

POSTĘPY FIZYKI

TOM **51** ZESZYT **5** ROK **2000**



DWUMIESIĘCZNIK
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



FIZYKA I KOSMOS

*WSZYSTKO JEST MAGNETYCZNE
AKUSTYKA SAL KONCERTOWYCH
POKAZY ZJAWISK CHAOTYCZNYCH*

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Prezes: Prof. Ireneusz Strzałkowski
Wiceprezesa: 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)
Dr hab. Andrzej Burian (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. Witold Ryba-Romanowski (Wrocław)

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
Miroslaw Łukaszewski
Magdalena Staszal
Barbara Wojtowicz

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Mgr Maciej Piętka (Białystok)
Prof. Jerzy J. Wysocki (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)
Dr Ewa Jędryka (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

Organizacja i wyniki poszukiwań ciemnej materii z wykorzystaniem polskiego teleskopu w Chile*

Andrzej Udalski

Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet Warszawski

Polish telescope in Chile in search of dark matter

Niniejszy wykład poświęcony jest projektowi badań mikrosoczewkowania grawitacyjnego, znanemu pod angielską nazwą Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE). Jego głównym, choć nie jedynym celem jest stwierdzenie obecności „ciemnej”, niewidocznej materii w naszej Galaktyce bądź w jej pobliżu oraz określenie, w jakiej formie i w jakich ilościach występuje ona w naszym otoczeniu. Projekt jest równocześnie jednym z największych w świecie długoterminowych przeglądów nieba.

Problem tzw. ciemnej materii jest jednym z najbardziej interesujących zagadnień współczesnej astrofizyki. Od dość dawna wiadomo, że materii we Wszechświecie jest więcej niż się obserwuje. Dobrze znanym, niemal podręcznikowym przykładem są krzywe rotacji galaktyk. Krzywa rotacji podaje prędkość orbitalną gwiazd w funkcji odległości od centrum galaktyki. Przy danej odległości od centrum gwiazda porusza się tym szybciej, im większa jest masa zawarta wewnątrz jej orbity.

Obserwacje ruchu gwiazd w galaktykach wskazują, że dla dużych odległości od centrum

prędkość jest znacznie większa niż można to przewidzieć na podstawie rozkładu widocznej, „świecącej” materii. Jedynym rozsądnym wytłumaczeniem jest hipoteza, że duża część materii nie świeci, chociaż wywiera wpływ na obserwowany rozkład prędkości gwiazd.

Zjawisko mikrosoczewkowania grawitacyjnego¹ pozwala na wykrycie tej ciemnej, nie świecącej materii. Metoda obserwacyjna wykorzystująca to zjawisko jest niezwykle elegancka i prosta.

Wyobraźmy sobie, że w pewnej odległości od obserwatora znajduje się źródło światła: gwiazda lub odległa galaktyka. Może się zdarzyć, że w pobliżu linii łączącej źródło i obserwatora znajdzie się ciemny obiekt. Jak wiadomo, pole grawitacyjne takiego obiektu powoduje ugięcie promieni świetlnych wysyłanych przez źródło. W efekcie obserwowany obraz źródła nie będzie punktowy, lecz rozdwojony. Tego typu obiekty zostały zaobserwowane przez astronomów już ponad 20 lat temu. Klasycznym przykładem soczewkowania grawitacyjnego jest „krzyż Einsteina”, czyli poczwórny obraz odległego kwazara. Obiektem soczewkującym jest w tym przypadku galak-

*Wykład wygłoszony podczas sesji satelitarnej „Fizyka i kosmos” XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku we wrześniu 1999 r. Tekst został technicznie przygotowany przez mgra Macieja Piętkę z Uniwersytetu w Białymstoku na podstawie nagrania wideo, a następnie autoryzowany (przyp. Red.).

¹ Patrz np. K.Z. Stanek, *Postępy Fizyki* 46, 69 (1995) (przyp. Red.).

tyka, również widoczna w teleskopach na tle obrazu kwazara. Kwazary znajdują się w ogromnych odległościach od Ziemi, kilka do kilkunastu megaparseków ($1 \text{ pc} = 3,094 \times 10^{16} \text{ m}$), mamy tu więc do czynienia z soczewkowaniem w skali kosmologicznej. Nas interesuje problem, jak zjawiska tego typu wyglądają w skali lokalnej, rzędu kiloparseka, gdy źródła światła znajdują się wewnątrz naszej Galaktyki.

Teoretycznie możemy przewidzieć wygląd obrazu, jakiego należy się spodziewać w wyniku mikrosoczewkowania grawitacyjnego na niewielkim, punktowym obiekcie znajdującym się stosunkowo blisko. W wyidealizowanej sytuacji, gdy światło jest uginane przez punktowy obiekt soczewkujący, ustawiony dokładnie na linii łączącej źródło i obserwatora na Ziemi, zobaczymy świetlną obwódkę wokół centrum soczewkującego, tzw. pierścienia Einsteina. W miarę odsuwania się soczewki od linii źródło-obszawator pierścienia ten rozpadnie się na dwie części, położone po przeciwnych stronach centrum. Przy danej geometrii kątowa odległość między obrazami zależy od masy obiektu soczewkującego. Obserwacje mikrosoczewkowania stanowią zatem metodę pozwalającą na wyznaczanie mas tego typu obiektów.

Problem polega na tym, że jeśli źródło światła znajduje się w naszej Galaktyce (w odległości kilku kpc), to typowa odległość kątowa między obrazami powstałymi w wyniku mikrosoczewkowania będzie niezwykle mała, rzędu tysięcznej części sekundy łuku. Inaczej niż w przypadku soczewkowania „kosmologicznego”, gdy źródłami światła są kwazary lub odległe galaktyki, nie możemy tutaj liczyć na bezpośrednie zarejestrowanie obrazu, nawet przy użyciu instrumentów optycznych umieszczonych w przestrzeni kosmicznej.

Na szczęście okazało się, że całkowita jasność obrazów wytworzonych w wyniku soczewkowania jest większa niż pierwotna jasność źródła. Ponieważ wszystkie obiekty w Galaktyce nieustannie się poruszają, geometria układu źródło-soczewka-Ziemia zmienia się w czasie. W związku z tym w miarę przesuwania się soczewki pomiędzy źródłem światła a Ziemią powinniśmy obserwować zmianę jasności źródła. Gdy soczewka przybliży się do osi źródło-obszawator, natężenie światła rośnie; po przejściu soczewki przez najbliższy punkt jasność maleje i po pewnym czasie wraca do pierwotnej wartości. Obserwujemy zatem „dzwono-

watą” krzywą blasku o wyraźnym, symetrycznym maksimum. Maksymalne pojaśnienie gwiazdy jest tym większe, im bliżej osi przeszła soczewka.

Z obserwacji otrzymujemy czas charakterystyczny zjawiska, który jest równy stosunkowi promienia pierścienia Einsteina do prędkości prostopadłej obiektu soczewkującego, czyli prędkości, z którą przecina on linię obserwator-źródło. Ponieważ w przypadku pojedynczego zjawiska mikrosoczewkowania prędkość obiektu soczewkującego jest trudna do określenia, podobnie jak promień pierścienia Einsteina, nie możemy bezpośrednio wyznaczyć masy soczewki. Aby z obserwacji soczewkowania wnioskować o rozkładzie ciemnej materii w Galaktyce, potrzebne jest zgromadzenie obserwacji dużej liczby zjawisk i ich analiza statystyczna.

Niestety, prawdopodobieństwo ustawienia się trzech ciał w przestrzeni (źródło światła, obiekt soczewkujący, obserwator) w przybliżeniu wzdłuż jednej prostej jest bardzo małe, toteż prawdopodobieństwo zarejestrowania zjawiska mikrosoczewkowania jest niewielkie. Nawet w najbardziej odpowiednich obszarach nieba prawdopodobieństwo jest rzędu jednego zjawiska na milion obserwowanych gwiazd na rok. Szukanie zjawisk mikrosoczewkowania przypomina więc szukanie igły w stogu siana.

Wykorzystanie zjawisk mikrosoczewkowania do badania ciemnej materii zaproponował w połowie lat 80. prof. Bohdan Paczyński z Uniwersytetu w Princeton. W roku 1992 rozpoczęła się pierwsza faza długoskalowego projektu obserwacyjnego „Optical Gravitational Lensing Experiment” (OGLE), którego głównym celem było poszukiwanie zjawisk mikrosoczewkowania. Już w 1993 r. zarejestrowano pierwszy przypadek mikrosoczewkowania w kierunku centrum Galaktyki. W pierwszych kilku latach działania projektu OGLE zaobserwowano kilkanaście przypadków mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Wszystkie krzywe jasności dokładnie odpowiadały teoretycznym modelom mikrosoczewkowania i społeczność astronomiczna nie miała wątpliwości, że to zjawisko rzeczywiście zostało zaobserwowane. W ten sposób została potwierdzona idea Paczyńskiego, dotycząca istnienia mikrosoczewek.

Identyfikacja soczewek to dopiero początek pracy, następnym etapem jest ich „zważenie”. W tym celu potrzebujemy jak największej liczby

obserwacji. Ze względu na zależność przebiegu zjawiska mikrosoczewkowania od masy obiektów soczewkujących, geometrii zjawiska i rozkładu prędkości transwersalnej gwiazd w Galaktyce, w pojedynczych przypadkach trudno jest ocenić, jaka jest dokładnie masa obiektu soczewkującego. Od początku było jasne, że w celu zwiększenia możliwości obserwacyjnych konieczne jest zbudowanie teleskopu przeznaczonego specjalnie do tego celu. Teleskop taki powstał w latach 1995–96. Zaprojektowano go w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Warszawskiego, a znajduje się w obserwatorium Las Campanas w Chile. Jego instrumentarium skonstruowano specjalnie pod kątem potrzeb projektu OGLE (rys. 1).



Rys. 1. Teleskop warszawski w obserwatorium Las Campanas w Chile.

Lokalizacja teleskopu w obserwatorium Las Campanas stwarza dogodne warunki do obserwacji mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Specyfika tego projektu wymaga obserwacji gęstych pól gwiazdowych, a przy tego typu badaniach kluczową rolę odgrywa zdolność rozdzielcza teleskopu. Dlatego też instrument powinien działać w miejscu o możliwie niewielkim rozmyciu obrazów gwiazd przez atmosferę ziemską.

Dzięki nowemu teleskopowi możliwości obserwacyjne projektu OGLE znacznie wzrosły. W krótkim czasie udało się uzyskać dużo większy strumień danych i zwiększyć liczbę obiektów, które projekt obejmuje obserwacjami.

Do regularnych obserwacji w ramach projektu OGLE wybrano m.in. pola gwiazdowe w kierunku centrum Galaktyki, gdzie występuje duża liczba gwiazd na jednostkę powierzchni nieba. W sezo-

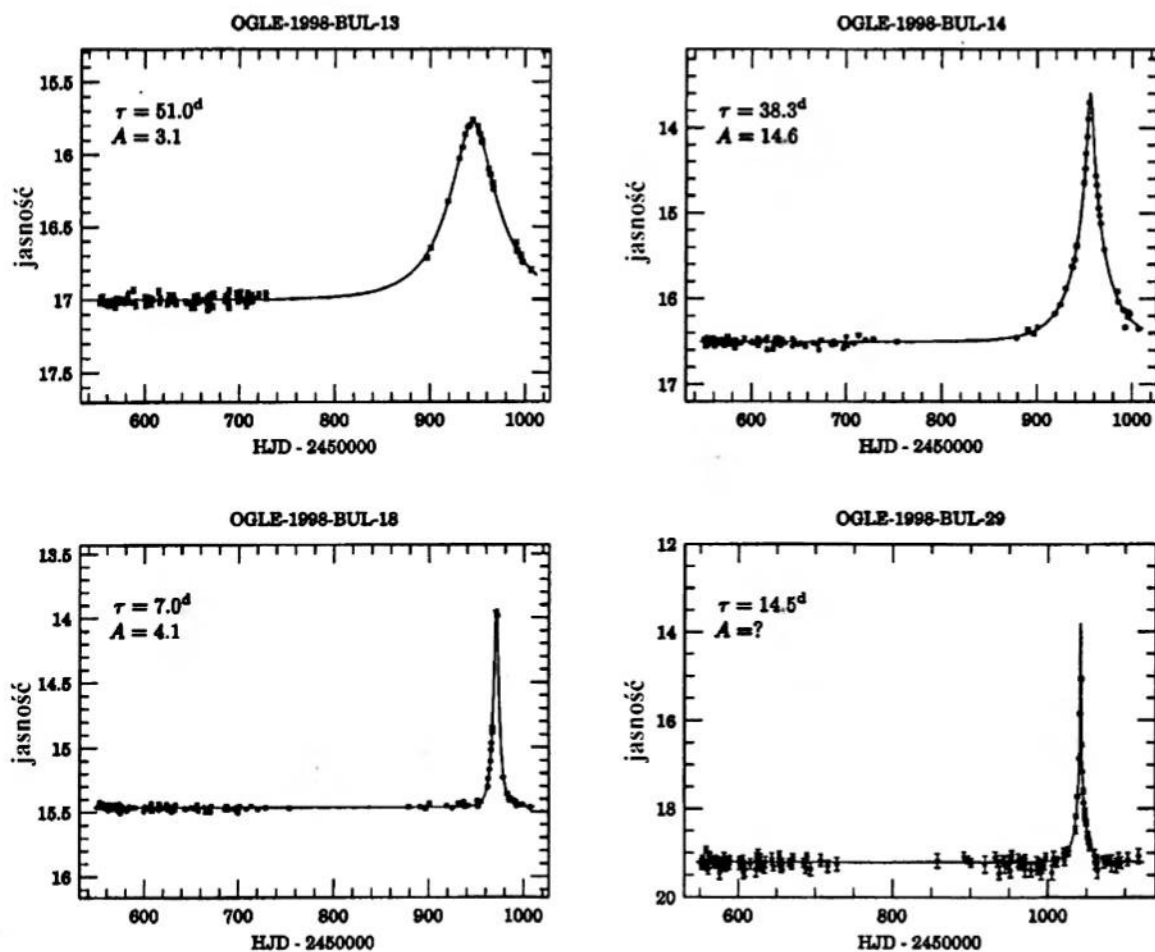
nach 1997–99 zebrano ponad 4,5 mld pomiarów fotometrycznych gwiazd z tego obszaru. W wyniku tych badań udało się zidentyfikować ok. 220 zjawisk mikrosoczewkowania. Zaobserwowane zjawiska były bardzo różnorodne, zarówno pod względem czasu trwania (od 2,5 do 100 dni), jak i wzmocnienia blasku gwiazdy (rys. 2).

Przy okazji tych badań zarejestrowano kilka zjawisk mikrosoczewkowania przez obiekty podwójne, które również mogą powodować grawitacyjne pojaśnienie światła gwiazdy. Na krzywej blasku takiego zjawiska występuje kilka kolejnych maksimum. Sposób, w jaki te pojaśnienia po sobie następują, jest dość skomplikowany. Podwójna soczewka daje bowiem nie dwa, lecz kilka obrazów źródła światła, a przejście przez charakterystyczne kaustyki dla danego układu może powodować serię kolejnych, dość mocnych pojaśnień na krzywej blasku. Pierwsze zjawiska mikrosoczewkowania na obiektach podwójnych wykryto właśnie w ramach projektu OGLE (rys. 3).

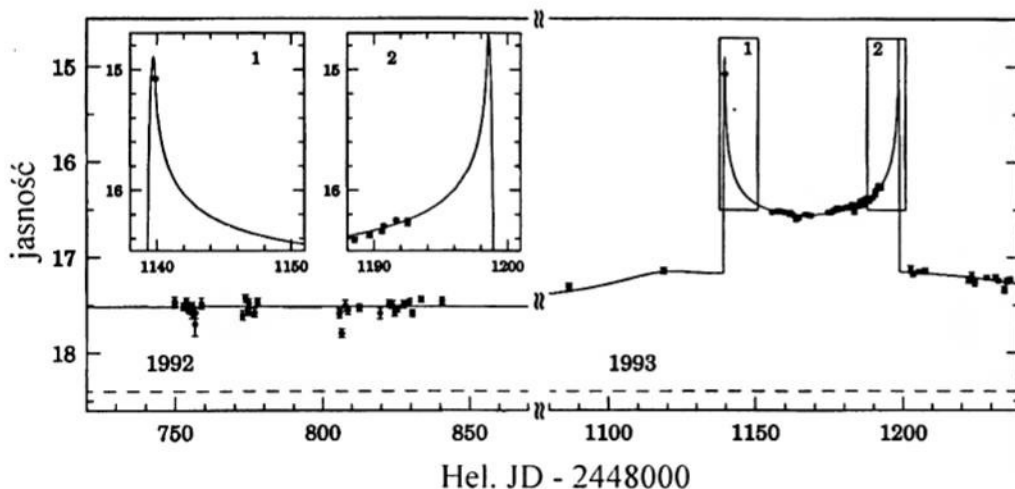
Odchylenia od „zwykłego” przebiegu krzywej blasku w pobliżu maksimum, obserwowane w zjawiskach o dużym wzmocnieniu, mogą być wywołane przez obecność planet wokół gwiazd. Mikrosoczewkowanie grawitacyjne uważa się obecnie za jedno z najbardziej obiecujących zjawisk, które może posłużyć do odkrywania planet wokół gwiazd o różnych typach widmowych i w szerokim przedziale mas planet. Dzieje się tak dlatego, że przy odpowiednio precyzyjnych obserwacjach maksimum krzywej blasku zjawiska mikrosoczewkowania jest czułe nawet na obecność planet o masach mniejszych niż masa Ziemi.

Precyzyjne pomiary krzywej blasku możliwe są dzięki uruchomionemu w maju 1998 r. „systemowi wczesnego ostrzegania” (Early Warning System, EWS), który pozwala na wykrycie soczewek zaraz po pojawieniu się, jeszcze w czasie ich trwania. Z danych tego systemu korzysta kilka projektów typu „follow-up” (np. PLANET, MPS, MOA). Ich celem jest zebranie dokładnych danych fotometrycznych z rozdzielczością czasową kilku minut, co między innymi umożliwia wykrywanie planet. Są już pierwsze doniesienia o obserwacjach odchylen, wskazujących na istnienie planet wokół soczewkowanych gwiazd.

Kolejnym obiektem badań projektu OGLE jest dysk galaktyczny. Obserwacje tego typu są potencjalnym źródłem informacji o budowie Ga-



Rys. 2. Przykładowe krzywe blasku zjawisk mikrosoczewkowania z 1998 r.

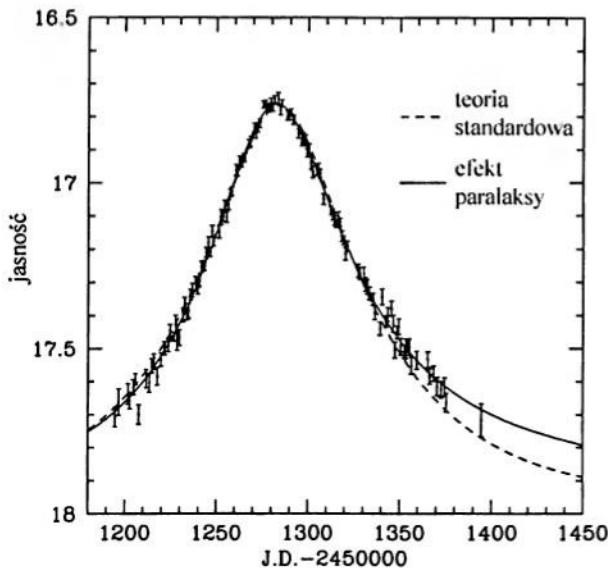


Rys. 3. Krzywa blasku mikrosoczewkowania przez obiekt podwójny.

laktyki. Zespół OGLE odkrył pierwszą soczewkę znajdującą się w ramionach spiralnych Galaktyki (rys. 4). Na krzywej blasku tego zjawiska widać tzw. efekt paralaksy ziemskiej. Blask gwiazdy po

osiągnięciu maksimum maleje nieco wolniej niż przewiduje to standardowa teoria. Jest to spowodowane zmianami kierunku prędkości Ziemi względem źródła światła; efekt ten dotyczy oczy-

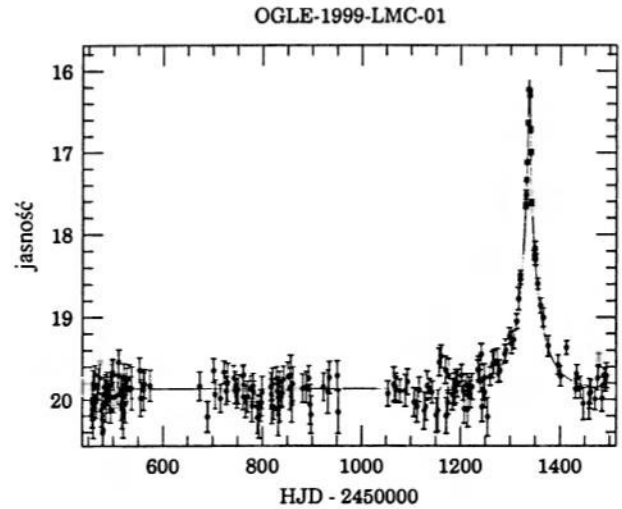
wiście soczewek o odpowiednio długim czasie trwania.



Rys. 4. Mikrosoczewka z dysku galaktycznego z „efektem paralaksy”.

W projekcie OGLE obserwowane są również soczewki grawitacyjne w kierunku Obłoków Magellana. Ze względu na mniejszą liczbę gwiazd niż w kierunku centrum Galaktyki, dysponujemy mniejszą liczbą pomiarów fotometrycznych (ok. $1,5 \times 10^9$ pomiarów w Wielkim i ok. 5×10^8 pomiarów w Małym Obłoku Magellana). W kierunku Obłoków Magellana mamy do czynienia z praktycznie pustym halo galaktycznym, dlatego prawdopodobieństwo zaobserwowania soczewek jest dużo mniejsze niż w kierunku centrum

Galaktyki. Projekt OGLE zarejestrował dotychczas dwie mikrosoczewki w kierunku Wielkiego Obłoku Magellana (rys. 5), inne grupy badawcze, np. MACHO – kilkanaście.



Rys. 5. Mikrosoczewka w kierunku Wielkiego Obłoku Magellana.

W końcu roku 2000 projekt OGLE zostanie wzbogacony o nową kamerę mozaikową (złożoną z 8 detektorów CCD), która pozwoli zwiększyć powierzchnię nieba objętą przeglądem i poprawić rozdzielczość obserwacji. Planujemy pełne pokrycie obserwacyjne Obłoków Magellana oraz znacznej części centrum Galaktyki. Można się spodziewać, że po uruchomieniu tej kamery liczba odkrywanych soczewek wzrośnie do ok. 200–300 rocznie.

