Krawczyk, IE, Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa, tel.: (22) 8123050, fax: (22) 6157535, adr.el.: krawczyk@iel.waw.pl.

23 – 29 września 2001, Jaszowiec

IV Int. School and Symposium on Physics in Material Science. Nanomaterials and nanostructures – fabrication, properties, physical models

Inst. Energii Atomowej i Wydz. Inżynierii Materiałowej PW; prof. Andrzej Czachor, IEA, 05-400 Świerk-Otwock, tel.: (22) 7180060, adr.el.: e08@cyf.gov.pl oraz dr Katarzyna Konopka, WIM PW, Wołoska 141, 02-507 Warszawa, tel.: (22) 60608441, adr.el.: kako@inmat.pw.edu.pl.
U: 100, O: ok. 270 USD, ang.

2002

6 – 15 lutego 2002, Lądek Zdrój

38 Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej: „Półgrupy dynamiczne: dysypacja, chaos i kwanty"

Inst. Fizyki Teoretycznej UWr i Inst. Fizyki WSP Zielona Góra; dr hab. Robert Olkiewicz, IFT UWr, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław, adr.el.: karp38@ift.uni.wroc.pl; Internet: www.ift.uni.wroc.pl/karp38.

A: 15.01.2002, U: 90, P, O: 1700 zł, ang.

NOWE KSIĄŻKI

- Hugo Steinhaus, *Między duchem a materią pośredniczy matematyka*, PWN, Warszawa–Wrocław 2000, s. 260.
- Janusz Piotrowski i Krystyna Kostyrko, *Wzorcowanie aparatury pomiarowej*, PWN, Warszawa 2000, s. 460.
- Brian Greene, *Piękno Wszechświata – superstruny, ukryte wymiary i poszukiwanie teorii ostatecznej*, z jęz. angielskiego tłum. Ewa L. Łokas i Bogumił Bieniok; Prószyński i S-ka, Warszawa 2001, s. 428, cena 29 zł.
- Iwo Białynicki-Birula, Marek Cieplak i Jerzy Kamiński, *Teoria kwantów – Mechanika falowa*, wyd. II poprawione i rozszerzone, PWN, Warszawa 2001, s. 500.
- *Earth Quake – Thermodynamics and Phase Transitions in the Earth's Interior*, red. Roman Teisseyre i Eugeniusz Majewski; Int. Geophysical Series t. 76, Academic Press, San Diego 2001, s. 320.

XXXVI ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH

Szanowni Państwo,

Uprzejmie prosimy o wypełnienie, podpisanie i odesłanie Karty Zgłoszeniowej (na następnej stronie – prosimy wyciąć lub skopiować) na adres Komitetu Organizacyjnego. Miejsca wyboru oznaczone symbolem □ prosimy wyraźnie zaznaczyć. Opłata Zjazdowa obejmuje pełne koszty uczestnictwa, tj. koszty zakwaterowania (w domu studenckim), wyżywienia i opłatę konferencyjną. W przypadku rezerwacji hotelu (we własnym zakresie) opłata obejmuje wyżywienie i opłatę konferencyjną.

Osobom, które zgłoszą swój udział w XXXVI Zjeździe Fizyków Polskich prześlemy dalsze materiały informacyjne. W piątek 21.09.2001 r. planujemy zorganizowanie wycieczek. Ich trasy i koszty zostaną podane w terminie późniejszym.

Zapraszamy do odwiedzania zjazdowej strony WWW, na której zamieszczamy na bieżąco wszystkie informacje.

Ponieważ z niektórych środowisk pojawiły się prośby o zorganizowanie sesji plakatowych, Komitet Organizacyjny zdecydował zorganizować cztery sesje plakatowe:

— Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (FAMO),
— Fizyki Fazy Skondensowanej (FFS),
— Fizyki Jądra, Cząstek Elementarnych i Oddziaływań Fundamentalnych (FJEF),
— Dydaktyki Fizyki.