Astronomia w dobie teleskopu kosmicznego*

Andrzej Woszczyk**

Centrum Astronomiczne, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

Astronomy in times of Hubble space telescope

Wykład ten dotyczy współczesnej astronomii, astronomii w dobie teleskopu kosmicznego Hubble'a. Przed kilkunastu laty astronomowie bardzo pragnęli posiadać taki teleskop, którego możliwości ograniczone byłyby tylko zjawiskiem dyfrakcji, a nie, tak jak to dzieje się na powierzchni Ziemi, jakością pogody w miejscu ustawienia teleskopu i scyntylacją atmosferyczną. Teraz właśnie na powierzchni Ziemi budowane są coraz większe i doskonalsze teleskopy, które „taniej” dostarczają nam obrazów ciał i zjawisk niebieskich oraz pomagają zrozumieć ich naturę. W wykładzie tym będzie pokazane, jak wyglądają różne obiekty Wszechświata rejestrowane „oczami i uszami” współczesnej astronomii i jak one są piękne.

Otoczający nas Wszechświat jest wspianym laboratorium fizycznym. Znajdujemy w nim „za darmo” ekstremalne warunki fizyczne: najmniejsze i największe z możliwych odległości, najmniejsze i największe gęstości, skrajne temperatury i przeróżne stany materii. W przestrzeni kosmicznej gęstość materii zawiera się między 10^{-23} a 10^{18} kg/m³, temperatura między 2,7 a 10^9 , a nawet 10^{11} K, indukcja magnetyczna sięga 10^{11} T

(w magnetarach), a pole grawitacyjne ma wartość 10^{12} m/s². Na Ziemi najlepsza próżnia wyraża się wartością 10^{-10} kg/m³, a pole magnetyczne sięga zaledwie 6 (a chwilowe 200) T. Astronomowie są więc fizykami, którzy badają materię w tych ekstremalnych warunkach: sprawdzają działanie praw fizyki (odkrytych w ziemskich laboratoriach) w warunkach kosmicznych, pomagają odkrywać nowe prawa i nowe stany fizykochemiczne materii. Słowem, astronomowie są badaczami poznającymi i przybliżającymi nam wszystkim naturalne środowisko bytowania człowieka, któremu na imię Wszechświat. Kierując teleskop na różne obiekty, można badać różne stany materii, a sięgając do coraz dalszych obiektów, sięga się do coraz wcześniejszych epok istnienia naszego Wszechświata.

Wszechświat wypełniony jest obiektami, które mają bardzo różną naturę. Różne są mechanizmy promieniowania i w różnych zakresach długości fali promieniowania elektromagnetycznego różne obiekty objawiają nam swoje istnienie i swój „charakter”. A więc mamy źródła wysokoenergetycznego promieniowania gamma, źródła promieniowania rentgenowskiego, aktywne galaktyki

* Wykład wygłoszony podczas sesji satelitarnej „Fizyka i kosmos” XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku we wrześniu 1999 r. Tekst został technicznie przygotowany przez mgra Macieja Piętkę z Uniwersytetu w Białymstoku na podstawie nagrania wideo, a następnie autoryzowany (przyp. Red.).

** Autor jest prezesem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego oraz redaktorem naczelnym dwumiesięcznika *Urania – Postępy Astronomii* (przyp. Red.).

i gwiazdy promieniujące głównie w nadfiolecie, świat gwiazd i galaktyk, który poznawać możemy naszym zmysłem wzroku w świetle widzialnym, obiekty podczerwone, mikrofalowe i radiowe. W tych różnych zakresach widmowych używać musimy różnych instrumentów zbierających to promieniowanie i różnych odbiorników je rejestrujących. Na użytek naszego dzisiejszego spotkania ograniczę się tylko do widzialnego zakresu promieniowania, promieniowania którym rządzą prawa Kirchhoffa, Plancka (i jego pochodne), Boltzmanna i Sahy, i gdzie wszystko co widzimy jest zależne od temperatury. Będę się starał przybliżyć Państwu niektóre uwarunkowania, z jakimi mamy do czynienia w obserwacjach astronomicznych, oraz pokazać obrazy niektórych obiektów naszego kosmicznego sąsiedztwa.

Minął już czas, gdy astronomów wyobrażaliśmy sobie jako starszych, dostojnych panów, którzy z okiem przy okularze długiego teleskopu penetrowali otchłanie kosmosu i dokonywali swych odkryć. Dzisiaj astronom coraz częściej „odsuwany” jest od teleskopu – pracą teleskopu steruje on i prowadzi obserwacje z dala od tego narzędzia, za pomocą komputerów. Czasem miejsce pracy astronoma znajduje się gdzieś na niższych piętrach budynku teleskopu, czasem, jak np. w przypadku polskiego teleskopu w Chile, w oddzielnym budyneczku obok pawilonu z teleskopem, a czasem nawet tysiące kilometrów od teleskopu.

Dlaczego tak się dzieje? Dlaczego astronomowie są odsuwani od swych teleskopów? Jest to przejawem troski o możliwie najwyższą jakość prowadzonych obserwacji, a ściślej o usunięcie z drogi promieniowania dochodzącego do nas od gwiazd i z sąsiedztwa instrumentu, który to promieniowanie odbiera i tworzy obraz ciała niebieskiego, wszelkich zaburzeń, mogących zniekształcić czoło docierającej do ogniska teleskopu fali. A człowiek jest przecież źródłem ciepła, które powoduje turbulentny ruch powietrza wokół siebie i instrumentu. A ponadto może wykonywać jakies niekorzystne dla jakości obrazu ruchy czy czynności!

Dzisiejszym astronomom nie wystarcza już, wspaniały przecież, teleskop kosmiczny Hubble’a. Prawdą jest, że ten teleskop otworzył nową epokę w astronomii, ciągle dostarcza i przez wiele lat jeszcze będzie dostarczał nam wspaniałych obrazów najodleglejszych obiektów Wszechświata. Ale

astronomowie chcą sięgać jeszcze dalej, coraz dokładniej widzieć i rozumieć procesy zachodzące w bezkresnych głębinach kosmosu. Chcą poznać ciała niebieskie we wszystkich ich „barwach”: od wysokoenergetycznych promieni gamma przez promieniowanie rentgenowskie, nadfioletowe, widzialne, podczerwone, mikrofalowe i radiowe. Wysyłają więc różnorodne „teleskopy” i aparaty odbiorcze wysoko nad powierzchnię i atmosferę Ziemi, a nawet do odległych planet naszego Układu Słonecznego. Wystarczy wspomnieć statki kosmiczne Voyager, pracującą w pobliżu Jowisza stację Galileo czy zaledwie kilka tygodni temu wprowadzonego na orbitę okołozemską satelitę obserwującego Wszechświat w promieniach X – Chandrę. Utworzony przez teleskop rzeczywisty obraz ciała niebieskiego poddawany jest takiej samej analizie, jak wytworzone przez fizyka w laboratorium źródło promieniowania: mierzy się jego jasność, kieruje do spektrografu dla przeprowadzenia analizy widmowej i bada za pomocą polarymetru.

Największym obecnie budowanym teleskopem optycznym jest Bardzo Duży Teleskop (VLT – Very Large Telescope) na górze Paranal w północnym Chile (rys. 1). W warunkach suchej pu-



Rys. 1. Obserwatorium VLT na górze Paranal w Chile.

styni Atacama, na wysokości 2400 m n.p.m., w miejscu o niezwykle stabilnej atmosferze i doskonałej widoczności, na ściętym wierzchołku góry powstaje wspaniałe obserwatorium XXI wieku. Europejskie Obserwatorium Południowe (ESO – European Southern Observatory) stawia tam 4 teleskopy o średnicy przeszło 8 metrów, które będą pracować razem. Do tej pory (wrzesień 1999 r.) uruchomiono już dwa z czterech planowanych

ośmiometrowych gigantów, a cały komplet będzie gotowy do służby astronomicznej z końcem roku 2000. Razem teleskopy te będą zbierały tyle światła, ile zbierałby pojedynczy teleskop o średnicy zwierciadła równej 16 metrom. Cztery główne teleskopy będą wspomagane najpierw trzema, a następnie ośmioma mniejszymi, przesuwanymi na szynach instrumentami o średnicy około 2 m. I razem będą tworzyły interferometr VLTI, który będzie dawał obrazy ciał niebieskich ze zdolnością rozdzielczą odpowiadającą teleskopowi o średnicy 108 metrów!

Na tej samej pustyni Atacama, na położonym na wysokości ok. 5000 m n.p.m. płaskowyżu Chajnantor, w ciągu najbliższych kilku lat powstanie też wielkie międzynarodowe obserwatorium radioastronomiczne ALMA, złożone z 64 anten radiowych o średnicy 12 m rozstawionych na przestrzeni ok. 10 km² (rys. 2). W zakresie krótkich fal radiowych (mikrofal) teleskop ten będzie obserwował najdalsze regiony Wszechświata, tworzenie się nowych gwiazd i planet, kwazary, czarne dziury i inne zjawiska kosmiczne. A nawet będzie zdolny do wykrywania ewentualnych śladów życia organicznego w przestrzeni pozaziemskiej.

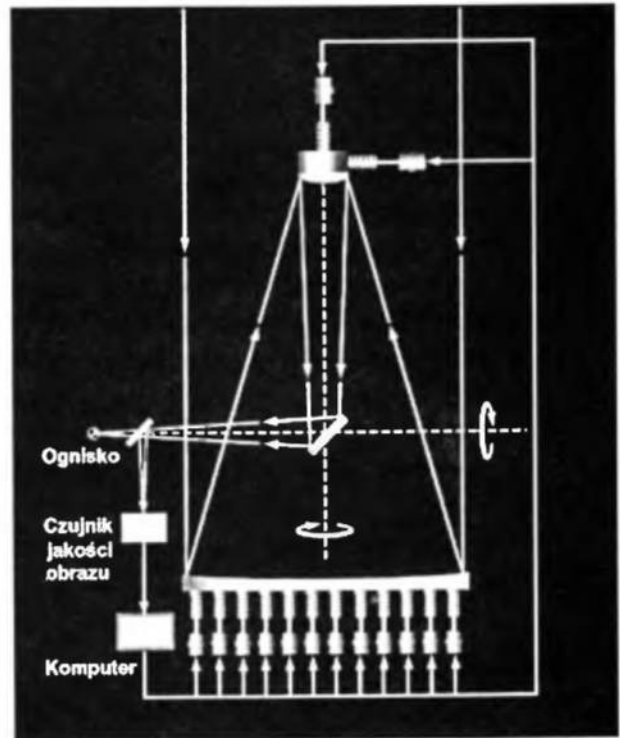


Rys. 2. Artystyczna wizja przyszłego obserwatorium radioastronomicznego ALMA (Atacama Large Millimetre Array).

Dlaczego astronomowie budują duże teleskopy? Dzieje się tak z dwóch zasadniczych powodów. Po pierwsze, chcemy zebrać jak najwięcej światła (czy ogólnie promieniowania) od bardzo słabych obiektów, a więc obiektów położonych w odległych głębiach kosmosu. Ilość zebranej energii jest wprost proporcjonalna do powierzchni zbierającej teleskopu, czyli kwadratu

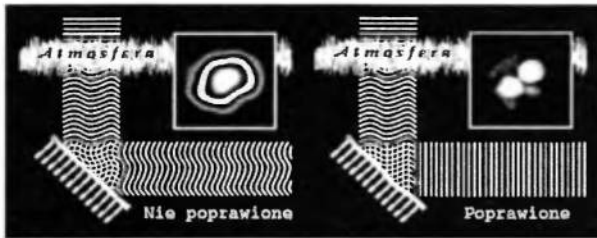
średnicy jego zwierciadła D^2 . Po drugie, chcemy te obiekty „widzieć” lepiej, to znaczy z możliwie największą zdolnością rozdzielczą w całym zakresie widma, czyli chodzi o to, żeby utworzony w ognisku teleskopu obraz był jak najbardziej „ostry”. A zdolność rozdzielcza jest tym lepsza, im większa jest średnica D , bo dyfrakcja, ten fizyczny efekt ograniczający wielkość obrazu w ognisku teleskopu, jest proporcjonalna do długości fali, a odwrotnie proporcjonalna do średnicy zwierciadła teleskopu.

We współczesnych teleskopach wykorzystuje się dwa nowe sposoby tworzenia obrazu. Pierwszy polega na modyfikowaniu (w czasie rzeczywistym) kształtu głównego zwierciadła teleskopu w taki sposób, aby utworzony przezeń obraz gwiazdy miał możliwie najmniejszy rozmiar. Tę metodę nazywamy „optyką aktywną”. Wspomniane wcześniej ośmiometrowe teleskopy VLT mają zwierciadła o grubości zaledwie 17 cm, spoczywające na setkach ruchomych, sterowanych komputerem wsporników (rys. 3). Po komputerowej analizie jakości obrazu, wsporniki dopasowują kształt zwierciadła, tak aby obraz gwiazdy tworzony w ognisku był minimalny, tzn. aby na najmniejszej powierzchni obrazu zebrać możliwie największą ilość światła.



Rys. 3. Schemat układu optyki aktywnej teleskopu VLT.

Drugą metodą jest tzw. metoda optyki adaptacyjnej, polegająca na usunięciu zaburzeń czoła fali docierającej do teleskopu. W tej metodzie jedno ze zwierciadeł teleskopu w układzie *coudé* ulega deformacji w miarę jak zmienia się, zaburzone głównie przez ziemską atmosferę, czoło fali świetlnej docierającej do nas od obserwowanego obiektu. Zwierciadło adaptacyjne „prostuje” czoło fali, dzięki czemu po skupieniu w ognisku powstaje obraz o dużo lepszej jakości (rys. 4). Obie opisane tutaj metody sprawiły między innymi, że możliwe stało się dostrzeżenie pojedynczych gwiazd w centralnych obszarach gęstych gromad gwiazdowych za pomocą teleskopów naziemnych.



Rys. 4. Zasada działania układu optyki adaptacyjnej. Po lewej stronie czoło fali świetlnej i przykładowy obraz w zwykłym teleskopie, po prawej – ten sam obraz poprawiony dzięki optyce adaptacyjnej.

Z codziennego życia doskonale wiemy, że nocą trudno jest dostrzec cokolwiek za oknem, gdy w pokoju palą się wszystkie światła. Z tym samym problemem spotykają się astronomowie, próbujący obserwować niebo w silnie zurbanizowanych częściach świata, na przykład w Europie. Bliżość miejskich światel praktycznie uniemożliwia dostrzeżenie słabych, odległych gwiazd i galaktyk. Podobnie się dzieje w dziedzinie radiowej: tam, gdzie przestrzeń jest nasycona promieniowaniem pochodzącym z radiowych stacji nadawczych, stacji przekaźnikowych, telefonów komórkowych, kuchenek mikrofalowych itp., trudno jest „usłyszeć” słabiutkie sygnały emitowane przez ciała niebieskie. Nie ma na niebie tak silnego radioźródła, jakim byłby nasz telefon komórkowy umieszczony na Księżycu! Dlatego astronomowie budują swoje obserwatoria w odludnych okolicach, na pustyniach i szczytach gór, tam, gdzie jest małe zachmurzenie i gdzie atmosfera jest spokojna.

Jedno z najbardziej znanych obserwatoriów mieści się na wulkanicznym szczycie Mauna Kea

na Hawajach, na wysokości 4500 m n.p.m. Ludzki organizm wymaga pewnej adaptacji, aby sprawnie funkcjonować w takich warunkach, przy zmniejszonej zawartości tlenu w powietrzu. Można tu przytoczyć prawdziwą historyjkę, która brzmi jak zmyślona anegdota. Otóż pewien astronom prowadził obserwacje za pomocą francusko-kanadyjsko-hawajskiego teleskopu, jednego z pierwszych w tym obserwatorium. Przez całą noc, wielce przejęty szczęściem jakie go spotkało, pilnie fotografował widma odległych galaktyk. Gdy po obserwacjach przeszedł do ciemni fotograficznej, by wywołać klisze, dla pewności zapalił wszystkie światła – bał się popełnić błąd, wywołując zdjęcia po omacku, i wywołał je w blasku wszystkich światel! Oczywiście rezultat był przesądzony...

W ostatnich latach przybywa coraz więcej dużych, osmiometrowych teleskopów. Na Mauna Kea wzniesiono niedawno 2 teleskopy ze zwierciadłami mozaikowymi o średnicy 10 m (teleskop Keck I i Keck II), a w bieżącym roku uruchomiono obok japoński teleskop narodowy Subaru o średnicy zwierciadła monolitycznego 8,3 m (rys. 5). Te trzy teleskopy będą wkrótce stanowiły jeden wielki interferometr optyczny. W czerwcu 1999 r. rozpoczął pracę inny 8-metrowy teleskop w Arizonie, a jego bliźniak (stąd nazwa zespołu: Gemini) stanie wkrótce na południowej półkuli, w Argentynie.



Rys. 5. Ogólny widok obserwatorium na Mauna Kea. Poniżej centrum zdjęcia szary budynek japońskiego teleskopu Subaru, na lewo od niego dwie kopuły bliźniaczych teleskopów Kecka.

Jak już powiedzieliśmy wcześniej, na pustyniach buduje się nie tylko instrumenty optyczne, ale również radioteleskopy. W tym wypadku po-

trzebujemy miejsc wolnych od zakłóceń wytwarzanych przez różne przekaźniki radiowe i telewizyjne, przekaźniki telefonii komórkowej i inne źródła fal radiowych. Radioteleskopy znajdujące się w różnych miejscach, a nawet na różnych kontynentach, łączone są w jeden wielki wirtualny instrument, interferometr np. systemu VLBI (Very Long Baseline Interferometry) czy VLA (Very Large Array, rys. 6). Wtedy uzyskuje się obrazy radioźródeł, które ujawniają szczegóły o rozmiarach rzędu tysięcznej części sekundy łuku. W roku 1998 wprowadzono na orbitę wokół Ziemi kosmiczny radioteleskop o średnicy 8 m, który łącznie z czterdziestoma radioteleskopami naziemnymi, w tym i 32-metrowym radioteleskopem toruńskim, tworzy wirtualny superteleskop – gigantyczny interferometr o bazie trzykrotnie większej niż średnica Ziemi.



Rys. 6. Radioastronomiczne obserwatorium VLA w stanie Nowy Meksyk (USA).

Jednym z najważniejszych argumentów na rzecz budowy teleskopu kosmicznego były ograniczenia zdolności rozdzielczej teleskopów naziemnych, wynikające z niekorzystnego wpływu grubej i turbulentnej warstwy atmosfery na przechodzące przez nią promieniowanie. Oczywiście, z jednej strony atmosfera nie przepuszcza fal o każdej długości, a z drugiej te, które przechodzą, ulegają zmiennym załamaniom powodującym scyntylację gwiazd. To właśnie scyntyllacja jest odpowiedzialna za fakt, że w ziemskich obserwatoriach, nawet przy najbardziej sprzyjających warunkach pogodowych, obserwowane obrazy gwiazd mają średnice rzędu 1 sekundy łuku. Jest to znacznie więcej niż pozwala wielkość i jakość układów optycznych ziemskich teleskopów. Rozdzielczość obrazów utworzonych za pomocą wyniesionego nad ziemską atmosferę teleskopu zależy już tylko od parametrów zwierciadła i jest

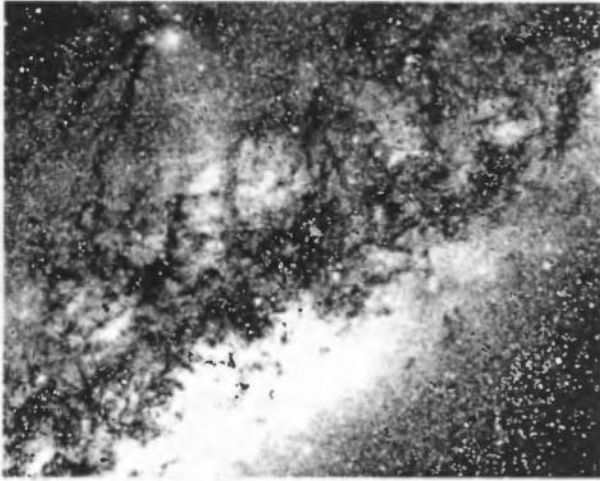
ograniczona tylko przez dyfrakcję. Dla teleskopu kosmicznego Hubble'a wielkość tworzonych przez niego obrazów gwiazd jest rzędu 0,1 sekundy łuku. Dziesięciokrotne zmniejszenie rozmiarów obrazów gwiazd w ognisku teleskopu oznacza, że jasność obrazu rejestrowanego przez teleskop wzrasta stukrotnie. Dzięki temu możemy rejestrować 100 razy słabsze obiekty niż do tej pory. A więc możemy sięgać w głąb kosmosu 10 razy dalej niż za pomocą teleskopów naziemnych – czyli jak gdyby powiększamy rozmiary obserwowanego Wszechświata dziesięciokrotnie.

Obecnie, dzięki opisanym wcześniej nowym metodom optyki aktywnej i adaptacyjnej, znacznie poprawiła się zdolność rozdzielcza teleskopów budowanych na powierzchni Ziemi. Za pomocą nowych teleskopów potrafimy regularnie wykonywać zdjęcia z rozdzielczością ok. 0,2 sekundy łuku. Japoński teleskop na Mauna Kea, z układem optyki adaptacyjnej, praktycznie osiąga rozdzielczość 0,06 sekundy łuku, a więc lepszą niż teleskop kosmiczny Hubble'a. Do tego sukcesu przyczyniła się jakość wykonania instrumentu, nowoczesne systemy optyki aktywnej i adaptacyjnej, a także dobra pogoda panująca przez większą część roku na Hawajach.

Warto więc budować teleskopy naziemne, tym bardziej że koszt wykonania pojedynczej obserwacji teleskopem ulokowanym na powierzchni Ziemi jest mniej więcej 500 razy niższy niż koszt obserwacji teleskopem umieszczonym na orbicie wokółziemskiej.

Nasze miejsce we Wszechświecie, nasze najbliższe kosmiczne środowisko, to nasza Galaktyka. Gwiazdy, które widzimy na nieboskłonie, to podobne do Słońca gorące kule gazowe leżące w naszej Galaktyce. Ich największa koncentracja oraz największe skupisko, wręcz kłębowisko świecącej i ciemnej materii, gazów i pyłów, to nasza Droga Mleczna. My, mieszkańcy Ziemi, razem z naszym Słońcem znajdujemy się gdzieś na peryferiach tej wielkiej struktury i naszą Galaktykę oglądamy „od wewnątrz” właśnie w postaci Drogi Mlecznej (rys. 7). Do naszej najbliższej gwiazdnej sąsiadki światło biegnie przeszło 4 lata, a aby przebiec Drogę Mleczną, potrzebuje ponad 100 tysięcy lat. Takich obiektów są miliardy (rys. 8). Najbliższa nasza galaktyczna sąsiadka, mgławica w gwiazdozbiornie Andromedy, jest odległa od nas o 3 miliony lat świetlnych. Gdy obserwujemy galaktyki

odległe o 5 miliardów lat świetlnych, to mamy do czynienia z materią sprzed tylu właśnie lat, czyli ze stanem materii Wszechświata w chwili rodzenia się naszego Układu Słonecznego. Czyż nie możemy powiedzieć, że uprawiamy swoistą archeologię? A nasze wielkie teleskopy sięgają już do galaktyk, z których światło biegnie 12–13 miliardów, a może nawet więcej lat! I jeszcze chyba nie sięgnęliśmy do materii z pierwszych chwil istnienia Wszechświata.



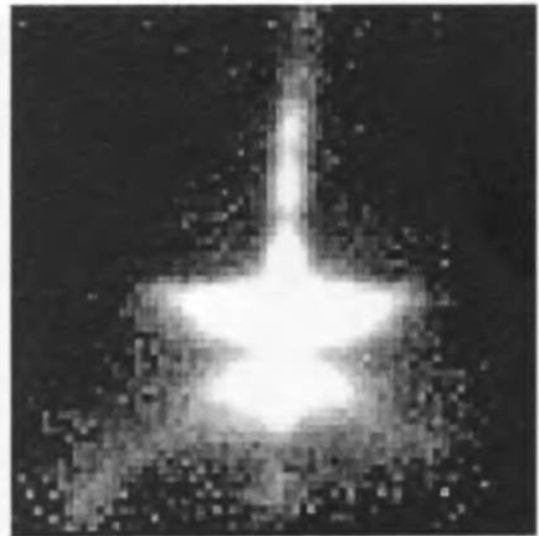
Rys. 7. Szerokokątne zdjęcie, ukazujące centralną część Drogi Mlecznej.

Współcześni astronomowie bardzo często skupiają uwagę na obiektach, które się rodzą, umierają lub też przechodzą przez inne, ciekawe stadia swej ewolucji. Teleskop kosmiczny Hubble'a dostarczył nam wielu obrazów rodzących się gwiazd. Odkryto miejsca, w których w przyszłości mogą powstać gwiazdy, a być może również układy planetarne. W samej Wielkiej Mgławicy Oriona (M42) znamy kilkadziesiąt takich miejsc. Teleskop kosmiczny wykonał też dokładne zdjęcia wielu obiektów Herbiga–Haro, które są młodymi gwiazdami na najwcześniejszych etapach ewolucji (rys. 9). Obserwujemy zjawiska dysków akrecyjnych i wytrysków („dżetów” bądź „jetów”) materii, towarzyszące powstawaniu gwiazd, w przestrzennej skali porównywalnej z rozmiarami naszego Układu Słonecznego.

Niezwykle spektakularnym miejscem narodzin gwiazd jest mgławica M16 w gwiazdozbiore Węża. Na pięknych zdjęciach uzyskanych teleskopem kosmicznym Hubble'a widzimy wielkie pyłowe słupy, kolumny wyrzeźbione promieniowa-



Rys. 8. Galaktyka spiralna NGC 1232. Tak prawdopodobnie wygląda nasza Galaktyka widziana z zewnątrz. Ten obraz został uzyskany przez teleskop nr 1 zespołu VLT obserwatorium ESO na Mt Paranal w dniu 21 września 1998 r. Galaktyka jest odległa od nas o ok. 100 mln lat świetlnych, a jej rozmiary sięgają 170 tys. lat świetlnych.



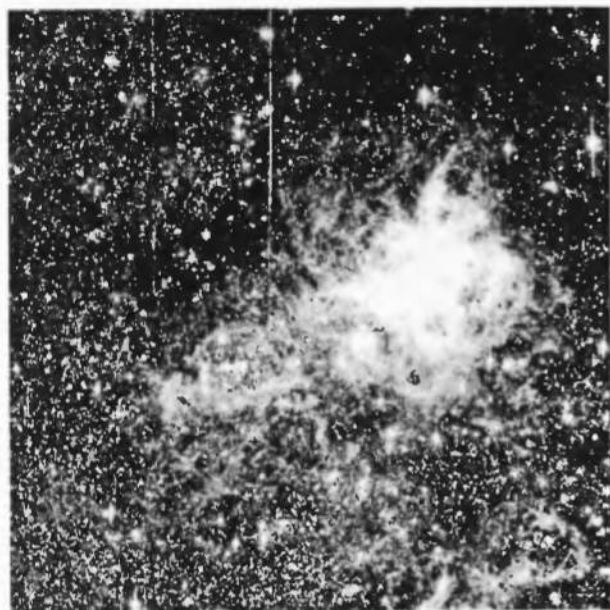
Rys. 9. Obiekt HH30, prototyp młodej gwiazdy otoczonej cienkim, ciemnym dyskiem materii i wysyłającej energetyczne „dżety”. Dysk rozciąga się na ok. 70 mlk km z lewa na prawo obrazu i dzieli obraz mgławicy na dwie części. Centralna gwiazda nie jest widoczna, ale jej światło rozprasza się na dolnej i górnej powierzchni dysku, tworząc parę mgławic.

niem nadfioletowym rodzących się słońc (rys. 10). Pyłowe kokony kryją w tej mgławicy miejsca



Rys. 10. Centralna część mgławicy M16 sfotografowana przez teleskop kosmiczny Hubble'a.

nowo narodzonych gwiazd. Na fotografiach uzyskanych teleskopem Hubble'a możemy podziwiać przepiękną, bardzo bogatą w szczegóły, strukturę mgławicy Tarantula (NGC 2070) w Wielkim Obłoku Magellana (rys. 11). Jest to najwięk-



Rys. 11. Mgławica Tarantula w Wielkim Obłoku Magellana na zdjęciu uzyskanym przez teleskop Hubble'a.

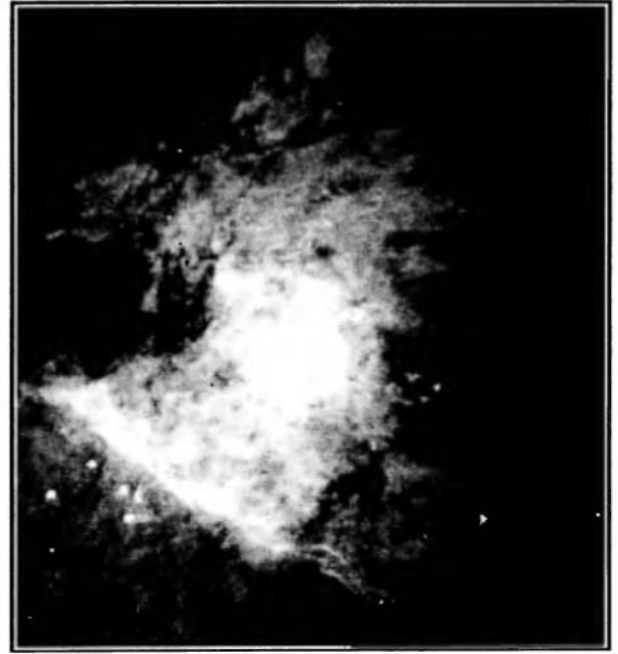
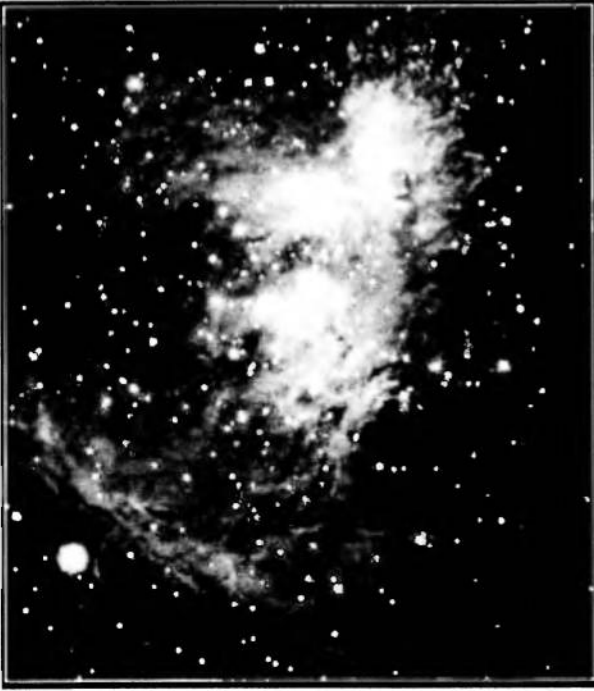
sza znana nam chmura wodorowa i gwiazdowy macecznik w lokalnej gromadzie galaktyk. Leży w najbliższej nam, naszej satelitarnej galaktyce LMC w odległości od nas zaledwie 180 tysięcy lat świetlnych, w której gros gwiazd powstało ja-

kieś 3–5 miliardów lat temu (czyli wtedy, gdy powstawało nasze Słońce ze swym układem planet). Mgławica NGC 2070 świeci dzięki wzbudzeniu jej gazów światłem pobliskich gorących gwiazd na drodze mechanizmów fluorescencji. Mgławice pyłowe na ogół świecą na skutek rozpraszania promieniowania okolicznych gwiazd. Tak np. świecą w naszej Galaktyce pyły M45 w gromadzie Plejad w gwiazdozbiorze Byka.

Japoński teleskop Subaru na Mauna Kea wykonał ostatnio bardzo efektowne zdjęcia Wielkiej Mgławicy Oriona w dziedzinie podczerwonej widma. W mgławicy tej dominuje wodór o temperaturze 2000 K. W podczerwieni szczególnie zainteresowanie wzbudza część tej mgławicy, która określana jest katalogowym mianem: „obszar KL”. W jego centrum stwierdzono rodzące się gwiazdy, które swym młodzieńczym światłem oświetlają pyły i gazy znajdujące się w pobliżu (rys. 12). Tego rodzaju procesy trwają miliony lat.

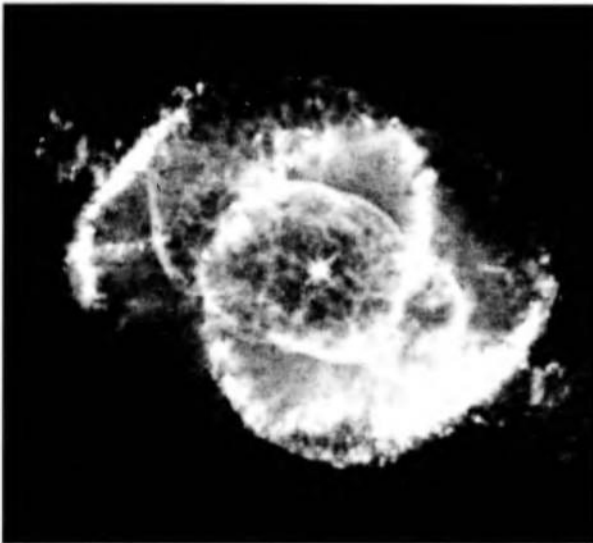
Równie ciekawe są obserwacje procesów towarzyszących umieraniu gwiazd. Niektóre gwiazdy (jest to proces zależny od masy gwiazdy) w ostatnich stadiach ewolucji odrzucają swoje zewnętrzne warstwy, które następnie obserwować możemy w postaci mgławic planetarnych.

Jedną z takich mgławic, NGC 6543 w gwiazdozbiorze Smoka, sfotografował teleskop Hubble'a (rys. 13). Na zdjęciu widać skomplikowany układ otoczek gazowych, odrzucanych przez wybuchającą gwiazdę z szybkościami kilku tysięcy kilometrów na sekundę! Odrzucana materia gwiazdowa zderza się z otaczającą gwiazdę materią okółogwiazdową, a dalej międzygwiazdową, powodując powstawanie fal uderzeniowych. Wybuchy gwiazdy mogą być wielokrotne, dzięki czemu jesteśmy świadkami przepięknego spektaklu. Ale obserwowana przez nas mgławica rozproszy się bardzo szybko, w ciągu kilku tysięcy lat. Jeszcze bardziej gwałtowne procesy towarzyszą umieraniu gwiazd o dużej masie w zjawisku zwanym supernową: wtedy cała gwiazda ulega rozerwaniu i jej materia głównie rozprasza się w przestrzeni międzygwiazdowej, stając się budulcem nowych generacji gwiazd (rys. 14). Pewna część materii takiej gwiazdy może ulec kompresji i utworzyć gwiazdę neutronową (pulsara, gdy jej oś rotacji będzie skierowana w naszą stronę) lub, znowu zależnie od pierwotnej masy, czarną dziurę. To wszystko są



Rys. 12. Wielka Mgławica w Orionie, miejsce ciągle rodzących się gwiazd. Po lewej zdjęcie w podczerwieni wykonane przez japoński teleskop Subaru; górną część zdjęcia zajmuje tzw. obszar KL. Po prawej mozaika uzyskana z wielu zdjęć w promieniowaniu widzialnym wykonanych teleskopem kosmicznym Hubble'a przez Roberta O'Della.

fascynujące przedmioty badań współczesnej astronomii we wszystkich zakresach widma promieniowania elektromagnetycznego.



Rys. 13. Mgławica NGC 6543 w gwiazdozbiornie Smoka. Zdjęcie zostało wykonane przez teleskop Hubble'a.

Współcześni astronomowie starają się też swymi gigantycznymi teleskopami sięgać jak najdalej w przestrzeń kosmiczną. Obserwujemy od-

ległe galaktyki, które często przybierają bardzo osobliwe, nieregularne kształty. O wyglądzie wielu galaktyk prawdopodobnie decydują czarne dziury o dużej masie ulokowane w ich jądrach. To one chyba napędzają nieznaną jeszcze nam mechanizmy wyzwalające ogromne ilości energii w kwazarach czy galaktykach o wzbudzających dzisiaj duże zainteresowanie astronomów aktywnych jądrach, tzw. AGN-ach. Galaktyki bardzo lubią skupiać się w tzw. gromady galaktyk. Na zdjęciach wielu gromad widzimy galaktyki podwójne i wielokrotne, a w licznych przypadkach niewątpliwie mamy do czynienia z oddziaływaniem grawitacyjnym między sąsiadującymi ze sobą galaktykami. Często się zdarza, że obserwujemy całe pola galaktyk, w których wszystkie obiekty występują w skomplikowanych wzajemnych związkach (rys. 15).

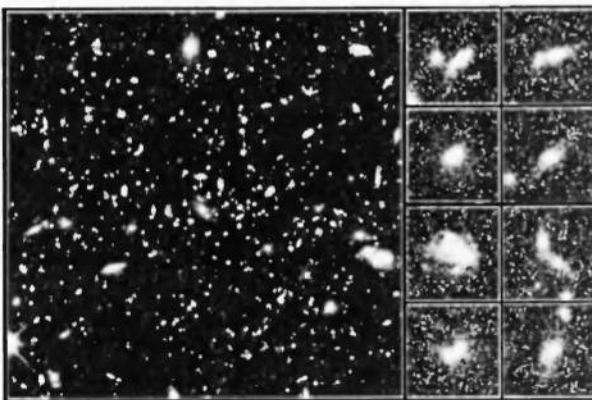
Aby sięgnąć jak najgłębiej w czeluście Wszechświata, teleskop kosmiczny Hubble'a przez wiele dni skierowany był w jedno miejsce: uzyskano w ten sposób obraz tzw. Głębokiego Pola Hubble'a (rys. 16). Zrobiono to w wybranych miejscach – jednym na półkuli północnej, drugim na półkuli południowej. W polu widzenia



Rys. 14. Mgławica Krab, czyli pozostałość po wybuchu supernowej z 1054 r. Lewe zdjęcie wykonano w dziedzinie optycznej teleskopem nr 2 zespołu VLT obserwatorium ESO na górze Paranal w Chile. Prawe zdjęcie przedstawia mgławicę Krab w promieniowaniu rentgenowskim: wykonał je teleskop orbitalny Chandra. Centralny pulsar otoczony jest pierścieniami wysokoenergetycznych cząstek. Pierścień ma rozmiary 200 razy większe od naszego Układu Słonecznego.

o średnicy paru minut łuku zarejestrowano setki, a nawet tysiące galaktyk, z których najdalsze powstały w pierwszych epokach życia Wszechświata i są od nas odległe o 12–13 miliardów lat świetlnych. Ze wszech stron jesteśmy otoczeni galaktykami; oglądamy je z głębin jednej z nich, żyjąc na maleńkiej planecie dzięki dobrodziejstwom płynącym z energii naszej najbliższej gwiazdy, Słońca.

Czy jesteśmy sami? Czy razem z nami oglądają i próbują zrozumieć otaczający nas świat gwiazd



Rys. 15. Odległa od nas o 8 mld lat świetlnych gromada galaktyk MS 1054-03 na zdjęciu uzyskanym przez teleskop Hubble'a w 1999 r. Doliczono się tutaj 81 galaktyk, z których wiele jest w fazie „zderzania się”. Kilka par takich galaktyk widać na zdjęciach obok.



Rys. 16. HDF-S, Głębokie Południowe Pole Hubble'a – wgląd teleskopu Hubble'a w najgłębsze czeluście Wszechświata. Po 10 dniach ciągłych obserwacji teleskop HST sięgnął do galaktyk odległych o 12–13 mld lat świetlnych. Gdybyśmy chcieli fotografować całe niebo z taką „głębokością” teleskopem kosmicznym Hubble'a, zajęłoby to 900 tys. lat.

i galaktyk inne rozumne istoty? Na to pytanie jeszcze dzisiaj nie mamy odpowiedzi.

W niedalekiej przyszłości astronomowie polscy będą mogli szerszym frontem uczestniczyć w tym szaleńczym wyścigu w poznawaniu tajemnic bezkresnego kosmosu. Znosi się bowiem na to, że będziemy współwłaścicielami gigantycznego teleskopu SALT (Southern African Large Telescope), który stanie w Republice Południowej Afryki, na płaskowyżu Sutherland, obok innych teleskopów tamtejszego obserwatorium (rys. 17). Teleskop ten będzie teleskopem spektroskopowym typu tranzytowego z 10-metrowym zwierciadłem mozaikowym o kształcie sferycznym. W czasie obserwacji będzie nieruchomy i nie będzie wędrował za gwiazdami, jak to czynią zwykle teleskopy, ale w jego ognisku specjalne urządzenie będzie „śledziło” przemieszczający się obraz obserwowanego obiektu (jak w radioteleskopie w Puerto Rico). Głównym jego wyposażeniem instrumentalnym będą spektrografy o różnej zdolności rozdzielczej. Pierwotny tego teleskopu, HET, już pracuje na

półkuli północnej w Obserwatorium McDonalda w Teksasie. SALT będzie jego bliźniakiem pracującym na półkuli południowej. Przewiduje się do 15% udziału Polski w jego budowie i taki sam



Rys. 17. Komputerowy obraz 10-metrowego teleskopu SALT nałożony na fotografię obserwatorium w Sutherland w Południowej Afryce.

procentowy udział w wykorzystaniu go do prac badawczych.

Projekty kosmicznych misji marsjańskich*

Krzysztof Ziołkowski

Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa

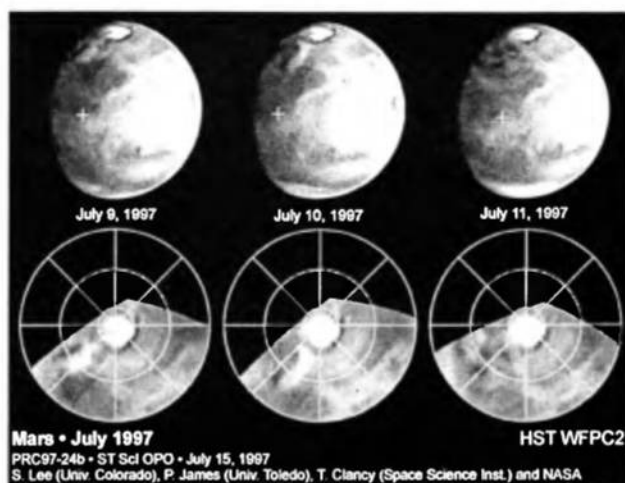
Mars mission projects

Opowieść o historii badania Marsa rozpoczniemy od najbardziej aktualnych wydarzeń. Dziś jest 20 września 2000 r. Za trzy dni, 23 września, doleci do Marsa jedna z dwóch sond kosmicznych wchodzących w skład misji Mars Surveyor '98. Zadaniem tej sondy jest, ogólnie rzecz biorąc, badanie klimatu Marsa: analiza tamtejszej atmosfery, zwłaszcza jej niskich warstw, oraz samej powierzchni planety.

O tym, jak ważny i ciekawy jest to problem, świadczą zdjęcia Marsa wykonane przez Teleskop Kosmiczny Hubble'a od 9 do 11 lipca 1997 r., w czasie, gdy na powierzchni Czerwonej Planety wylądowała sonda Pathfinder (rys. 1). Widać na nich szybko zmieniające się zjawisko bliskopółnocnej czapy polarnej, które prawdopodobnie jest obrazem wielkiej burzy pyłowej na powierzchni Marsa. Wydarzyła się ona dość daleko od miejsca lądowania Pathfinder'a i nie zaszkodziła sondzie, jednak podobne burze są na Marsie zjawiskiem typowym i często spotykanym.

Opiszemy teraz program badawczy sondy Surveyor '98, która właśnie dolatuje do Marsa. Za kilka dni zostanie włączony silnik, którego zadaniem będzie wyhamowanie sondy tak, żeby mogła ona wejść na zamkniętą orbitę wokół Marsa. Następnie rozpocznie się ważny etap „ukołowania” orbity okołomarsjańskiej. Pierwotna orbita sondy będzie bowiem silnie wydłużoną elipsą, o pery-

centrum odległym od powierzchni Marsa zaledwie o 250–300 km i apocentrum w odległości aż kilkudziesięciu tysięcy kilometrów. Jednym ze sposo-



Rys. 1. Gwałtowna burza pyłowa w pobliżu północnego bieguna Marsa, sfotografowana przez Teleskop Kosmiczny Hubble'a w dniach 9–11 lipca 1997 r. Krzyżykiem zaznaczono miejsce lądowania sondy Pathfinder.

ków ukołowania orbity sondy mogłoby być wielokrotne użycie hamującego ciągu silników. Do tego celu konieczny byłby jednak spory zapas paliwa, a jego wyniesienie w przestrzeń kosmiczną znacznie podniosłoby koszt całej misji. Z tego względu orbita Surveyora zostanie ukołowana w inny, bardziej „ekonomiczny” sposób, za pomocą hamowa-

* Wykład wygłoszony podczas sesji satelitarnej „Fizyka i kosmos” XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku we wrześniu 1999 r. Tekst został technicznie przygotowany przez mgra Macieja Piętkę z Uniwersytetu w Białymstoku na podstawie nagrania wideo, a następnie autoryzowany (przyp. Red.).

nia aerodynamicznego. Perycentrum orbity zostanie najpierw obniżone do wysokości 110–120 km nad powierzchnią Marsa, a więc znajdzie się już w górnych warstwach atmosfery. Opór atmosfery spowoduje nieznaczne zmniejszenie prędkości sondy w perycentrum. Skutek tego manewru będzie taki, że apocentrum orbity obniży się o kilka do kilkunastu kilometrów. Wielokrotne „zaczepianie” sondy o górne warstwy atmosfery doprowadzi w końcu do tego, że jej orbita z wydłużonej elipsy stanie się niemal kołowa. Proces ten wymaga wielu obiegów sondy wokół Marsa i może zająć nawet kilka miesięcy.