W przypadku zgłoszenia plakatu prosimy zaznaczyć odpowiednie pole na Karcie Zgłoszeniowej oraz przesłać do Komitetu Organizacyjnego jednostronicowe streszczenie plakatu w nieprzekraczalnym terminie do 15.06.2001 r. O ile dotacje będą wystarczające, Komitet Organizacyjny planuje zamieszczenie streszczeń w materiałach zjazdowych. W przypadku, gdy dotacje będą niewystarczające, w materiałach zjazdowych zamieścimy tylko spis plakatów.

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
Prof. dr hab. A. Bielski

XXXVI ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH

Toruń, 17 – 20 września 2001

Oddział Toruński Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Instytut Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Grudziądzka 5/7, 87-100 Toruń, tel. (56) 6113285, (56) 6113282, fax (56) 6225397
e-mail: ptf@phys.uni.torun.pl, http://www.phys.uni.torun.pl/~ptf
Konto: Oddział Toruński Polskiego Towarzystwa Fizycznego
Wielkopolski Bank Kredytowy S.A., O/Toruń, nr 10901506-4226-128-00-0 z dopiskiem: „Zjazd"

KARTA ZGŁOSZENIOWA

(Uwaga – prosimy wypełniać pismem drukowanym)

Imię _____ Nazwisko _____

Tytuł i stopień naukowy _____

Miejsce pracy _____

Adres do korespondencji _____

_____

Telefon _____ e-mail _____ @ _____

Zakwaterowanie i koszty uczestnictwa:

☐ – dom studencki – pokój dwuosobowy	opłata do 15.06.2001	opłata po 15.06.2001
☐ – pełna	750 zł	850 zł
☐ – członkowie PTF	630 zł	730 zł
☐ – nauczyciele, studenci, uczniowie	460 zł	560 zł
Osoba towarzysząca _____ (bez materiałów konferencyjnych)	380 zł	480 zł

Proszę o zakwaterowanie razem z _____
(Tytuł i stopień naukowy, imię i nazwisko)

☐ – hotel (rezerwacja we własnym zakresie)	opłata do 15.06.2001	opłata po 15.06.2001
☐ – pełna	570 zł	670 zł
☐ – członkowie PTF	450 zł	550 zł
☐ – nauczyciele, studenci, uczniowie	280 zł	380 zł

Planuję przedstawić plakat w sesji: ☐ FAMO, ☐ FFS, ☐ FJEF, ☐ Dydaktyki

Wyrażam zgodę na przetwarzanie moich danych osobowych przez Komitet Organizacyjny XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich dla potrzeb organizacyjnych.

_____
Data i podpis

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2001 r. wynosi 30,00 zł za pół roku, 60,00 zł za rok. Prenumeratę można zamówić za pośrednictwem:

I. RUCH-u

1. Wpłaty na prenumeratę przyjmują jednostki kolportażowe „RUCH" S.A. właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumeratora.

2. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę: cena prenumeraty krajowej + rzeczywiste koszty wysyłki. Wpłaty przyjmuje „RUCH" S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy na konto: PEKAO SA IV O/Warszawa nr 12401053-40060347-2700-401112-001 lub w kasie Oddziału (Warszawa, ul. Jana Kazimierza 31/33). Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru.

3. Terminy przyjmowania wpłat na prenumeratę krajową i zagraniczną: do 5 grudnia – na I półrocze roku następnego, do 5 czerwca – na II półrocze roku bieżącego.

II. ZARZĄDU GŁÓWNEGO PTF

Prenumeratę można także zamówić w Zarządzie Głównym PTF, drogą wpłaty na konto ZG PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 10201097-335245-270-1-111 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową na wskazany adres.

III. ODDZIAŁÓW PTF

Prenumeratę można zamówić również w oddziale PTF. Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w oddziałach PTF na cały rok, otrzymują 40% zniżki. Taka sama zniżka (40%) przysługuje studentom. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

INFORMACJE DLA AUTORÓW

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

1. Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być przystępne dla ogółu fizyków. Bardziej szczegółowe wskazówki co do ich charakteru przedstawione są w *Postępach Fizyki* **24**, 701 (1973); **33**, 299 (1982). O przyjęciu pracy do druku decyduje Komitet Redakcyjny.