Surveyor '98 jest trzecią misją kosmiczną w ogóle, a drugą w dziejach badania Marsa, w której wykorzystano taką metodę ukoławiania orbity. Poprzednio podobny manewr wykonała sonda Mars Global Surveyor, która krąży wokół Marsa już od kilku miesięcy. Zadaniem tej sondy jest robienie dokładnych zdjęć marsjańskiej powierzchni.

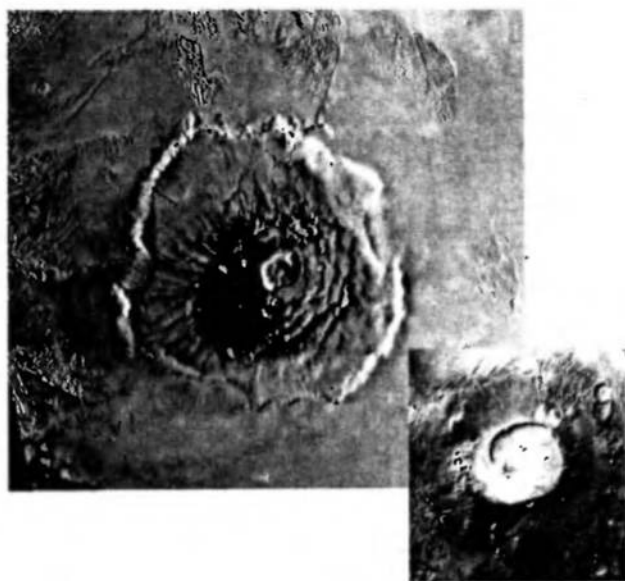
Proces ukoławiania orbity Global Surveyora przebiegał nie bez kłopotów. Początkowa wysokość, na której sonda hamowała w atmosferze, około 110 km, okazała się zbyt mała. Silny opór atmosfery na tej wysokości mógł wygiąć jeden z paneli baterii słonecznych, który w wyniku usterki nie został należycie unieruchomiony. W trosce o bezpieczeństwo sondy trzeba było podnieść perycentrum orbity do wysokości około 125 km nad powierzchnią Marsa i na tej wysokości kontynuować hamowanie aerodynamiczne. Proces ukoławiania orbity znacznie się z tego powodu wydłużył, trwał ponad rok. W przypadku misji Mars Global Surveyor istotne było, aby sonda poruszała się synchronicznie z ruchem Słońca na niebie Marsa. Dzięki temu wszystkie zdjęcia ukazują powierzchnię planety oświetloną pod jednakowym kątem, co ma ujednoczyć mapę Marsa przygotowywaną na podstawie zdjęć z tej sondy (rys. 2).

Powróćmy teraz do misji Mars Surveyor '98. Jej drugim elementem, obok badania z orbity klimatu Marsa, będzie lądowanie próbnika na powierzchni planety. Próbnik ma wykonać szczegółowe badania zjawisk klimatycznych, a także pomóc w rozstrzygnięciu problemu istnienia wody na Marsie. Jest to obecnie jedno z najbardziej dyskutowanych zagadnień naukowych związanych

z Marsem. Wyniki misji Pathfinder sprzed dwóch lat potwierdziły przypuszczenia, że na Czerwonej Planecie była kiedyś woda. Chyba najbardziej znaczącym wynikiem naukowym tej krótkiej misji było odkrycie, że w miejscu lądowania sondy przed kilkoma miliardami lat musiała płynąć woda.

Co się z tą wodą stało? Tego do tej pory nikt właściwie nie wie. Jest wiele domysłów i przypuszczeń, ale kwestia wody nadal pozostaje jedną z największych zagadek dotyczących Marsa. Lądownik misji Surveyor '98, który osiadł na powierzchni 3 grudnia 1999 r., ma m.in. pomóc w znalezieniu odpowiedzi na to pytanie¹.

Lądowanie ma przebiegać inaczej niż w przypadku Pathfinder. Nie będzie tym razem poduszek powietrznych, które amortyzowały uderzenie lądownika o powierzchnię. Próbnik będzie lądował na spadochronach, podobnie jak wiele lat temu sondy Viking, a w ostatniej fazie jego ruch wyhamują silniki.



Rys. 2. Powierzchnię Marsa pokrywają liczne kratery pochodzenia meteorytowego i wulkanicznego. Jednym z utworów wulkanicznych jest krater Olympus Mons (na większym zdjęciu), którego podstawa ma średnicę około 550 km, a brzeg wznosi się na wysokość ponad 25 km – jest to najwyższa znana góra w Układzie Słonecznym. Dużo od niego mniejsza Patera Apollinaris, o wysokości niecałe 5 km, jest jednym ze starszych utworów na powierzchni Marsa. Przypuszczamy, że powstała ok. 3 mld lat temu. Precyzyjne zdjęcia obu kraterów zostały wykonane przez sondę Mars Global Surveyor.

¹ Misja Mars Surveyor '98 zakończyła się niestety fiaskiem: nie udało się wprowadzenie sondy na orbitę okołomarsjańską ani lądowanie drugiej sondy na powierzchni Marsa.

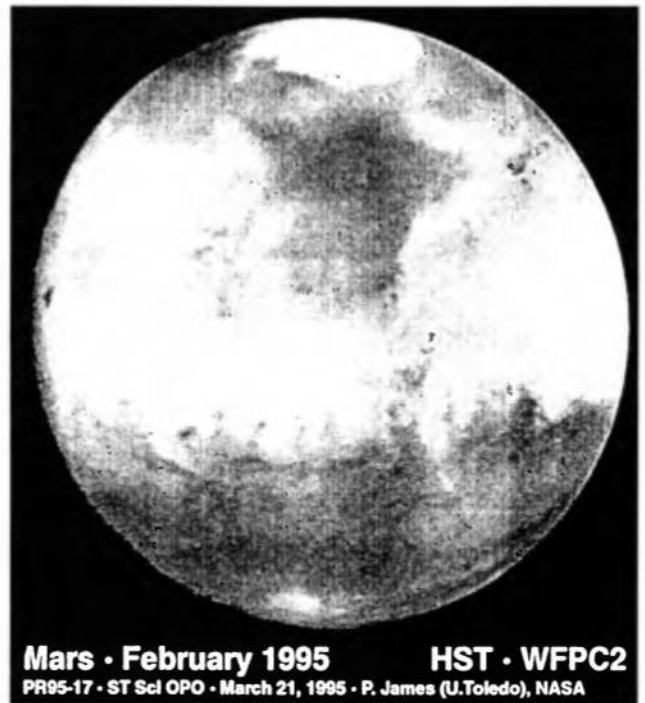
Nie mniej ciekawą częścią tego eksperymentu będzie misja o nazwie Deep Space 2, która jest drugim elementem nowego amerykańskiego programu „Nowe Tysiąclecie”, polegającego na sprawdzaniu nowych technologii dla przyszłych badań kosmicznych. Od części lądującej, jeszcze zanim zagłębi się ona w marsjańskiej atmosferze, zostaną odłączone dwie kule wielkości piłki futbolowej. Z wysokości rzędu 100 km kule spadną na powierzchnię, a od spalania w atmosferze uchroni je specjalny pancierz. Ocenia się, że prędkość kul przy powierzchni Marsa wyniesie 150–200 m/s. Uderzenie z tak wielką energią spowoduje rozbięcie pancierza, z którego wyłoni się instrumentarium naukowe. Na powierzchni osiadzie niewielki, płaski krążek o średnicy kilkunastu centymetrów, z którego w grunt marsjański wbije się ostry harpun, o rozmiarach zwykłego długopisu.

W zależności od spistości gruntu próbnik wniknie od 30 cm do około 2 m pod powierzchnię. Część pozostała na powierzchni zapewni łączność z dwiema sondami krążącymi po orbicie okołomarsjańskiej. Głównym zadaniem próbnika ma być poszukiwanie lodu wodnego wewnątrz gruntu marsjańskiego. Ze względu na niewielkie rozmiary próbnika nie można stosować bardzo wyrafinowanych metod. Grunt zostanie podgrzany, a jeśli rzeczywiście zawiera on wodę, czujniki będą w stanie zarejestrować uwolnioną parę wodną.

Następną ciekawą misją marsjańską jest trwająca obecnie japońska ekspedycja NOZOMI. Na orbitę w kierunku Marsa sonda NOZOMI weszła w wyniku skomplikowanego manewru dwóch kolejnych zbliżeń do Księżyca i do Ziemi. Dzięki temu uniknięto konieczności użycia dużych ilości paliwa do rozpędzenia sondy. Ostatnie zbliżenie z Ziemią, w wyniku którego sonda została wyrzucana na orbitę w kierunku Marsa, miało miejsce 20 grudnia 1998 r.

Japońska sonda miała dotrzeć do Marsa w październiku 1999 r. Okazało się jednak, że manewr rozpędzania w polu grawitacyjnym Ziemi był za mało precyzyjny, aby trafić dokładnie do celu. Dokonano wprawdzie korekty toru, jednak po dotarciu w okolice Marsa sonda miałaby zbyt mało paliwa, aby wyhamować i wejść na wokółmarsjańską orbitę. Na szczęście dokładne obliczenia toru sondy pokazały, że po dwóch następnych obiegach Marsa (i sondy) wokół Słońca, w roku 2003, japoński próbnik zbliży się do Marsa tak, że

skromny zapas paliwa pozwoli na wprowadzenie go na orbitę okołomarsjańską.



Rys. 3. Powierzchnia Marsa sfotografowana przez Teleskop Kosmiczny Hubble'a 25 lutego 1995 r. Mars znajdował się wówczas w odległości 103 mln km od Ziemi. Na zdjęciu widać liczne jasne obłoki, zbudowane z kryształków lodu. Rozbudowana pokrywa chmur zaskoczyła badaczy; świadczy ona o tym, że Mars jest zimniejszy i suchszy niż sądzono. Czapa polarna wokół północnego bieguna to warstwa szronu, złożonego z zestalonego dwutlenku węgla i lodu.

Powiemy teraz o historii bezpośrednich badań Marsa przy użyciu sond kosmicznych. Prawie 40-letnie sondowanie Marsa (pierwsze rakiety próbowano wystrzelić już w 1960 r.) zaowocowało w sumie 32 startami w kierunku Czerwonej Planety. Z tej liczby jedynie 8 misji można uznać za eksperymenty w pełni udane.

Pierwsze próby wysyłania sond w kierunku Marsa przeprowadzono w Związku Radzieckim w październiku 1960 r., zaledwie 3 lata po uruchomieniu pierwszego sztucznego satelity Ziemi. Próbnicze starty dwóch rakiet zakończyły się niepowodzeniem, a Rosjanie oficjalnie o tej misji nawet nie informowali.

Podczas następnego okna startowego, w roku 1962, Rosjanie wystrzelili trzy Sputniki, jak je wówczas nazywano, oznaczone numerami 29, 30 i 31. Jedynie Sputnikowi 30 udało się odstrzeżenie z orbity okołozemskiej sondy w kierunku

Marsa. Rosjanie nazwali tę sondę Mars 1. Rzeczywiście, przeleciała ona w odległości kilku tysięcy kilometrów od powierzchni Marsa, jednak już na parę miesięcy przed tym przelotem sonda zamilkła i utracono z nią kontakt.

Dopiero okno startowe w listopadzie 1964 r. przyniosło sukces w badaniach Marsa. Amerykanie wystrzelili wówczas dwie sondy: Mariner 3 i 4 (były to pierwsze amerykańskie sondy planetarne). Ekspedycja Mariner 3 była nieudana, ale Mariner 4 przeleciał w 1965 r. w pobliżu Marsa, w odległości około 10 tys. km od jego powierzchni. Wykonano wtedy 21 zdjęć o rozdzielczości około 3 km, obejmujących niewielkie fragmenty powierzchni planety. Było to w tamtych czasach wielkim osiągnięciem, bowiem najlepsze naziemne teleskopy umożliwiały obserwacje szczegółów powierzchni Marsa z rozdzielczością około 150 km.

Na przełomie lutego i marca 1969 r. Amerykanie wystrzelili sondy Mariner 6 i 7. Rosjanie, wiosną tego samego roku, również wysłali dwie sondy, ale ich misje zakończyły się niepowodzeniem już przy starcie z kosmodromu Bajkonur. Mariner 9 (rys. 4), wystrzelony podczas kolejnego okna startowego w 1971 r., stał się pierwszym sztucznym satelitą Marsa; wykonał podczas swojej misji wiele wartościowych zdjęć.



Rys. 4. Sonda Mariner 9.

Podczas okna startowego w 1975 r. wystrzelono dwie sondy Viking 1 i 2 (rys. 5), które w następnym roku bezpiecznie osiadły na powierzchni Marsa. Były to jak dotychczas chyba najbardziej udane misje marsjańskie, dostarczyły najbogatszego materiału naukowego. Warto przypomnieć, że oba lądowniki, które na powierzchni Marsa pra-

cowały przez kilka lat, poszukiwały tam śladów życia. W eksperymentach tych nie udało się znaleźć jakichkolwiek, choćby najbardziej prymitywnych form życia.



Rys. 5. Jedna z sond Viking.

Od obu Vikingów aż do Pathfinder'a jest ponad dwudziestoletnia przerwa w badaniach Marsa. W tym czasie podjęto kilka prób osiągnięcia Marsa, ale żadna z nich się nie powiodła. Można tu wymienić międzynarodowe sondy Fobos, wystrzelone w 1988 r., na których umieszczono m.in. polską aparaturę badawczą. Z nie wyjaśnionych przyczyn Amerykanie utracili sondę Mars Observer, wystrzeloną w 1992 r., która zamilkła tuż przed dotarciem do celu.

Podczas okna startowego w 1996 r. wystartował Pathfinder oraz Mars Global Surveyor, który właśnie fotografuje powierzchnię Marsa z orbity. W tym samym roku rozpoczęła się nieudana rosyjska misja Mars 96. Na pokładzie tej sondy wiele państw, wśród nich także Polska, umieściło swoje instrumenty.

Na zakończenie warto wspomnieć o sondzie Mars Express, przygotowywanej obecnie przez Europejską Agencję Kosmiczną. W programie naukowym tej ekspedycji swój udział mają również polscy naukowcy. Centrum Badań Kosmicznych PAN zostało zaproszone do budowy spektrometru fourierowskiego dla poznania składu chemicznego atmosfery i powierzchni Marsa. Sonda wystartuje w 2003 r.

Wszystko jest magnetyczne, czyli lewitować każdy może*

Andrey Geim

Katolieke Universiteit Nijmegen, Holandia

Everyone's magnetism

Abstract: Though it seems counterintuitive, today's research magnets can easily levitate seemingly non-magnetic objects, thereby opening an Earthbound door to microgravity conditions.

Jeśli powiemy dziecku, które bawi się zwykłym magnesem „podkówką” i kawałkami żelaza, że mamy magnes dużo większy, za pomocą którego można podnieść każdy przedmiot i każdą osobę, dziecko zapewne w to uwierzy. Może nawet będzie chciało, żeby taki magnes unosił je nad ziemię. Jeśli jednak takiej rozmowie będzie przysłuchiwał się fizyk, to „z wysokości” swej wiedzy i doświadczenia uśmiechnie się pobłażliwie. Fizyk wie bowiem dobrze, że tylko kilka materiałów – takich jak żelazo lub nikiel – to silne magnetyki. Natomiast ogromna większość pozostałych materiałów nie ma tak silnych własności magnetycznych; własności te są wręcz miliard razy słabsze. Ta ogromna różnica we własnościach powoduje powstanie przekonania, że lewitacja zwykłych substancji, np. wody, za pomocą najsilniejszych nawet magnesów jest niemożliwa. Wymagałoby to bowiem pól magnetycznych tak wielkich jak te, które istnieją we wnętrzach gwiazd neutronowych. W tym jednak przypadku wiedza i doświadczenie zawodzą. Możliwe jest bowiem lewitowanie wszystkich materiałów za pomocą pól magnetycznych, które potrafimy wytworzyć standardowymi metodami. W zasadzie, jak to zoba-

czymy dalej, potrafimy unieść za pomocą magnesu nawet dziecko.

Zawodna intuicja

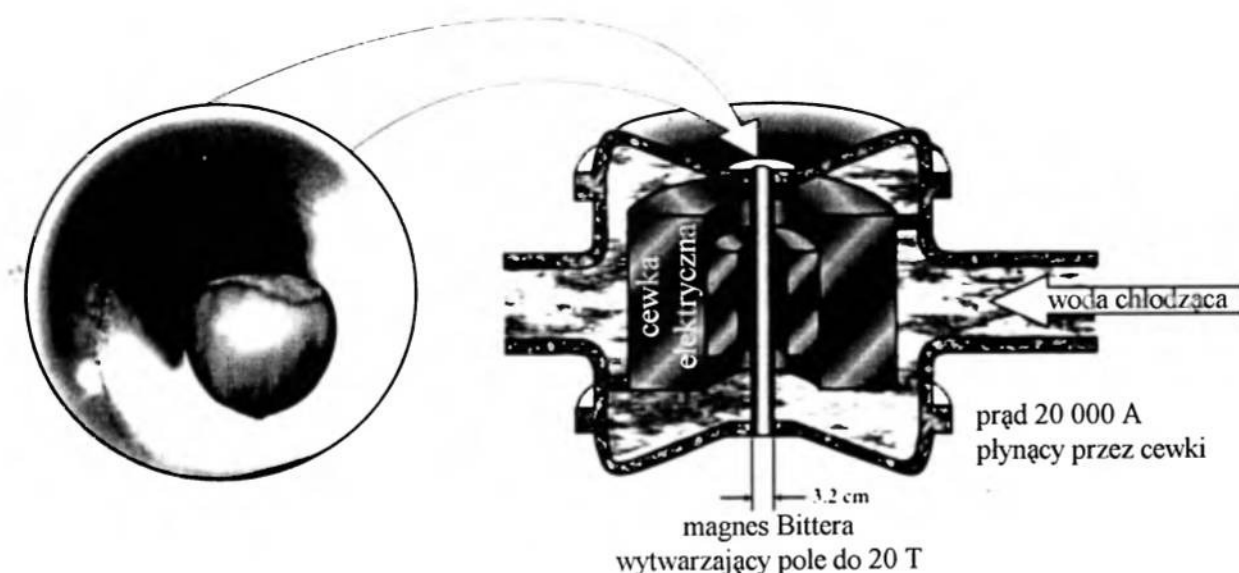
Na zdjęciach ilustrujących ten artykuł można zobaczyć lewitujący orzech laskowy (zobacz rys. 1, na którym pokazany jest układ doświadczalny), żabę (rys. 2) i kulkę wody (rys. 3). Obiekty te lewitują w polu magnetycznym o indukcji ok. 10 Tesli. Jest to wartość tylko kilka razy większa niż indukcja, jaką mogą wytworzyć najsilniejsze z istniejących magnesów stałych (ok. 1,5 T) i tylko ok. 100 razy większa niż indukcja, jaką wytwarzają zwykle trwałe magnesy, którymi każdy z nas kiedyś się bawił. Wystarczy otworzyć podręcznik magnetyzmu na odpowiedniej stronie, żeby przekonać się, że takie pole jest wystarczające do uniesienia „niemagnetycznych” materiałów. Faktycznie, siła działająca na materiał o podatności magnetycznej χ , umieszczony w polu magnetycznym o indukcji B , wynosi $F = (M \cdot \nabla)B$, gdzie $M = (\chi/\mu_0)VB$ oznacza namagnesowanie, μ_0 przenikalność magnetyczną próżni, a V objętość rozważanego materiału. Chcemy, żeby siła ta zrówno-

*Artykuł, opublikowany w *Physics Today* 51, nr 9, 36 (1998), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1998 by American Institute of Physics] (przyp. Red.).

ważyła siłę przyciągania ziemskiego $mg = \rho Vg$ (gdzie ρ oznacza gęstość rozważanego materiału, a g przyspieszenie ziemskie). Pionowa składowa gradientu kwadratu indukcji magnetycznej ∇B^2 , której istnienie jest niezbędne do podniesienia przedmiotu, musi być większa niż $2\mu_0 g(\rho/\chi)$. Będziemy rozróżniali podniesienie przedmiotu i lewitację – ten termin będzie określał stabilne unoszenie się w powietrzu.

Przyłożenie zewnętrznego pola magnetycznego powoduje reakcję elektronów krążących po orbitach wokół jąder. Zjawisko to, nazywane diamagnetyzmem, określa „dolną granicę” reakcji materiału na pole magnetyczne. Jak można sprawdzić w podręcznikach, dla większości ma-

teriałów stosunek χ/ρ jest bliski 10^{-5} g/cm³. Podniesienie materiału wymaga więc pionowego gradientu pola ok. 30 T²/cm. Zakładając, że $l \approx 10$ cm jest typowym rozmiarem selenoidu wytwarzającego silne pole magnetyczne i przybliżając $\nabla B^2 \approx B^2/l$ można pokazać, że pole o indukcji ok. 10 T jest wystarczające do podniesienia praktycznie każdego materiału. Intuicja zawodzi z dwóch powodów. Po pierwsze, ignoruje się fakt, że siła, z jaką podnoszony jest przedmiot, rośnie proporcjonalnie do kwadratu indukcji. Po drugie, do podniesienia kawałka żelaza wystarczające jest pole o indukcji poniżej 1 mT, czyli dużo słabsze niż wytwarzane przez zwykły magnes „podkówkę”.



Rys. 1. Lewitujący orzech – układ doświadczalny. W tym przypadku lewitującym obiektem jest orzech laskowy, umieszczony w otworze (o średnicy 3,2 cm) magnesu Bittera wytwarzającego pole 20 T. Gdy pole w środku wynosi ok. 16 T, gradient pola w punkcie lewitacji (blisko szczytu wewnętrznej cewki) jest dokładnie taki, jaki potrzebny jest do zrównoważenia grawitacji na poziomie cząsteczkowym w tym, w sposób oczywisty, „niemagnetycznym” obiekcie. Gdy przyłożone pole wynosi ok. 10 T, orzech staje się słabym magnesem, o indukowanym polu równym ok. 0,1 mT. Związany jest z tym zaskakująco duży prąd krążący w skorupie orzecha – jego natężenie wynosi ok. 1 A. Ten prąd stanowi sumę indukowanych mikroskopowych prądów płynących w atomach i płynie bez strat. Żywe stworzenia nie są więc porażane prądem w czasie lewitacji.

Diamagnetyzm został odkryty przez Michaela Faradaya w roku 1846, lecz nikt wówczas nie myślał, że może on prowadzić do jakichś znaczących efektów. William Thomson (lord Kelvin) odnosząc się do diamagnetyzmu w kontekście „trumny Mahometa” (zgodnie z przekazem, trumna z ciałem Mahometa uniosła się sama w powietrze – przyp. tłum.) miał powiedzieć: „Prawdopodobnie nigdy nie będzie można zaobserwować tego zja-

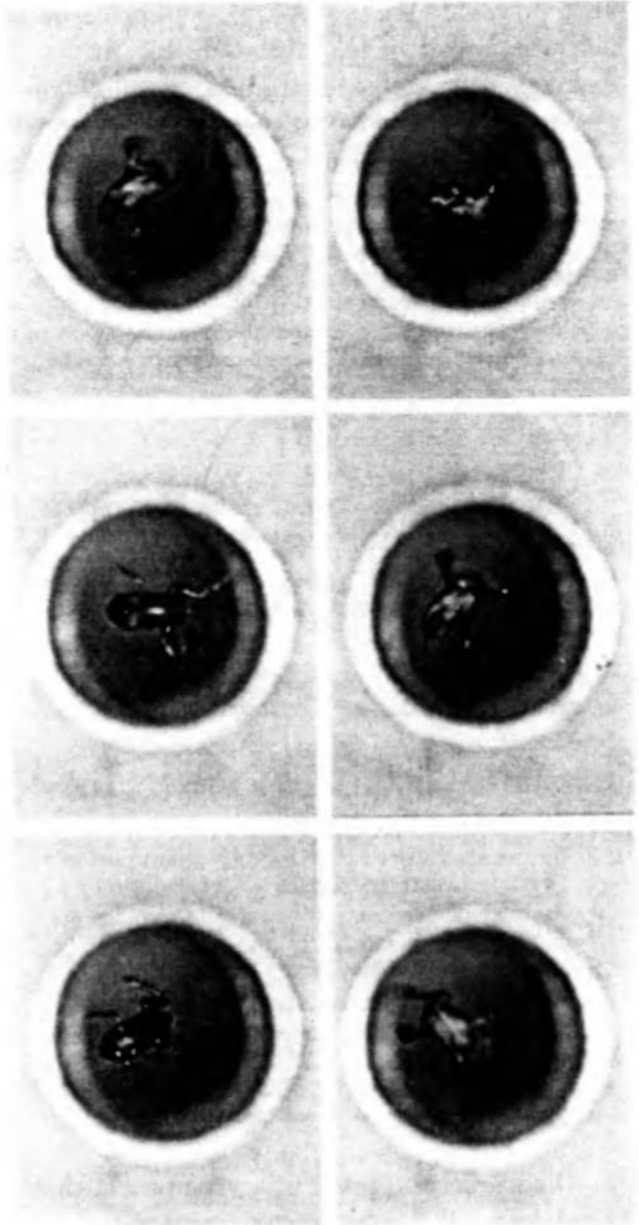
wiska ze względu na trudności ze znalezieniem wystarczająco silnego magnesu i wystarczająco lekkiej diamagnetycznej substancji, gdyż siły magnetyczne są zbyt słabe” [1].

Pola wystarczająco silne do podniesienia substancji diamagnetycznej stały się dostępne w połowie XX w. W roku 1939 W. Braunbeck lewitował małe kawałki grafitu w pionowym elektromagnesie [2]. Grafit ma największą wśród diamagne-

tyków wartość stosunku χ/ρ : 8×10^{-5} g/cm³. Dziś takie doświadczenie można powtórzyć używając silnego stałego magnesu o składzie neodym-żelazo-bor. Pomijamy możliwość lewitacji nadprzewodników, które są idealnymi diamagnetykami – ich lewitację pokazał po raz pierwszy Arkadiew w 1947 r. Minęło pięćdziesiąt lat, zanim powtórnie odkryto możliwość lewitowania zwykłych materiałów w temperaturach pokojowych. W roku 1991 Eric Beaugnon i Robert Tournier zademonstrowali lewitację wody i kilku innych substancji organicznych [3]. Wkrótce potem inni lewitowali ciekły wodór i hel [4] oraz żabi skrzek [5]. W tym samym czasie wspólnie z Janem Keesem Maanem prowadziliśmy badania lewitacji na Uniwersytecie w Nijmegen. Współpracowaliśmy z Humbertem Carmoną i Peterem Mainem z Uniwersytetu w Nottingham w Anglii. W naszych doświadczeniach [6] lewitowaliśmy dosłownie wszystko, co nawinęło się pod rękę: od kawałków sera i pizzy do żywych stworzeń – żab i myszy. Warto podkreślić, że pole magnetyczne, które wykorzystywaliśmy, było dostępne od kilkudziesięciu lat i to nie tylko w naszym, lecz także w innych laboratoriach na świecie. Wymagało to tylko godziny pracy, by przeprowadzić doświadczenie z lewitacją w temperaturze pokojowej. Pomimo to nawet fizycy, którzy na co dzień wykorzystują w swej pracy silne pola magnetyczne, nie dostrzegli tej możliwości. Kiedy po raz pierwszy pokazywaliśmy zdjęcia lewitujących żab (rys. 2), wielu kolegów fizyków potraktowało to jako żart primaaprilisowy.

Jakkolwiek sprzeczna z intuicją może wydawać się lewitacja pozornie niemagnetycznych obiektów, jest jeszcze więcej niespodzianek związanych z tym zjawiskiem. Na przykład, spróbujmy lewitować kawałek żelaza. Można łatwo sprawić, że magnes „podkówka” podniesie kawałek żelaza. Nie można natomiast spowodować jego swobodnego unoszenia się, bez względu na to, jak przemyślną konfigurację magnesów zastosujemy. Żeby zrozumieć, dlaczego tak się dzieje, należy przypomnieć sobie twierdzenie Earnshawa (ostatnio na nowo sformułowane przez Michaela Berry’ego). Zgodnie z nim żaden obiekt złożony z ładunków, magnesów i mas nie może być zawieszony w przestrzeni pod wpływem jakiegokolwiek ustalonej kombinacji sił elektrycznych, magnetycznych i grawitacyjnych [6,7]. Dowód jest prosty. Stan trwałej równowagi magnesu (lub ładunku) umieszczo-

nego w zewnętrznym polu wymaga, by całkowita energia (magnetyczna, elektrostatyczna, grawitacyjna) była minimalna. Jest to jednak niemożliwe, ponieważ energia musi spełniać równanie Laplace’a, którego rozwiązania nie mają izolowanych minimów (ani maksimów), tylko punkty siodłowe. Twierdzenie Earnshawa zostało tak skutecznie zapomniane, że wielokrotnie przedstawiano mi schematy rozwiązań, które miały rzekomo pozwo-



Rys. 2. Swobodnie unosząca się żaba, umieszczona w otworze magnesu wytwarzającego pole do 20 T, takiego jak pokazany na rys. 1. Poza utratą orientacji w przestrzeni, jaka towarzyszy zwykle stanowi nieważkości, żaba – a faktycznie każde żywe stworzenie – zdaje się nie odczuwać żadnych ubocznych skutków, wynikających z przebywania w silnym polu magnetycznym, jak to jest omówione w tekście.

lic na stabilną lewitację magnesów stałych lub paramagnetyków. Oryginalną wersję twierdzenia można rozszerzyć na przypadek materiałów magnetycznych. Substancje paramagnetyczne nie mogą lewitować (chyba że zostaną umieszczone w ośrodku o silniejszych własnościach paramagnetycznych, co uczyni je efektywnie diamagnetykami).

Tylko diamagnetyki mogą „szczyć się”, że ich to nie dotyczy [1,6]. Zaskakujące jest, że Kelvin dostrzegł tę możliwość w roku 1847 – w osiem lat po tym, jak Samuel Earnshaw sformułował swoje twierdzenie – i pokazał w sposób jakościowy, że diamagnetyk może być stabilnie zawieszony w polu magnetycznym. Twierdzenie nie obowiązuje w tym przypadku, ponieważ diamagnetyzm, w swojej istocie zjawisko kwantowe, nie może być opisane przez żadną konfigurację klasycznych magnesów, jak to jest rozważane w przypadku twierdzenia Earnshawa. Można też powiedzieć, że w przypadku diamagnetyzmu kluczową rolę odgrywa ruch elektronów wokół jąder, nie mamy więc do czynienia z ustaloną konfiguracją, o której mówi twierdzenie.

Z faktu, że przedmiot może lewitować, nie wynika, że będzie on lewitował po umieszczeniu go w wystarczająco silnym polu magnetycznym. Właściwe warunki są zaskakująco subtelne; na przykład, zwiększenie natężenia pola magnetycznego tylko o kilka procent może zdestabilizować lewitację i spowodować upadek przedmiotu. Diamagnetyk może lewitować tylko jeśli znajduje się w pobliżu punktu zakrzywienia pionowej składowej pola magnetycznego, gdzie $d^2 B_z / dz^2 = 0$ [6]. Jest to czysto geometryczny warunek, niezależny od indukcji pola. Rozmiary przestrzenne obszaru stabilnej lewitacji są zazwyczaj małym ułamkiem rozmiarów magnesu – np. 2 cm w przypadku półmetrowego magnesu bitterowskiego. Indukcja pola magnetycznego musi być więc precyzyjnie dobrana, by skompensować siłę grawitacji w tym właśnie obszarze. Jeśli pole jest zbyt słabe, przedmiot upadnie, jeśli pole jest za silne, lewitacja będzie niestabilna w kierunku poziomym i tylko ścianki magnesu powstrzymają przedmiot od przesunięcia się w bok, a w konsekwencji od upadku.

Lekkie dotknięcie lub podmuch powietrza mogą łatwo zniszczyć lewitację. Ci, którzy eksperymentowali z lewitacją nadprzewodników wyso-

kotemperaturowych, będą zdziwieni tym stwierdzeniem – nie napotkali oni bowiem takich problemów. Są to doświadczenia łatwiejsze, gdyż wykorzystuje się fakt kotwiczenia linii strumienia magnetycznego wewnątrz nadprzewodnika. Dzięki temu widok lewitującego nadprzewodnika jest tak dobrze znany. Jeśli linie strumienia nie byłyby kotwiczone, tak samo konieczne byłoby precyzyjne dobranie położenia nadprzewodnika i natężenia pola.

Nadzwyczajne własności, pasjonujące zastosowania

Pomysł lewitacji diamagnetyków jest na tyle atrakcyjny, że wielu fizyków, gdy uświadomiło sobie taką możliwość, zaczęło myśleć o wykorzystaniu tego efektu w dziedzinach, którymi się zajmują. Faktycznie, magnesy nadprzewodzące z otworem w środku (w którym panuje temperatura pokojowa) nie są bardzo drogie – zestaw podstawowy kosztuje ok. 100 tys. dolarów. Stwarza to możliwość wykorzystania lewitacji przez różne grupy badaczy.

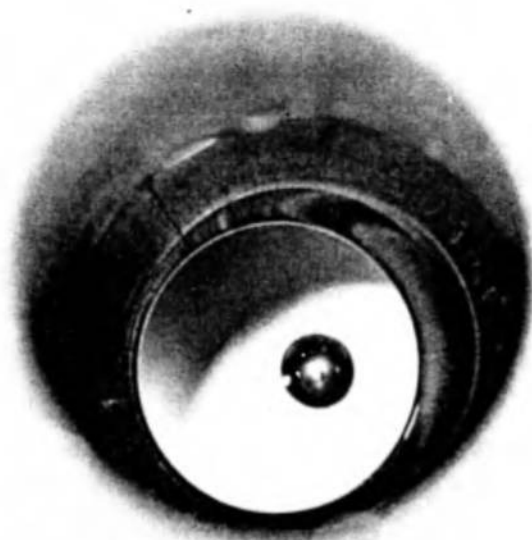
Z punktu widzenia zastosowań pewne cechy lewitacji diamagnetyków są rzeczywiście wyjątkowe. Przede wszystkim lewitacja stwarza możliwość zawieszenia przedmiotu bez żadnego tarcia; parametrami takiego zawieszenia (np. jego sztywnością) można sterować przez odpowiedni dobór profilu pola. Możliwe jest dzięki temu np. projektowanie bardzo czułych grawimetrów lub innych przyrządów geodezyjnych, w których kluczową rolę odgrywa czułość na zmiany natężenia pola grawitacyjnego. Ze względu na prostotę takich urządzeń i łatwość przystosowania do różnych warunków, brak zjawiska skoków strumienia oraz możliwość wykorzystania metod detekcji optycznej mogą one stanowić dużą konkurencję dla urządzeń wykorzystujących lewitację nadprzewodników [8]. Największą i wyróżniającą się zaletą lewitacji diamagnetyków w temperaturze pokojowej jest fakt, że siła powodująca lewitację jest „rozłożona” jednorodnie w całej objętości obiektu – własności tej nie wykazuje lewitacja nadprzewodników [9]. Rzeczywiście, dla jednorodnego materiału w polu o profilu $B^2 \propto z$ grawitacja jest niwelowana na poziomie pojedynczych atomów lub cząsteczek. Pozwala to na symulację warunków mikrogravitacji bezpośrednio

na powierzchni Ziemi. Trzeba jednak pamiętać, że ciągle nie jest to stan idealnej nieważkości. Dzieje się tak, gdyż: 1) nie do uniknięcia jest pewien gradient pola w kierunku poziomym (ponieważ $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$), 2) obecność magnetycznych przedmiotów może zaburzać pole (poziom zaburzenia określa $\mu \approx 10^{-5}$), 3) możliwa jest anizotropia podatności diamagnetycznej. Niemniej jednak w wielu przypadkach dostępność w warunkach ziemskich „stanu nieważkości” jest dużą zaletą, a wspomniane zaburzenia można uwzględnić przez wprowadzanie odpowiednich poprawek. Jest to chyba najlepszy sposób, w jaki możemy zrealizować pomysły z literatury *science-fiction* dotyczące urządzeń „antygrawitacyjnych”.

Obserwując kroplę wody lewitującą nad magne-
sem (rys. 3) od razu można pomyśleć o możliwości badania dynamiki płynów w stanie nieważkości, i to nie na pokładzie statku kosmicznego [10], ale w laboratorium na Ziemi. Podobnie może być z innym doświadczeniem przeprowadzanym często w przestrzeni kosmicznej – wzrostem monokryształów bez użycia tygli. Inny przykład zastosowań to diamagnetycznie zawieszony żyroskop. W naszych niedawno przeprowadzonych doświadczeniach mogliśmy obserwować obrót Ziemi; użyliśmy do tego małej plastikowej piłki lewitującej nad magne-
sem i wprawionej w obrót za pomocą wiązki lasera. Może nie takie to wielkie osiągnięcie, ale już w pierwszym pomiarze błąd rejestrowanego dryfu obrotu Ziemi był na poziomie 0,1% – wynik rekordowo mały w porównaniu ze wszystkimi innymi typami żyroskopów.

Jak się wydaje, magnetyczna mikrograwitacja może być też wykorzystywana do badań złożonych organizmów biologicznych. Kilka grup biofizyków – np. grupa Jamesa Vallesa z Uniwersytetu Browna, grupa Karla Hasensteina z Uniwersytetu Południowo-Zachodniej Luizjany czy Markusa Brauna z Uniwersytetu w Bonn – rozpoczęły badania wpływu mikrograwitacji na rośliny i żywe organizmy. Z punktu widzenia lewitacji diamagnetycznej różne układy biologiczne zachowują się zaskakująco podobnie. Jak się wydaje, bardzo różne składniki, takie jak woda, tkanki, kości, krew, mają wartości stosunku χ/ρ różniące się tylko o kilka procent [11]. Wynika z tego, że w przypadku złożonych, żywych organizmów można skompensować grawitację z dokładnością lepszą niż 0,1g. Ponadto obecność para-

magnetycznych cząsteczek i jonów, np. we krwi, wnosi wkład tylko do średniej podatności. Ich silna reakcja na pole magnetyczne jest osłabiona przez czynnik temperaturowy ($\mu_B B \ll kT$), ruchy Browna i silne sprzężenie z otaczającymi cząsteczkami diamagnetycznymi [11]. Prawdopodobnie ustawianie się długich cząsteczek biologicznych wzdłuż kierunku pola jest zjawiskiem, które zaciemnia efekty rzeczywiście związane z mikrograwitacją, jakie występują w złożonych układach biologicznych [12]. Wpływ tego zjawiska i innych, nie związanych z mikrograwitacją, można sprawdzić umieszczając badany układ w identycznym gradiencie pola, lecz skierowanym poziomo, lub umieszczając go w jednorodnym polu o tym samym natężeniu.



Rys. 3. Unosząca się kulka wody – dynamika płynów w stanie nieważkości jest jedną z dziedzin, w których można zastosować magnetyczną lewitację.

Jest rzeczą interesującą, że oddziaływanie diamagnetyczne można wykorzystać do określenia kierunku wzrostu roślin w przestrzeni kosmicznej. Kielkujące nasienie musi „wiedzieć”, w którym kierunku ma rosnąć, tak aby pędy wydostały się ponad ziemię, zanim zostaną wyczerpane ograniczone zasoby nasienia. Przeprowadzane przez grupę Hasensteina doświadczenia w warunkach ziemskich [13] pokazały, że nawet słaby, stały magnes wystarczy do wskazania kierunku pożądanego wzrostu ziaren na pokładzie statku kosmicznego.

Ważnym aspektem badań jest wpływ, ciągle nieznan, silnych pól magnetycznych na żywe organizmy. Wydaje się, że ten wpływ nie jest duży. W badaniach związanych ze stosowaniem silnych pól magnetycznych w medycynie ochotnicy spędzali 40 godzin, mając całe ciało poddane wpływowi pola o indukcji 4 T. Nie stwierdzono żadnych skutków ubocznych [11]. Podobne badania prowadzone ostatnio w Uniwersytecie Stanu Ohio, w których stosowano pola do 8 T, według relacji Johna Schencka z General Electric Corporate Research and Development Center w Schenectady (USA), również potwierdziły te wnioski. Tak więc gdy uczeni z Uniwersytetu Browna zaobserwowali nienormalny rozwój embrionów żab w warunkach mikrogravitacji, powiązali je – zapewne słusznie – z wpływem stanu nieważkości, a nie z wpływem silnego pola magnetycznego.

Na koniec powróćmy do dziecka, które chciałoby lewitować. Jakkolwiek jest to prowokujące, przedyskutujmy tę możliwość. Tak na marginesie, pewien przywódca sekty religijnej w Anglii oferował milion funtów za urządzenie, które umożliwiłoby jego lewitację na oczach członków jego sekty [14]. Natężenie pola magnetycznego konieczne do zapewnienia jednorodnej wartości ∇B^2 rośnie z objętością rozważanej przestrzeni. Istniejące magnesy Bittera i magnesy nadprzewodzące są w stanie lewitować obiekty o średnicy kilku centymetrów. Zgodnie z opinią projektantów magnesów z National High Magnetic Field Laboratory w Tallahassee na Florydzie, istniejące technologie umożliwiają lewitację obiektów o średnicy do 15 cm. Jednakże lewitacja człowieka wymagałaby

magnesu wytwarzającego pole o indukcji 40 T i mającego stały pobór mocy około 1 GW. Tak więc, mimo że lewitacja stała się bardzo popularna wśród naukowców, dziecko oraz przywódca sekty będą musieli skorzystać na razie z metod bardziej konwencjonalnych (i robiących mniejsze wrażenie) – tak jak np. lewitacja za pomocą śmigłowca.

Tłumaczył Andrzej Wiśniewski
Instytut Fizyki PAN
oraz Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Literatura

- [1] W. Thomson (lord Kelvin), *Reprints of Papers on Electrostatics and Magnetism* (MacMillan, London 1872).
- [2] W. Braunbeck, *Z. Phys.* **112**, 735 (1939).
- [3] E. Beaunon, R. Tournier, *Nature* **349**, 470 (1991); *J. Phys. III* **1**, 1423 (1991).
- [4] M.A. Weilert, D.L. Whitaker, H.J. Maris, G.M. Seidel, *Phys. Rev. Lett.* **77**, 4840 (1996).
- [5] J.M. Valles, K. Lin, J.M. Denegre, K.L. Mowry, *Biophys. J.* **73**, 1130 (1997).
- [6] M.V. Berry, A.K. Geim, *Eur. J. Phys.* **18**, 307 (1997).
- [7] T.B. Jones, *J. Appl. Phys.* **50**, 5057 (1979).
- [8] D.E. Smylie, *Science* **255**, 1678 (1992).
- [9] E.H. Brandt, *Science* **243**, 349 (1989).
- [10] R.E. Apfel i in., *Phys. Rev. Lett.* **78**, 1912 (1997).
- [11] J.F. Schenck, *Ann. NY Acad. Sci.* **649**, 285 (1992).
- [12] G. Maret, *Physica B* **164**, 205 (1990) – praca przeglądowa.
- [13] O.A. Kuznetsov, K.H. Hasenstein, *Planta* **198**, 87 (1996).
- [14] List można przeczytać na stronie internetowej: www.sci.kun.nl/hfml/levitation-pubres.html.

Akustyka sal koncertowych: na styku fizyki i psychologii*

Manfred Schroeder

AT&T Bell Laboratories, USA oraz III Physikalisches Institut, Universität Göttingen, Niemcy

Acoustics of concert halls: physical and psychological aspects

Abstract: Why the acoustics of the modern concert halls is often poor? Why voice in some ancient structures – e.g. Greek amphitheatres – sounds so great? Or have only the best ones remained? Survival of the fittest?

1. Wstęp

Dlaczego nowoczesne sale koncertowe mają często kiepską akustykę? Dlaczego niektóre stare budowle – na myśl przychodzi amfiteatry greckie – charakteryzuje wspaniałe brzmienie? Czy może przetrwały tylko najbardziej udane?

Kłopoty z brzmieniem muzyki w salach biorą się stąd, że akustyka pomieszczeń jest związana z trzema nakładającymi się na siebie problemami, z których żaden nie jest łatwy do rozwiązania:

— Zagadnienie fizyczne („Jak rozprzestrzenia się dźwięk w pomieszczeniu pogłosowym?”) wiąże się z matematycznym problemem niecałkowalnych układów chaotycznych. Rozwiązanie równania falowego dla pomieszczenia dokładnie prostokątnego lub o kształcie półkuli jest trywialne. Rozważmy jednak rzeczywiste kształty pomieszczenia, wypełnionego ponadto ławkami, krzesłami i ludźmi; wtedy równanie falowe znacznie się rozbudowuje.

— Zagadnienia psychoakustyczne („Co właściwie sływać?”) stanowią przedmiot psychofizyki

z wieloma pytaniami bez odpowiedzi, szczególnie w odniesieniu do słuchania muzyki i zjawisk pogłosowych.

— Odpowiedź na pytanie natury subiektywnej („Jak brzmiącej muzyki chcieliby odbiorcy najchętniej słuchać?”) jest szczególnie zawiła i zależy oczywiście od osobistych upodobań.

Pomimo tych wielorakich problemów, w ostatnich latach osiągnięto wiele sukcesów, wykorzystując symulacje i najszybsze komputery oraz – o dziwo – zręczne zastosowanie teorii liczb. Wpiew jednak krótka historia czasu pogłosu.