2. Maszynopisy pracy należy nadsyłać pod adresem: Redakcja *Postępów Fizyki*, ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa. W liście towarzyszącym prosimy podać dokładny adres (również komputerowy) do dalszej korespondencji.

3. Maszynopis winien być napisany **na arkuszach formatu A4 jednostronnie, z podwójną interlinią** (nie więcej niż 30 wierszy na stronie) i marginesem 3,5 cm z lewej strony.

4. Rysunki należy wykonać starannie na oddzielnych arkuszach. Napisy, ograniczone do minimum, winny być czytelne i tylko w języku polskim. Na odwrocie rysunku należy podać jego numer, nazwisko autora i pierwsze wyrazy tytułu pracy. Podpisy do rysunków, tabele (z ich tytułami) i spis literatury winny być napisane na oddzielnych stronach.

5. Układ strony tytułowej (tytuł polski, angielski, streszczenie angielskie, ...), tekstu, odnośników literaturowych itd. powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postępach Fizyki* (patrz artykuły np. w tym numerze).

6. Aby skrócić cykl wydawniczy, prosimy autorów przygotowujących swe artykuły na komputerach o nadsyłanie, wraz z maszynopisami, **plików**, zawierających **teksty artykułów** oraz **rysunki**, pocztą elektroniczną (nasz adres: postepy@fuw.edu.pl) lub na dyskietkach.

7. Autora obowiązuje wykonanie korekty autorskiej.

8. Maszynopisów prac nie zamówionych i nie zakwalifikowanych do druku Redakcja nie zwraca.

POSTĘPY FIZYKI (ADVANCES IN PHYSICS), founded in 1949, is published bimonthly in Polish with abstracts in English by the Polish Physical Society with a support of the Polish State Research Committee (KBN) and the Physics Faculty of the Warsaw University.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH" S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Jana Kazimierza 31/33, skrytka pocztowa 12, 00-958 Warszawa, Poland.

PL ISSN 0032-5430

Cena 10,00 zł

SPIS TREŚCI

G.M. Zaslavsky – Dynamika chaotyczna a geneza praw statystycznych 113

RÓŻNE
Granty KBN z fizyki: XVIII i XIX konkurs 125
K. Grotowski, A. Sobiczewski – Bieżące informacje o PAU 131
J.M. Massalski – ISO 31 – leksykon SI 134

WSPOMNIENIA – ROCZNICE
A. Kiejna – Kazimierz F. Wojciechowski (1931 – – 2000) 137
C.P. Enz – Setna rocznica urodzin Wolfganga Pauliego 139

NAUCZANIE FIZYKI
K. Bajer – Studia Licencjackie „Fizyka środowiska" na Uniwersytecie Warszawskim 142
E. Boeker – Koncepcja nauczania fizyki środowiska 148

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI 156
RECENZJE 158
LISTY DO REDAKCJI 161
KRONIKA 162

CONTENTS

G.M. Zaslavsky – Chaotic dynamics and the origin of statistical laws 113

MISCELLANEA
Grants in physics of the State Committee for Scientific Research 125
K. Grotowski, A. Sobiczewski – News from PAU 131
J.M. Massalski – ISO 31: a guide to SI 134

RECOLLECTIONS – ANNIVERSARIES
A. Kiejna – Kazimierz F. Wojciechowski (1931 – – 2000) 137
C.P. Enz – Wolfgang Pauli's 100th birthday .. 139

PHYSICS TEACHING
K. Bajer – Bachelor Studies „Physics of the Environment" at Warsaw University 142
E. Boeker – Environmental Physics as a teaching concept 148

MEETINGS AND CONFERENCES 156
REVIEWS 158
LETTERS TO THE EDITOR 161
CHRONICLE 162

WKRÓTCE

- *Jerzy Witczak o filozofii przyrody w roku 1000*
- *Wojciech Królikowski o masach neutrin*
- *Karol I. Wysokiński: Nadprzewodnictwo – niespodziewane odkrycia*
- *Janusz A. Zakrzewski o projekcie TESLA w DESY*
- *Paweł i Józef Koreccy o holografii gamma*