2. Czas pogłosu

Najważniejszym parametrem charakteryzującym własności akustyczne pomieszczenia jest czas pogłosu T_{60} , definiowany jako przedział czasowy, w którym energia akustyczna w pomieszczeniu – bez dostarczania nowych porcji energii – spadnie do wartości jednej milionowej części energii początkowej, a więc zmniejszy się o 60 dB. Wallace Clement Sabine, profesor Uniwersytetu Har-

* Artykuł „Die Akustik von Konzertsälen: Physik und Psychophysik”, opublikowany w *Physikalische Blätter* 55, nr 11, 47 (1999), został przetłumaczony za zgodą Autora i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1999 by WILEY-VCH Verlag GmbH] (przyp. Red.).

varda, zmierzył na przełomie XIX i XX w. za pomocą stopera czas pogłosu dźwięku organowego do chwili, gdy przestał go słyszeć. Siedział przy tym w beczcze, by swoją osobą nie pochłaniać dodatkowo dźwięku. Okazało się później, że zmierzył zmniejszenie energii dźwiękowej w stosunku 1:10⁶. Czas pogłosu w salach koncertowych o dobrej akustyce wynosi najczęściej ok. 1,8 s, z lekkim wzrostem wartości w paśmie niskich częstotliwości. Jest to wartość idealna dla repertuaru klasycznego i romantycznego. Muzyka organowa brzmi często lepiej w pomieszczeniach o czasie pogłosu dłuższym niż 4 s, który dominuje w wielu dużych kościołach i katedrach. W niektórych nowoczesnych salach koncertowych siedzenia są tak skonstruowane, że niezależnie od tego, czy ktoś na nich siedzi, czy też nie, jednakowo pochłaniają dźwięk. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie prób również bez publiczności.



Rys. 1. Autor w kabine bezchowej Laboratorium Bella w czasie pomiarów własności akustycznych sztucznej głowy, zaprojektowanej w Instytucie Fizyki III w Getyndze. Sztuczna głowa jest używana w nagraniach dźwięku realizowanych w rzeczywistych salach koncertowych (zdjęcie: Bell Laboratories).

3. Statystyczne pola falowe

Z upływem lat okazało się, że sam czas pogłosu nie wystarcza do scharakteryzowania jakości akustycznej pomieszczeń. Obok wielu innych równie nieadekwatnych kryteriów w roku 1950 wzięto

pod uwagę również fluktuacje statystyczne „krzywych częstościowych” pomieszczeń. Fluktuacje te wynikają stąd, że w każdym pomieszczeniu pogłosowym, w którym rozbrzmiewa dźwięk, interferują ze sobą statystycznie fale o różnych drogach propagacji. Autor tego artykułu, wtedy jeszcze doktorant w Getyndze, wykazał, że fluktuacje te zależą od jednego tylko parametru, właśnie czasu pogłosu. Oznacza to, że reakcją pomieszczenia (w dowolnym jego punkcie) na wzbudzenie sinusoidalne są zmiany ciśnienia powietrza, tj. ciśnienie akustyczne, wyrażone wielkością zespoloną. Jeśli częstość wzbudzenia zmienia się powoli, to amplitudę i fazę ciśnienia dźwięku można przedstawić jako funkcję tej częstości, przy bardzo ogólnym warunku – powyżej „częstości Schroedera” f_c widmo energii ma rozkład normalny i zanika wykładniczo, tak jak pogłos; mówi się wtedy o zespolonym procesie gaussowskim. Częstość krytyczna f_c wynika z warunku, by powyżej niej pobudzenie pojedynczą częstością wzbudzało w pomieszczeniu równocześnie przynajmniej trzy rezonanse, które będą interferowały ze sobą statystycznie (z przypadkową fazą). Korzystając ze wzoru Weyla, który pozwala oszacować liczbę drgań własnych w pomieszczeniu trójwymiarowym, można wyznaczyć f_c

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{T_{60}}{V}} \text{ [Hz]}, \quad (1)$$

gdzie T_{60} – czas pogłosu (w sekundach), a V – objętość pomieszczenia (w m³). Dla $T_{60} = 1,8$ s i $V = 10^3$ m³ zakres stosowalności teorii statystycznej pola akustycznego definiuje się dla częstości powyżej 85 Hz. Wprowadzając do wzoru (1) krytyczną długość fali λ_c , otrzymuje się równanie bezwymiarowe, obowiązujące dla każdego układu jednostek:

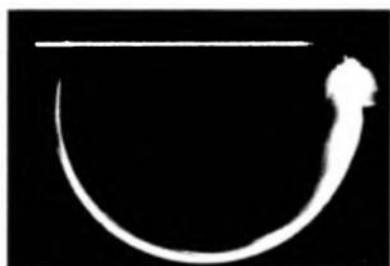
$$\lambda_c = \sqrt{\frac{A}{6}}, \quad (2)$$

gdzie A jest całkowitą absorpcją pomieszczenia, wyrażoną przez równoważną „powierzchnię otwartego okna”. Pomieszczenie o polu powierzchni $A = 1000$ stóp kwadratowych ma krytyczną długość fali $\lambda_c = 13$ stóp (obliczenia wykorzystujące stopę jako miarę długości są w akustyce pomieszczeń wygodne, bo długość 1 stopy odpowiada czasowi rozprzestrzeniania się dźwięku równemu 1 ms). Fizycznie λ_c odpowiada odległości od źródła dźwięku w kształcie kuli, w której

intensywność dźwięku bezpośredniego i odbitego są równe¹.

4. Akustyka geometryczna – promienie dźwiękowe

Równanie falowe nie ma analitycznego rozwiązania dla większości pomieszczeń spotykanych w praktyce, dlatego też rozpowszechnił się przybliżony opis rozprzestrzeniania się dźwięku poprzez promienie dźwiękowe. W analogii do optyki geometrycznej powstała akustyka geometryczna, pomimo że założenie, iż długość fali jest mniejsza od wymiarów liniowych pomieszczenia, nie jest w akustyce tak dobrze spełnione jak w optyce. Rysunek 2 pokazuje piękny przykład demonstracji, symulującej rozprzestrzenianie się dźwięku poprzez promienie świetlne w galerii szeptów (np. wzdłuż kopuły Bazyliki św. Piotra w Watykanie).



Rys. 2. Rozprzestrzenianie się dźwięku w galerii szeptów, symulowane promieniami świetlnymi. Fale dźwiękowe podążają za zakrzywieniami ścian – wydają się „przyklejone” do ściany. Dzięki temu również dźwięki o bardzo małej intensywności (szepty) przenoszone są na bardzo duże odległości i wciąż jeszcze słyszalne. Bardzo znany przykład tego efektu: kopuła bazyliki św. Piotra w Watykanie.

Także teoria czasu pogłosu w dużej mierze wykorzystuje pojęcie promieni dźwiękowych. Można łatwo wykazać, że średnia długość drogi swobodnej L impulsu dźwiękowego, przy izotropowym rozkładzie kierunków, wyraża się wzorem

$$L = \frac{4V}{S}, \quad (3)$$

gdzie: V – objętość, S – pole powierzchni pochłaniającej (co ciekawe, Sabine zakładał na podsta-

wie swoich doświadczeń z pogłosem dźwięku organowego, że $L \propto V^{1/3}$). Wynikająca ze wzoru (3) reguła określająca czas pogłosu, zwana regułą Eyringa–Waetzmanna–Schustera, ma postać

$$T_{60} = \frac{55,3 V}{caS}, \quad (4)$$

gdzie: c – prędkość propagacji dźwięku, $a = -\ln(1 - \alpha)$ – „wykładnik absorpcyjny”; α jest współczynnikiem pochłaniania absorbenta.

Reguła ta (lub przybliżenie Sabine’a, w którym a jest zastąpione przez α) nie jest złym przybliżeniem, chociaż pomija rozkład przestrzenny absorbenta (w sali koncertowej jest nim głównie publiczność). Uwzględnia ona tylko pierwsze momenty statystyczne rozkładu długości drogi propagacji (uśrednione długości drogi swobodnej), pomijając równie ważne wyższe momenty (wariancja i wyższe kumulanty). Lepsze wyniki dla wartości czasu pogłosu otrzymuje się dzisiaj przez rozwiązanie równania całkowego, dla którego istnieją efektywne algorytmy, uwzględniające kształt pomieszczenia, miejsca siedzące itd.

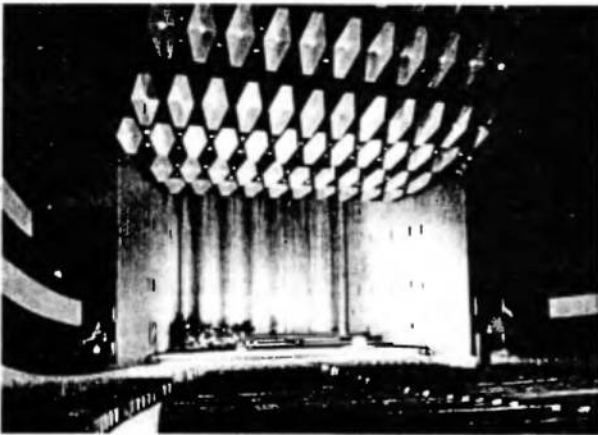
Coraz bardziej upowszechnia się również symulacja komputerowa rozprzestrzeniania się dźwięku w salach. Symulacje takie wykazały, że dla określonego pomieszczenia i niezmienniej całkowitej absorpcji możliwe są zmiany czasu pogłosu aż o 40%, w zależności od przestrzennego rozmieszczenia absorbenta. Obecnie jest już możliwe symulowanie cyfrowe sal koncertowych na etapie ich projektowania, „odsluchania” w nich dźwięku i uniknięcia dzięki temu bardzo kosztownej przebudowy (zmiany w programie komputerowym są oczywiście znacznie prostsze i mniej kosztowne niż dodatkowe przebudowy architektoniczne).

5. Philharmonic Hall w Nowym Jorku

Innym, w pierwszej fazie bardzo obiecującym ze względu na kryterium jakości sali parametrem uzupełniającym czas pogłosu jest tzw. opóźnienie początkowe (ang. initial time gap), zdefiniowane przez L. Beranka. Jest to interwał czasowy między chwilą usłyszenia dźwięku bezpośredniego

¹ Przedstawiona tutaj statystyczna teoria pola akustycznego przyniosła młodemu wtedy (1954) autorowi nieoczekiwaną sławę i serdecznie przyjęte przez niego zaproszenie do zakładu badawczego Bell Laboratories. Zachęty do dalszej pracy nad tym problemem nie przyjął on jednak serio. Z typową dla młodych arogancją myślał, że „wszystkie problemy są już rozwiązane”. Dzisiaj, w 50 lat później, teoria statystyczna pola akustycznego jest podstawą działania laserów, holografii (wzory plamkowe) i telefonów bezprzewodowych („komórki”).

i pierwszego dźwięku odbitego od sufitu. W dużych salach ta różnica czasu może dochodzić do 40 ms, co jest szkodliwe dla akustyki sali. Philharmonic Hall w Centrum Lincolna w Nowym Jorku, zbudowana w 1962 r. według założenia minimalizującego opóźnienie początkowe okazała się pod względem akustyki katastrofą (rys. 3). W szczególności ledwo było słyszeć wiolonczelę w paśmie poniżej 250 Hz; mówiono o „efekcie filmu niemego”, co na pewno nie jest komplemencem dla sali koncertowej. Co gorsza, niektórzy sławni dyrygenci, m.in. George Szell, grozili „przejściem do konkurencji”, tzn. że będą dalej koncertować w sprawdzonej i wypróbowanej Carnegie Hall (choć Leonard Bernstein, muzyczny „gospodarz” Philharmonic Hall, nie narzekał; oficjalnie nigdy jej nie krytykował).



Rys. 3. Philharmonic Hall w Nowym Jorku. Na suficie widoczne są sześciokątne panele, które powinny zapewniać pożądane odbicie dźwięku o krótkim czasie propagacji. Rozmiary ich były jednak zbyt małe, by mogły odbić składowe o niskich częstotliwościach. W efekcie dla dźwięku wiolonczeli powstawał efekt „filmu niemego”. Umieszczenie paneli doprowadziło do powstania pomieszczenia o strukturze kryształu z minimum Bragga dla fal odbitych w kierunku parkietu, o częstotliwości 259 Hz (zjawiska tego nie można było przewidzieć).

E. Meyerowi i H. Kuttruffowi z Getyngi, dzięki precyzyjnym pomiarom na pomniejszych modelach sufitu udało się wykazać, że reflektory akustyczne, które powinny gwarantować krótkie przerwy czasowe, nie były w stanie odbić muzycznie najważniejszych dźwięków o niskich częstotliwościach. W tym samym czasie autorowi razem z G. Sesslerem, obecnie z Darmstadtu, i J. Westem udało się, przy wykorzystaniu po raz pierwszy komputera, zlokalizować przyczyny

„efektu filmu niemego” w sali filharmonii w Nowym Jorku. Analiza komputerowa funkcji transmisji pozwoliła również, dzięki wysokiej zdolności rozdzielczej czasowej i częstościowej (bliskim granicom wynikającym z zasady nieoznaczoności Heisenberga), wyodrębnić inne niezwykle efekty z „chaosu akustycznego” pogłosu dużych pomieszczeń, np. przeszkadzające echa od balustrad balkonów (które skupiały się akurat na miejscu zajmowanym zwykle przez krytyka muzycznego gazety *New York Times*, Harolda Schoenberga).

W wyniku analizy akustycznej danych z tej sali zaproponowano nową procedurę pomiaru czasu pogłosu, opartą na pobudzaniu pomieszczenia deterministycznym, wynikającym z teorii ograniczonego ciała liczbowego, pseudolosowym ciągiem impulsów. Eliminuje się w ten sposób niepewności istniejące przy stosowaniu wzbudzenia szumem termicznym.

6. Dźwięk boczny

W wyniku bardzo obszernych badań, finansowanych przez Deutsche Forschungsgemeinschaft i prowadzonych w 22 europejskich oraz amerykańskich salach, autor wraz ze swoimi współpracownikami (D. Gottlobem i F.K. Siebrassem) mógł w roku 1972 ostatecznie potwierdzić wagę, jaką ma dla korzystnej percepcji słuchowej dźwięk docierający do słuchacza z boku. Tego właśnie brakuje wielu nowoczesnym salom, które są stosunkowo szerokie, z nisko zawieszonym sufitem, faworyzującym niekorzystny dźwięk dochodzący wprost od strony sceny. Stare sale, jak słynna Wiener Musikvereinsaal, są dość wysokie; dzisiaj wymaganej ilości powietrza dostarczają urządzenia klimatyzacyjne. W takich salach odbiera się wrażenie dźwięku „monofonicznego”, izolujące publiczność od muzyków i nie dające pożądanego efektu jej „zanurzenia” w muzycznej tkance.

7. Dyfuzor oparty na teorii liczb

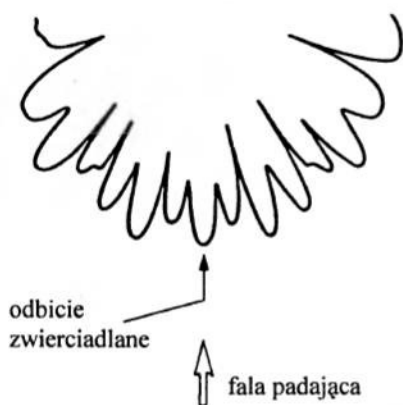
Powstaje pytanie, czy możliwe jest wzmocnienie bocznych odbić w sali o danej geometrii (szeroka i płaska)? Odpowiedzią jest wprowadzenie sufitu w postaci akustycznej siatki odbiciowo-fazowej, z możliwie dużym kątem rozpraszania. I w tym przypadku teoria liczb dostarcza eleganckiego rozwiązania. Dzisiaj w praktyce naj-

częściej stosowana zasada opiera się na badaniach przez Gaussa resztach kwadratowych modulo liczba pierwsza. Na przykład, dla liczby pierwszej $p = 7$ reszty kwadratowe liczb naturalnych $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ modulo 7, są równe odpowiednio $r_n = 1, 4, 9 \equiv 2, 16 \equiv 2, 25 \equiv 4, 36 \equiv 1, 49 \equiv 0$. Jeśli te reszty kwadratowe przekształcić we współczynniki fazowe $\phi_n = \exp(2\pi i r_n/p)$ i zrealizować fizycznie jako okresową siatkę odbiciową (rys. 4), to odpowiedni wykres rozkładu



Rys. 4. Dyfuzor fazowy polepszający rozkład kątowy promieni dźwiękowych, oparty na resztach kwadratowych liczb naturalnych $1, 2, 3, \dots$ modulo liczba pierwsza 17. Zagłębienia w suficie, które powtarzają się z okresem 17, wzbudzają oczekiwane przesunięcie fazy fali padającej, co prowadzi do tego, że energia dźwięku odbitego ulega rozproszeniu w szerokim kącie.

kąowego rozproszenia wstecznego ma postać szerokiego wachlarza (rys. 5). Przybliżenie Kirch-



Rys. 5. Diagram rozproszenia wstecznego dyfuzora z rys. 4. Widać szerokie, wachlarzowe rozproszenie wsteczne z prawie jednakową ilością energii w różnych kierunkach ugięcia. Tego typu dyfuzor znajduje obecnie różnorodne zastosowanie w salach koncertowych, studiach nagrań, kościołach i salach wykładowych – zawsze wtedy, gdy zachodzi potrzeba „złagodzenia” zakłócających „twardych” odbić od ścian (patrz M.R. Schroeder, *Number Theory in Science and Communication*, wyd. 3 (Springer, 1999)).

hoffa w tym przypadku daje takie same wartości energii dla różnych rzędów odbić. Zespolone

współczynniki fazy ϕ_n są w matematyce znane jako pierwiastki pierwotne z jedynki. Odegrały one ogromną rolę przy próbach przeprowadzenia dowodu twierdzenia Fermata ($x^n + y^n \neq z^n$ dla $n > 2$ i $x, y, z \neq 0$) i są podstawowym pojęciem w algebraicznej teorii liczb, stanowiącej ważną gałąź matematyki, która pierwotnie ograniczała się tylko do liczb rzeczywistych i całkowitych (klasyczna, „euklidesowa” teoria liczb).

8. Akustyka pomieszczenia zmieniana elektronicznie – układy głośnikowe

W czasach elektroniki i postępującej obróbki cyfrowej wydaje się możliwa w przyszłości realizacja życzenia, by istniały pomieszczenia o zmiennej akustyce dla różnego rodzaju muzyki lub mowy. Wpływanie na akustykę pomieszczenia na drodze elektronicznej poprzez układy mikrofonów i głośników celem polepszenia zrozumiałości mowy w dużych salach jest szeroko stosowane. Często jednak te elektroakustyczne systemy nie są prawidłowo wyregulowane:

— Często zbyt duże jest wzmocnienie niskich częstotliwości (basów), w wyniku czego zmniejsza się zrozumiałość mowy. Niskie częstotliwości (duże długości fali) nie są przez kolumny głośnikowe o właściwościach kierunkowych ogniskowane na publiczności. Wręcz przeciwnie, owe szkodliwe składowe częstotliwości „kręcą się” w sposób nie ukierunkowany w pomieszczeniu i zakłócają zrozumiałość mowy, której sprzyjają wysokie częstotliwości (powyżej 500 Hz). Proste „skręcenie w dół” basów przyniosłoby często znaczne polepszenie, ale to się nie zdarza: w końcu wzmacniacz i głośniki kosztowały wiele pieniędzy.

Często kolumny głośnikowe obrócone są o 90° , leżą zatem poziomo, jak w hali miejskiej w Getyndze, a więc dobre ukierunkowanie dźwięków osiągnięte zostaje tylko w niewielu miejscach.

— Zdarza się zwrotne sprzężenie akustyczne (dzwonienie lub nawet gwizdanie). Również przeciw temu istnieje sprawdzony od lat sposób, mianowicie małe przesunięcie częstotliwości (ok. 5 Hz) dźwięków emitowanych przez głośniki. W ten sposób charakterystyki transmisji pomieszczenia, leżące w obszarze niestabilnych sprzężeń częstotliwości maksimów, zostają przesunięte w sąsiadujące minima.

9. Katedra św. Pawła w Londynie

Kolejna wada konwencjonalnych systemów głośnikowych to złe lokalizowanie źródeł dźwięku: głos mówcy dochodzi z najbliższego głośnika zamiast z ust mówcy. Również i w tym przypadku nowoczesna akustyka ma środek zaradczy: odkryty przez E. Meyera i H. Hassa tzw. efekt Hassa, który polega na tym, że przy niewielkim opóźnieniu dźwięku z głośnika (ok. 10 ms) słuchacz odbierze dźwięk jako pochodzący nie z głośnika, lecz ze źródła pierwotnego (ust mówcy). Po raz pierwszy układ głośników z opóźnionym dźwiękiem został z wielkim rozmachem i sukcesem użyty w katedrze św. Pawła w Londynie.

10. Filharmonia w Berlinie

Wiele nowych sal koncertowych cierpi na zbyt mały czas pogłosu dla niskich częstotliwości. Przyczyną tego jest często korzystanie ze złych wzorów przy obliczeniach czasów pogłosu, tak jak w przypadku filharmonii w Berlinie („Cyrk Karajana”). W Berlinie udało się akustykowi L. Cremerowi uratować sytuację poprzez zasłonięcie wbudowanych w sufit rezonatorów Helmholtza, tłumiących niskie częstotliwości i swobodne zawieszenie rozpraszających dźwięk paneli z pleksiglasu nad miejscem dla orkiestry.

11. Royal Festival Hall w Londynie

W sali Royal Festival Hall w Londynie niedobór w zakresie czasu pogłosu dla niskich częstotliwości (poniżej 300 Hz) był tak duży, że postanowiono zamontować w suficie sali głównej (3000 miejsc) parę setek głośników, zasilanych z wielu mikrofonów, filtrów akustycznych i wzmacniaczy. Ta akcja ratowania sytuacji zakończyła się dla Royal Festival Hall dużym sukcesem – częściowo osiągniętym poprzez bardzo zręczną zagrywkę psychologiczną. Zmiany utrzymywane były przed prasą w tajemnicy i dopiero gdy londyńscy krytycy muzyczni stwierdzili oficjalnie istotne polepszenie („wydaje się, że drewno się postarzało” itp.), budowniczy (zarząd miasta Londynu) ogłosił prawdę. Można sobie wyobrazić, co by się wydarzyło, gdyby krytycy od początku wiedzieli, że słuchali przez głośniki (w sali koncertowej!).

12. Pomieszczenia wirtualne

Od urządzeń wzmacniających w Festival Hall w Londynie do sztucznego pogłosu jest tylko krok. W szczególności w odniesieniu do sal o wielu przeznaczeniach istnieje dzisiaj tendencja budowania pomieszczeń dla mowy (centra kongresowe, teatry), a konieczny dla muzyki pogłos rozbudowuje się sztucznie. Przykładem takiej tendencji jest duża sala kongresowa na moskiewskim Kremlu (6000 miejsc siedzących) przeznaczona do przemówień (Chruszczow i następcy), a która obecnie coraz częściej używana jest do koncertów i przedstawień operowych (teatr „Bolszoj” jest pomimo swojej nazwy za mały, by pomieścić wszystkich chętnych). By przystosować salę kremlowską do muzyki, dźwięk ze sceny i orkiestry „zaopatrzony” zostaje w wystarczający pogłos w pomieszczeniach piwnicznych, a następnie poprzez głośniki „przepompowywany” do sali głównej. Dzisiaj ten pogłos byłby wzbudzany oczywiście na drodze czysto elektronicznej.

To właśnie wydaje się przyszłością akustyki pomieszczeń – coraz więcej elektronicznie wzbudzonego dźwięku, również – Boże miej litość! – w salach koncertowych i operowych. Dokładnie w tym duchu wprowadzono „architekturę elektroniczną”, jak to się pięknie mówi, 11 września 1999 r., wraz z operą Pucciniego „Madame Butterfly” do New York State Theater (2700 miejsc siedzących). Od momentu otwarcia jesienią 1999 r. salę wspomaga ok. 40 mikrofonów ukrytych w pobliżu sceny i ponad 100 niewidocznych głośników rozmieszczonych w całym pomieszczeniu przez holenderską firmę Acoustic Control Systems.

Na zakończenie można powiedzieć, że akustyka sal koncertowych, pomimo wielu nieodłącznych trudności, poczyniła w minionych latach duże postępy. Należy mieć nadzieję, że przeżywanie muzyki w otoczeniu ludzi i bezpośrednim kontakcie z artystami ma wciąż jeszcze przyszłość.

Tłumaczył z języka niemieckiego

Edward Hojan

Instytut Akustyki UAM
Poznań

Doświadczenia wprowadzające do teorii zjawisk chaotycznych

Stanisław Bednarek

Uniwersytet Łódzki

Introductory experiments to theory of chaotic phenomena

Abstract: Simple experiments demonstrating chaotic oscillations and their characteristic properties are presented. Construction and possibilities of using different kinds of pendulums in these experiments are also discussed.

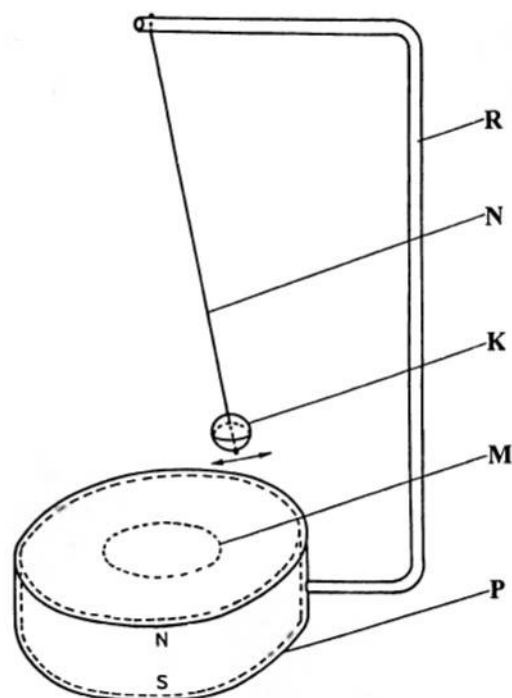
1. Wstęp

Teoria zjawisk chaotycznych jest jednym z interesujących i dynamicznie rozwijanych działów fizyki współczesnej. Osiągnięcia jej mają istotne znaczenie nie tylko poznawcze, ale również praktyczne dla różnych dziedzin techniki i nauk przyrodniczych, np. biologii, chemii czy meteorologii [1,2]. Z tych powodów celowe jest uwzględnienie niektórych podstawowych pojęć i idei teorii zjawisk chaotycznych podczas kursu mechaniki lub bardziej zaawansowanego wykładu wstępu do fizyki w szkołach wyższych. W niniejszym artykule opisano kilka prostych doświadczeń umożliwiających pogłębione wprowadzenie do tej teorii.

2. Wahadło magnetyczne

Na rysunku 1 przedstawione zostało wahadło pozwalające na badanie ruchów chaotycznych. Wahadło to składa się ze stalowej kulki K o średnicy 8–10 mm, pochodzącej np. ze zużytego łożyska kulkowego. Kulki takie można łatwo zakupić w sklepach z artykułami metalowymi. Kulkę zawieszono na cienkiej nici N przywiązanej do górnego końca pionowej ramki R w kształcie litery C. Ramkę tę wykonano z aluminiowego pręta o śred-

nicy ok. 5 mm. Dolny koniec ramki nagwintowany i przykręcono dwiema nakrętkami do podstawy P.



Rys. 1. Wahadło magnetyczne; objaśnienia w tekście.

Na podstawę bardzo dobrze nadaje się plastikowa zakrętka od słoika o średnicy 8–10 cm i wysoko-

ści 1,5–2 cm. Od dołu podstawę można dodatkowo zamknąć wciskaniem w nią krążkiem wykonanym z plastiku lub sklejki. Wewnątrz podstawy umieszczamy ceramiczny magnes M w kształcie pierścienia, pochodzący z uszkodzonego głośnika elektrodynamicznego. Długość nici powinna być tak dobrana, żeby kulka w najniższym położeniu przechodziła kilka milimetrów nad podstawą.

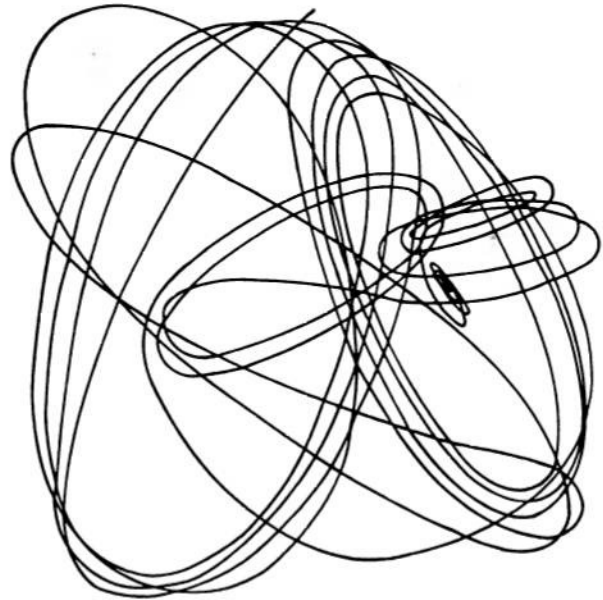
Pierwsze doświadczenie wykonujemy bez magnesu wewnątrz podstawy. Kulkę zawieszoną na nici odchylamy o kilka stopni od pionu i puszczone swobodnie. Kulka zachowuje się jak wahadło matematyczne i wykonuje słabo tłumione drgania harmoniczne. Drgania te odbywają się w jednej płaszczyźnie, wyznaczonej przez kierunek początkowego odchylenia kulki. Jeżeli powtórzmy doświadczenie, odchylając kulkę o taki sam kąt i w tym samym kierunku, to drgania będą miały taki sam przebieg. Niewielka zmiana kierunku lub kąta początkowego odchylenia kulki powoduje również proporcjonalnie niewielką zmianę odpowiednio płaszczyzny drgań lub amplitudy. Zaobserwowane prawidłowości wskazują, że drgania kulki mają charakter regularny.

Następnie wewnątrz podstawy umieszczamy magnes pierścieniowy. Ponownie odchylamy kulkę od położenia równowagi i puszczone swobodnie. Zauważamy, że w tym przypadku charakter drgań kulki jest zupełnie inny. Zarówno kierunek drgań, jak i wychylenie ulegają dużym i nieoczekiwanym zmianom. W wyniku tego kulka porusza się po torze o bardzo skomplikowanym kształcie. Rzut jednego z takich torów na płaszczyznę podstawy przedstawiono na rys. 2.

Jeżeli teraz zmienimy nieco kierunek lub kąt początkowego odchylenia kulki, to okaże się, że kształt jej toru ulegnie znacznym zmianom i nie będzie podobny do zaobserwowanego poprzednio. Spróbujmy także zbadać powtarzalność wyników doświadczenia. W tym celu zaznaczmy na podstawie początkowe położenie kulki, np. za pomocą kropki. Dwukrotnie puszczone swobodnie kulkę dokładnie z zaznaczonego położenia początkowego. Okazuje się, że tory ruchu kulki różnią się znacznie między sobą i bardzo trudno jest uzyskać powtarzalność ich kształtu [3].

Obserwacje w drugiej części doświadczenia wskazują, że drgania kulki zawieszanej nad magnesem są przykładem drgań chaotycznych (nieregularnych). Pole magnetyczne wytwarzane przez

magnes ma wprawdzie symetrię osiową, ale składowe jego indukcji zmieniają się w sposób nieliniowy wraz z odległością od magnesu. Występowanie nieliniowości jest właśnie jedną z przyczyn zjawisk chaotycznych [4]. W celu poprawy widoczności toru kulki dla dużej liczby słuchaczy opisane wahadło można ustawić pod zwierciadłem płaskim nachylonym pod kątem 45° do poziomu albo umieścić nad wahadłem kamerę telewizyjną przesyłową połączoną z monitorem.

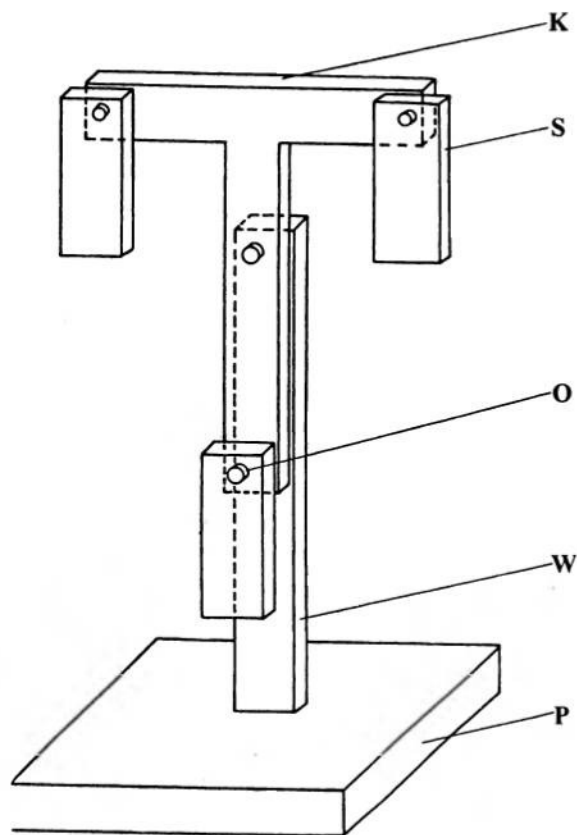


Rys. 2. Jeden z zaobserwowanych torów kulki wykonującej drgania nad magnesem.

3. Wahadło Todda

Innym przyrządem umożliwiającym badanie właściwości drgań chaotycznych jest wahadło Todda, którego budowę przedstawiono na rys. 3. Jego głównym elementem jest kształtka K mająca postać litery T . Odpowiednią kształtkę można łatwo zrobić przez połączenie dwóch kawałków listwy lub płaskownika o szerokości 2–3 cm i grubości ok. 1 cm. Dla zapewnienia dobrej widoczności poziomy odcinek kształtki powinien mieć długość co najmniej 15–20 cm, a pionowy co najmniej 25–30 cm. Gotową kształtkę może stanowić także część starej przykładnicy kreślarskiej. W pobliżu końców ramion kształtki znajdują się osie O . Na każdą z tych osi nałożona jest sztabka S o długości 5–6 cm, stanowiąca odcinek listwy lub płaskownika podobny do użytego w kształtce. Zastosowanie kształtki i sztabek wykonanych z metalu

jest korzystniejsze, ponieważ pozwala zgromadzić w wahadle większą energię mechaniczną i dłużej obserwować drgania.



Rys. 3. Wahadło Todda; objaśnienia w tekście.

Kształtkę ze sztabkami umieszczono na poziomej osi połączonej ze wspornikiem W, osadzonym w podstawie P. Oś kształtki przechodzi powyżej środka masy układu, a sztabki i kształtka powinny wahać się wokół osi z minimalnym tarciem. Jako osie dobrze nadają się wkręty M3, których nagwintowane końcówki mogą być wkręcane w kształtkę lub wspornik. Nałożony na wkręt element może obracać się swobodnie na cylindrycznej, nienagwintowanej części wkrętu, a jego główka zabezpiecza poruszający się element przed spadnięciem z osi.

Wahadło Todda jest układem o czterech stopniach swobody. Doświadczenie rozpoczynamy od jednego stopnia. W tym celu unieruchamiamy wszystkie sztabki, przyklejając je do kształtki taśmą samoprzylepną. Po odchyleniu od położenia równowagi wahadło Todda zachowuje się jak wahadło fizyczne i wykonuje słabo tłumione drgania o charakterze regularnym. Następnie dodajemy

drugi stopień swobody, usuwając taśmę unieruchamiającą jedną ze sztabek. Jeżeli tak przygotowane wahadło Todda wychylimy z położenia równowagi, to kształtka i sztabka będą zachowywały się jak wahadła sprzężone, a ich drgania również będą regularne.

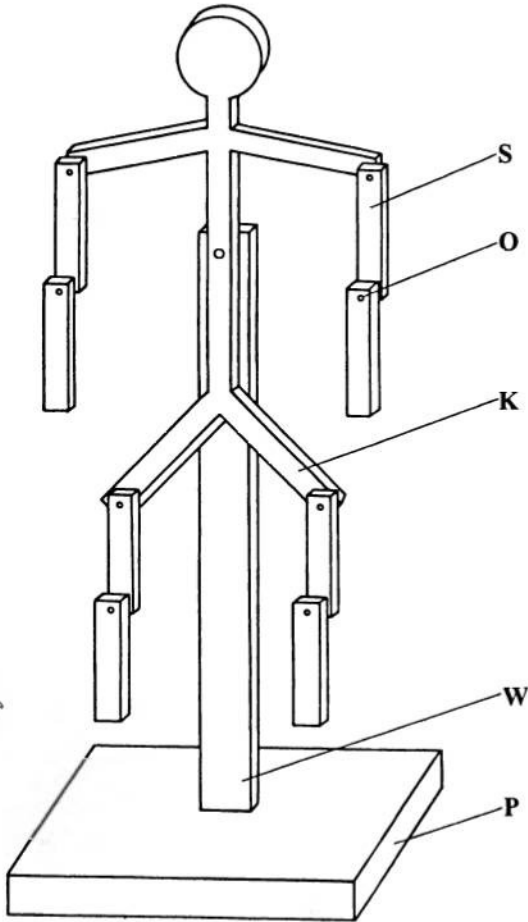
Cechy charakterystyczne dla zjawisk chaotycznych, stwierdzone w przypadku kulki wahającej się nad magnesem, pojawią się dopiero po usunięciu taśmy utrzymującej drugą sztabkę. W ten sposób wahadło uzyska trzy stopnie swobody. Oczywiście, dodanie następnego stopnia swobody przez uruchomienie trzeciej sztabki spowoduje, że drgania wahadła będą miały również charakter chaotyczny. Doświadczenia przeprowadzone z wahadłem Todda pokazują, w jaki sposób zwiększanie liczby stopni swobody układu prowadzi do pojawienia się drgań chaotycznych [5].

4. Inne wahadła

W doświadczeniach wprowadzających do teorii zjawisk chaotycznych można również wykorzystać pewne przedmioty produkowane do celów dekoracyjno-rozrywkowych. Dwa z nich, dostępne np. w sklepach z zabawkami, przedstawimy dokładniej. Na rysunku 4 pokazano wahadło o wielu stopniach swobody, stanowiące bardziej rozbudowaną i atrakcyjniejszą wersję wahadła Todda. Rysunek 5 przedstawia przykład wahadła chaotycznego, wykonującego drgania niegasnące dzięki wbudowanemu napędowi. Elementami drgającymi w tym wahadle są dwie obręcze O, umieszczone w różnych płaszczyznach.

Obie obręcze połączone są prętami P przechodzącymi wzdłuż ich średnic. Końce tych prętów wprowadzono do centralnie umieszczonej kuli K, w której pręty mogą się swobodnie obracać. Dodatkowe trzy kule przymocowane są na obręczach. Jedna z obręczy zaopatrzona jest także w dwa naprzeciwległe sworznie S, umieszczone w otworach wsporników W, połączonych z podstawą P. Podłużny kształt tych otworów pozwala sworzniom i połączonym z nimi obręczom wykonywać zarówno ruch obrotowy, jak i postępowy. Do dolnej części jednej obręczy przymocowany jest także niewielki magnes M, który może poruszać się nad cewką generatora samodławnego G, umieszczonego w podstawie wahadła. Każda z obręczy ma dwa stopnie swobody – jeden translacyjny i je-

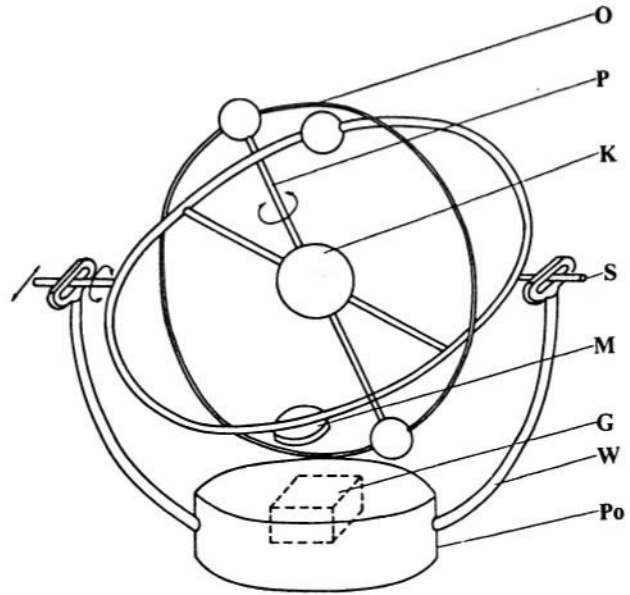
den rotacyjny. W sumie więc opisane wahadło ma cztery stopnie swobody i może wykonywać drgania chaotyczne.



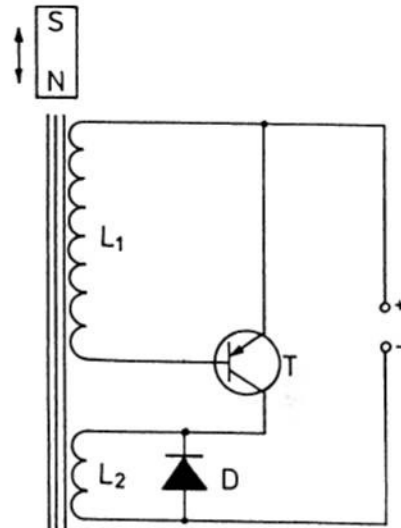
Rys. 4. Bardziej rozbudowana wersja wahadła Todda; objaśnienia w tekście.

Drgania te są niegasnące dzięki napędzaniu wahadła generatorem samodławnym, którego schemat przedstawiono na rys. 6. Napięcie zasilania przyłożono do układu w taki sposób, że tranzystor T jest zablokowany i ani w obwodzie emitera, ani kolektora nie płynie prąd elektryczny. Zbliżenie jednego z biegunów magnesu umieszczonego na obręczy do cewki L_1 powoduje zaindukowanie dodatkowego napięcia w obwodzie emitera. Na skutek tego zmienia się potencjał bazy i tranzystor przechodzi do stanu przewodzenia. Wówczas w obwodzie kolektora pojawia się impuls prądu przepływającego przez cewkę L_2 , który wytwarza pole magnetyczne odpychające magnes [6]. W ten sposób generator dostarcza wahadłu dodatkową energię pobieraną ze źródła zasilania i kompensującą straty energii spowodowane oporami

ruchu. Dioda D zabezpiecza generator przed powstawaniem oscylacji w obwodzie kolektora.



Rys. 5. Przykład wahadła chaotycznego napędzanego generatorem samodławnym; objaśnienia w tekście.



Rys. 6. Schemat generatora samodławnego używanego do napędu wahadła; objaśnienia w tekście.

Na zakończenie warto wspomnieć, że problem chaosu zauważył już pod koniec XIX w. znany francuski matematyk J.H. Poincaré. Stało się to w 1892 r. podczas badania klasycznego problemu trzech ciał oddziałujących między sobą siłami grawitacyjnymi. Poincaré stwierdził wówczas, że w pewnych przypadkach tor, po których poruszają się te ciała, przybierają bardzo skompliko-

wany i trudny do przewidzenia kształt [7]. Obecnie badania zjawisk chaotycznych są znacznie ułatwione i bardziej urozmaicone w dużej mierze dzięki powszechnemu zastosowaniu komputerów i metod numerycznych, pozwalających na skuteczniejsze pokonywanie trudności matematycznych [8].

Literatura

- [1] E.N. Lorenz, *Jour. Atmos. Sci.* **52**, 463 (1980).
- [2] C. Vidal, A. Pacault, *Nonlinear Phenomena in Chemical Dynamics* (Springer, Berlin 1984).
- [3] J.D. Farmer, J.J. Sidorowich, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 845 (1987).
- [4] C. Hayashi, *Nonlinear Oscillations in Physical Systems* (McGraw-Hill, New York 1964).
- [5] B.V. Chirikov, *Phys. Rep.* **52**, 463 (1980).
- [6] B. Tokar, *Elektroniczny generator samodławny w doświadczeniach pokazowych z fizyki* (Wydawnictwa WSP w Opolu, Opole 1990).
- [7] J.H. Poincaré, *Les Methodes nouvelles de la mécanique céleste* (Ed. Gauthier Villars, Paris 1892).
- [8] S. Wolfram, *Phys. Rev. Lett.* **54**, 735 (1985).

Zastosowanie multimediiów w projekcie FiPS*

Daniel Roth, Frank Schweickert, Martin Menzel, Hans J. Jodl

Fachbereich Physik, Universität Kaiserslautern, Niemcy

Use of multimedia in the FiPS project

Abstract: FiPS (Früheinstieg ins Physikstudium – Early Entrance in Physics) is the distance education research project of the Department of Physics at the University of Kaiserslautern. Its goal is to show that with new means of information technology it is possible for students to do a physics major course on the side. To achieve this goal, the FiPS project uses Internet-based learning guides, backed up by exercises with multimedia elements like digital video, a special kind of Java applets called „physlets” and interactive screen experiments.

1. Projekt FiPS

FiPS (Früheinstieg ins Physikstudium – Wczesne Wprowadzenie do Fizyki) to projekt badawczy poświęcony kształceniu na odległość, prowadzony przez Wydział Fizyki Uniwersytetu w Kaiserslautern. Jego celem jest wykazanie, że dzięki nowym środkom oferowanym przez techniki informacyjne studenci mogą zaliczyć eksternistycznie podstawowy kurs fizyki. Początki projektu sięgają roku 1997, a oficjalnie FiPS rozpoczęła działalność o rok później. Projekt na stałe wejdzie do programu studiów w 2001 r.

Aby osiągnąć postawione cele, w projekcie FiPS wykorzystuje się przewodniki oparte na Internecie, wspomagane ćwiczeniami wzbogaconymi o elementy multimedialne. Każdego roku do 100 eksternistów przechodzi w ramach FiPS-u dwa pierwsze semestry kursu fizyki. Na większości spośród tych studentów ciąży zobowiązanie wobec wojska lub służby publicznej. W tym czasie pro-

jekty kształcenia na odległość, takie jak FiPS, są dla nich w praktyce jedynym sposobem studiowania fizyki.

2. Multimedia w projekcie FiPS

Od dziesięcioleci do przedstawiania skomplikowanych zależności w książkach używano rysunków. Rysunki wcale nie były najlepszym środkiem do tego celu, ale autorzy po prostu nie dysponowali niczym innym. Obecnie mamy wiele nowych środków, za pomocą których można przedstawiać złożone zależności. Rysunki można ożywić – współzależności potrafimy nie tylko animować, ale również symulować. Techniki, dzięki którym łatwo można osiągnąć ten cel, to zaawansowane aplety Javy (np. *physlets*, czyli „fizlety”, specjalny typ apletów Javy), cyfrowe filmy wideo i interaktywne eksperymenty ekranowe.

Wszystkie te nowe rodzaje mediów chcemy stosować w projekcie FiPS nie tylko do ilustro-

*Tekst referatu wygłoszonego przez Daniela Rotha podczas XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku we wrześniu 1999 r. (przyp. Red.).

wania skomplikowanych zależności, ale też po to, aby w miarę możliwości zrekomensować brak pokazów, które wykonuje się na regularnych, kursowych wykładach. Do przedstawiania złożonych zależności znakomicie nadają się aplety Javy i fizlety, natomiast cyfrowe filmy wideo, a zwłaszcza interaktywne eksperymenty ekranowe, bardzo dobrze zastępują rzeczywiste pokazy.

W projekcie FiPS wykorzystuje się następujące rodzaje mediów: przewodniki oparte o sieć World Wide Web, tradycyjne podręczniki, hipertekstowe podręczniki w sieci WWW, animacje i symulacje realizowane za pomocą apletów Javy i fizletów, interaktywne eksperymenty ekranowe oraz cyfrowe filmy wideo.

2.1. Przewodniki

W tradycyjnych projektach kształcenia na odległość zazwyczaj wyposaża się studentów w przewodniki, które mają im pomóc w poruszaniu się po literaturze. W projekcie FiPS przewodniki te nie są drukowane, lecz zamieszczane w sieci World Wide Web (rys. 1). Dzięki temu możliwe jest nie tylko prowadzenie studentów przez podręczniki, ale też wskazanie im odnośnych materiałów oraz ćwiczeń, mających na celu wzmocnienie efektów nauczania.

5		Dynamik starrer ausgedehnter Körper	135	
5.1	②	Modell des starren Körpers	135	
	→	Applet 1.5 (CD): Präzession eines Kreiseis		☐
	→	Video 1.2: "The Gyroscope"		☐

Rys. 1. Fragment strony WWW z interaktywnym przewodnikiem używanym w projekcie FiPS.

Takie przewodniki są publikowane raz w tygodniu, a ich autorem jest wykładowca odpowiedzialny za dany kurs. Jeśli student nie ma dostępu do Internetu (np. podczas ćwiczeń na poligonie), to może otrzymać drukowaną kopię przewodnika.

2.2. Podręczniki tradycyjne

Projekt FiPS oparty jest na sprawdzonych, tradycyjnych podręcznikach *Experimental-*

physik 1 i *Experimentalphysik 2* autorstwa Wolfganga Demtrödera, opublikowanych w wydawnictwie Springer. Z tych samych podręczników korzystają także studenci stacjonarni.

2.3. Podręczniki hipertekstowe

Oprócz tradycyjnych podręczników studenci FiPS-u mają dostęp do podręczników hipertekstowych, umieszczonych w sieci World Wide Web, np. *Taschenbuch der Mathematik (Matematyka – poradnik encyklopedyczny)* Bronsteina lub *Taschenbuch der Physik* Stöckera.

2.4. Aplety Javy i fizlety

Aplety Javy to niewielkie programy napisane w języku Java, które łatwo można łączyć ze stronami HTML w sieci World Wide Web. Java jest potężnym, obiektowym i sieciowo zorientowanym językiem programowania, który ułatwia realizację dowolnych projektów – od prostych animacji po w pełni interaktywne symulacje, korzystające z dostępu do baz danych.

Fizlety (physlets) to specjalny rodzaj apletów Javy, wymyślony przez Wolfganga Christiana (Davidson College, USA). Są to bardzo elastyczne aplety Javy, które za pośrednictwem JavaScriptu mogą być dołączone przez wykładowców do stron HTML. Oznacza to, że możliwe jest stworzenie prostych animacji lub wyrafinowanych, interaktywnych symulacji bez znajomości Javy i innych języków programowania (tab. 1). Fizlet dotyczący danego problemu można stworzyć praktycznie w ciągu paru minut czy godzin.

2.5. Cyfrowe filmy wideo

Nagrania wideo od dawna wykorzystywane są w nauczaniu fizyki do dokumentacji eksperymentów bądź w celach ilustracyjnych. Cyfrowy zapis wideo na CD-ROM-ach i serwery wideo w Internecie dają zupełnie nowe możliwości, np. wyszukiwanie rozdziałów i doskonałej jakości zdjęcia z zatrzymanych klatek. Rychłe przejście na technikę DVD przyniesie dalszy postęp: oglądanie eksperymentu z różnych punktów obserwacji, liczne podpisy łącznie z objaśniającymi szkicami, dokumentacja eksperymentów, osobna ścieżka danych z uzupełniającymi wiadomościami i interaktywnymi fizletami (tab. 2).

Tabela 1. Porównanie apletów Javy i fizletów.

Dawniej: jeden nowy aplet Javy dla każdego nowego problemu	Obecnie: jeden fizlet dla wielu problemów
— drogie, kosztowne rozwiązanie	— za darmo, do celów niekomercyjnych
— powolne tworzenie oprogramowania przez programistów	— szybkie tworzenie bez pomocy programistów
— wiele różnych apletów dotyczących tego samego problemu	— wiele różnych skryptów do jednego fizletu
— złe współdziałanie z innymi programami	— współdziałanie pomiędzy fizletami
— brak standardowego interfejsu użytkownika	— standardowy interfejs użytkownika

Tabela 2. Nowe możliwości techniczne dostępne dzięki cyfrowemu zapisowi wideo na CD- i DVD-ROM-ach.

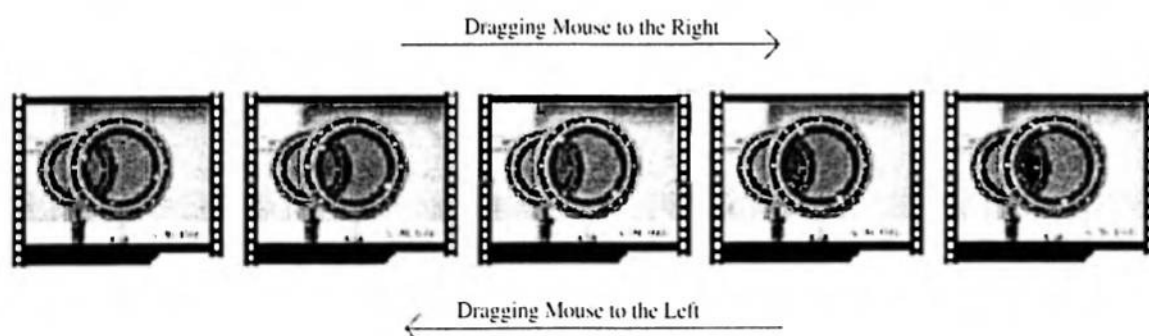
Dawniej: zapis wideo na taśmie VHS	Obecnie: zapis wideo na CD- lub DVD-ROM-ie
— niska rozdzielczość	— wysoka rozdzielczość
— słaba kontrola i powolny dostęp	— pełna kontrola i szybki dostęp
— zła jakość zdjęć z zatrzymanych klatek	— wysoka rozdzielczość zdjęć z zatrzymanych klatek
	— ścieżki danych z dodatkowym, interaktywnym materiałem
	— różne punkty obserwacji, wiele podpisów, wielojęzyczność

2.6. Interaktywne eksperymenty ekranowe

Interaktywne eksperymenty ekranowe to realistyczne reprodukcje fotograficzne rzeczywistych doświadczeń, opracowane przez Jürgena Kirsteina (IFPL, Politechnika Berlińska, Niemcy). Aby przygotować interaktywny eksperyment ekranowy, łączy się serię klatek wideo z każdego etapu eksperymentu w taki sposób, aby student

mógł odtworzyć jego przebieg za pomocą komputerowej myszy.

W przykładzie przedstawionym na rys. 2 kolejne klatki, połączone w interaktywny eksperyment ekranowy, ukazują filtr polaryzacyjny obrócony pod różnymi kątami. Student za pomocą myszy może w obie strony „obracać” filtr polaryzacyjny.



Rys. 2. Kilka klatek „eksperymentu ekranowego”, ilustrującego zjawisko polaryzacji światła. Obrót polaryzatora wokół osi można odtworzyć, przesuując kursorem myszy po ekranie.

Dzięki użyciu do tworzenia eksperymentów ekranowych oprogramowania „Macromedia Director” można uzyskać reprodukcje bardziej złożonych eksperymentów. Technika ta umożliwia też wprowadzanie obszarów wrażliwych na kliknięcie myszy i dodatkowych opisów (rys. 3).



Rys. 3. Eksperyment ekranowy, utworzony za pomocą oprogramowania „Macromedia Director”.

3. Wnioski

Należy podkreślić, że stosowanie elementów multimedialnych nie powinno być traktowane jako cel sam w sobie, a jedynie w kontekście danego ćwiczenia. Dlatego przed użyciem jakichkolwiek multimediiów należy ustalić, jakie cele zamierzamy osiągnąć i na jakie pytania chcemy uzyskać odpowiedź. Dzięki temu możliwe jest eksternistyczne zaliczenie podstawowego kursu fizyki. Około 50% studentów FiPS-u, rozsiadanych po całych Niemczech (i nie tylko), pomyślnie ukończyło kurs; 5–10% podjęło następnieienne studia w Kaiserslautern.

Obecnie projekt FiPS działa, a nowy sposób studiowania fizyki został zaakceptowany przez samych studiujących. Pomysł przeniesiono już do innych wydziałów; swój własny projekt kształcenia na odległość, oparty na ideach rozwiniętych w ramach FiPS-u, będzie wprowadzał Wydział Elek-

tryczny. Część pracy wykonywanej w ramach projektu FiPS jest też poświęcona na zbadanie, w jakim stopniu użycie multimediiów może poprawić wydajność kursów laboratoryjnych.

Kolejną istotną cechą FiPS-u, której nie rozważaliśmy w tym artykule, jest zastosowanie nowych technik telekomunikacyjnych, np. internetowych audio- i wideokonferencji, poczty elektronicznej czy grup dyskusyjnych. Techniki te są niezbędne do zapewnienia łączności między studentami oraz między studentem a wykładowcą.

Dodatek: Zbiór przykładowych fizletów do nauczania podstaw elektrostatyki

Na stronie internetowej XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku (physics.uwb.edu.pl/ptf/echa/os/roth1/DOC/index.html) zamieszczone są następujące fizlety: Siła Coulomba, Znak ładunku elektrycznego, Strumień pola elektrycznego przez powierzchnię sześcianu, Przedstawienia pola elektrycznego, Ruch cząstki w jednorodnym polu elektrycznym, Nieznany ładunek.

Fizlety te były oryginalnie dołączone do artykułu Scotta Bonhama, Johna Risleya i Wolfganga Christiana „Using Physlets to Teach Electrostatics” (Fizlety w nauczaniu elektrostatyki), opublikowanego w piśmie *The Physics Teacher*. Pochodzą one z zasobów archiwalnych Davidson College (webphysics.davidson.edu) i mogą być bez przeszkód rozpowszechniane oraz wykorzystywane do celów edukacyjnych pod warunkiem podania źródła przy każdorazowej publikacji.

Tłumaczył Maciej Piętka
Instytut Fizyki UWB
Białystok

Lektura uzupełniająca

- **Fizlety:** G.M. Novak, E.T. Patterson, A.D. Gavrin, W. Christian, *Just-In-Time Teaching* (Prentice Hall, 1999); także: webphysics.davidson.edu.
- **Interaktywne eksperymenty ekranowe:** Jürgen Kirstein, *Interaktive Bildschirmexperimente*, rozprawa doktorska, Wydział Fizyki, Politechnika Berlińska, Berlin 1999; także: www.physik.tu-berlin.de/institute/IFPL/IBE/IBE.html.

ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

Przedszkole fizyki

W czerwcu 2000 r. odbyła się w Zakopanem jubileuszowa, Krakowska XL Szkoła Fizyki Teoretycznej. Szkoła ta rozpoczęła swoje istnienie od corocznych spotkań grupki zapaleńców dyskutujących głównie najnowsze zagadnienia burzliwie się wówczas rozwijającej fizyki cząstek elementarnych. Pierwsze szkoły odbywały się w schronisku na Polanie Chochołowskiej i na Kala-tówkach. Z czasem Szkoła stała się znakomitą, szeroko znaną imprezą, na którą przyjeżdżali co roku światowej sławy fizycy.

W tym roku, w czasie trwania jubileuszowej XL Szkoły Fizyki Teoretycznej, organizowanej przez prof. Józefa Spałka – kierownika Zakładu Teorii Materii Skondensowanej IF UJ, powrócono do starej tradycji: obradom fizyków towarzyszyło jak niegdyś tzw. „przedszkole fizyki”.

Do Zakopanego zjechało 21 chłopców i trzy pаниenki, by czerpać wiedzę wprost ze źródła. Można powiedzieć, że zachłystywali się oni fizyką i to z pierwszej linii frontu. Od rana do późnego wieczora, nawet w czasie wspólnych posiłków, dominowała w atmosferze fizyka. Tak, to jest możliwe, ponieważ fizyka jest naprawdę fascynująca i ma niejedno oblicze. Ledwie wykrojono czas na wycieczkę w góry na Świnicę i Mały Kościelec.

Kim są ci młodzi zapaleńcy? To młodzież z całej Polski – od Olsztyna, przez Komorów, Włodawę, Bytom, Kraków, aż po Żywiec. Są uczniami liceów i techników. Są laureatami rozmaitych konkursów z fizyki, uczniami naszych uniwersyteckich klas, w których fizyka jest nauczana przez pracowników naukowych UJ. Uczniowie przede wszystkim mieli specjalnie dla nich przygotowane tzw. wieczorne wykłady. Wykłady te wygłaszali znani specjaliści z danej dziedziny, by nie rzec wręcz – sławy. I chociaż były to wykłady dla uczniów, to „dorośli” fizycy szczerze wypełniali, nawet w niewygodzie, resztę sali wykładowej.

Wykłady te odbywały się, rzecz jasna, po angielsku i też w tym języku toczyły się później dyskusje. Niektóre z wykładów były ilustrowane pokazami. Myślę, że czytelnicy będą żałować, że ich taka przygoda ominęła: ktoś by się nie chciał dowiedzieć, jak rosną kryształy i jak się je mierzy (prof. J.M. Honig z Uniwersytetu Purdue w West Lafayette, USA), kto by nie chciał usłyszeć o dwutysiącletniej (tak, tak!) historii magnetyzmu (prof. D. Vollhardt z Augsburga). Wykład o dziwności mechaniki kwantowej prof. Th. Ruijgroka z Utrechtu zaintrygował uczniów, zaś wykład prof. A. Schakela z Helsinek o topologicznych bestiach połączony z demonstracją¹ ilustrował nieoczekiwane dla laika zastosowanie topologii.

¹ Woda „wybulgująca” mozolnie z butli plastikowej czyni to dużo wolniej niż wylewająca się po zakręceniu butlą i utworzeniu w niej wiru. Podobno są w tym wprawni pijacy.

Profesor Biały z IF UJ w Krakowie w wykładzie „Czy nauka boi się próżni?” przekonywał, że próżnia to obiekt interesujący teoretyków i fizyków doświadczalnych. Wykład prof. Fiałkowskiego, również z IF UJ w Krakowie, pt. „Neutrino 2000” był połączony z bardzo kompetentnie przygotowanymi przez uczniów z Żywca referatami na temat detekcji neutrin. Uczniowie mieli szansę na przedstawienie zarówno swoich oryginalnych wyników, jak i przygotowanych przez siebie referatów.

Profesor J. Turnau z IFJ w Krakowie przeprowadził warsztaty pt. „Hands on CERN”, czyli innymi słowy eksperymentowanie z oryginalnymi danymi z międzynarodowego laboratorium w CERN-ie. Do Zakopanego przywieziono komputery i każdy uczeń mógł nauczyć się przeprowadzać samodzielnie analizę danych. Za pomocą specjalnego programu dostępnego w Internecie, a także na płytach CD można tę analizę kontynuować w domu. Warto dodać, że wyniki niektórych analiz są bardzo istotne dla potwierdzenia Modelu Standardowego.

Uczniom towarzyszyło dwóch entuzjastycznych nauczycieli: Wiesław Mroszczyk z Krakowa i Adam Smólski z Komorowa (obecny redaktor naczelny *Fizyki w Szkole*). Z nimi to uczniowie mieli warsztaty – zarówno takie tradycyjne z rozwiązywaniem trudnych zadań, jak i nowoczesne z użyciem kalkulatorów z wyświetlaczami.

To, co jednak najcenniejsze z zakopiańskiej przygody młodych uczniów, to bezpośrednie kontakty z uczonymi. Uczniowie nawiązywali czasami zupełnie partnerskie dyskusje z uczonymi. Bynajmniej nie zakończyły się one wraz z zakopiańską szkołą. Potrafili też skłonić niektórych, jak prof. Wojciecha Żurka z Los Alamos, do dłuższego spotkania.

Przedszkole fizyki sponsorował były uczestnik takich spotkań, wybitny absolwent fizyki UJ, dr Adam Kolawa, który ma teraz swoją firmę w Dolinie Krzemowej, oraz Zakład Fizyki Cząstek UJ prof. Andrzeja Białyasa.

Zofia Gołąb-Meyer
Instytut Fizyki UJ
Kraków

XIII Konferencja: Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych

W dniach 26–28 czerwca 2000 r. odbyła się we Wrocławiu XIII Konferencja: Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych, zorganizowana przez Instytut Fizyki Politechniki Wrocławskiej i Polskie Towarzystwo Fizyczne.

Istotnym elementem programu było pokazanie, że fizyka jest podstawą nowoczesnej techniki i technologii. Bez osiągnięć i odkryć w fizyce postęp techniczny, jakiego jesteśmy świadkami w ostatnich dziesięcioleciach, nie byłby możliwy. Dzięki fizyce możemy poznawać otaczający nas świat materii nieożywionej, zachodzące w nim procesy i zjawiska, rozumieć problemy techniki. Niektóre najnowsze, ważne osiągnięcia z dziedziny fizyki i techniki przedstawili w referatach naukowych wybitni fizycy: prof. A. Rogalski – Detektory promieniowania elektromagnetycznego; prof. J. Niewodniczański – Energetyka jądrowa; prof. J. Baranowski – Lasery niebieskie; prof. J. Mozrzyk – Poglądowa geometria równowagi trzech ciał; prof. A. Oleś – Magnetyzm osłoną naszej cywilizacji; prof. L. Jacak – Komputer kwantowy; dr hab. W. Urbańczyk – Wszelobocne światłowody.

Fizyka na uczelniach technicznych w Polsce powinna zająć odpowiednie miejsce, podobnie jak w liczących się uczelniach Europy Zachodniej. W tym celu należy opracować i realizować odpowiednie programy oraz nowoczesne metody nauczania tego przedmiotu na wyższych uczelniach technicznych. Ten aspekt dydaktyczny stanowił główną część obrad konferencji, które dotyczyły takich zagadnień, jak: 1) programy fizyki w różnych systemach kształcenia – ogólnym, specjalistycznym, wielostopniowym i interdyscyplinarnym; 2) metody kształcenia – wykłady, ćwiczenia audytoryjne, nauczanie wspomaganie komputerowo, środki multimedialne, nowe techniki demonstracyjne i zestawy laboratoryjne; 3) kształcenie fizyków na uczelniach technicznych; 4) nauczanie fizyki w wyższych szkołach zawodowych i niepaństwowych; 5) europejski aspekt kształcenia w wyższych szkołach technicznych – problem akredytacji; 6) nowe programy nauczania fizyki w szkołach średnich i podstawowych w zreformowanym systemie edukacji; 7) świadczenie usług przez instytuty fizyki wyższych uczelni szkołom średnim – prowadzenie zajęć, indywidualna opieka nad wybitnie uzdolnionymi uczniami (Studium Talent), organizacja laboratoriów.

Przedstawiciele uczelni technicznych w Polsce w referatach plenarnych przedstawili programy, metody oraz doświadczenia dydaktyczne ze swoich uczelni w zakresie nauczania fizyki na wydziałach technicznych, na Wydziałach Fizyki oraz na studiach zaocznych. Podczas wykładów zwrócono również uwagę na europejskie standardy kształcenia w wyższym szkolnictwie technicznym oraz na europejski aspekt nauczania fizyki w związku z akredytacją kierunków technicznych i kierunku fizyka. Przewodniczący Grupy Roboczej ds. Fizyki w Europejskim Towarzystwie Kształcenia Inżynierów SEFI (Société Européenne pour la Formation des Ingénieurs) prof. E. Ochleschlaeger, który uczestniczył w konferencji, podkreślił konieczność współpracy i wymiany doświadczeń pomiędzy fizykami kształcącymi inżynierów w różnych krajach Europy. Umożliwi to wypracowanie programów i metod kształcenia dostosowanych do aktualnego rozwoju i potrzeb przemysłu, przyczyni się do lepszego zrozumienia przez inżynierów problemów techniki.

Podczas konferencji przedstawiono pokazy do wykładów oraz demonstracje komputerowe pomocne w różnych formach nauczania fizyki. Demonstrowane bezpośrednio oraz na sesjach plakatowych zestawy doświadczalne mogą przyczynić się do unowocześnienia i uatrakcyjnienia laboratoriów na uczelniach technicznych.

Referaty naukowe, dydaktyczne, opisy pokazów do wykładów i demonstracji komputerowych oraz ćwiczeń laboratoryjnych, jak również zagadnienia przedstawione na sesjach plakatowych, zostały wydrukowane w materiałach konferencyjnych *XIII Konferencja: Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych* (Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000; materiały będą dostępne w Internecie pod adresem www.if.pwr.wroc.pl) i przekazane uczestnikom konferencji oraz osobom zainteresowanym.

Program konferencji obejmował również sesje dyskusyjne dotyczące nauczania fizyki w wyższych szkołach technicznych. Pierwszą sesję otworzył swym wystąpieniem dyrektor departamentu MEN, mgr T. Popłonkowski, przedstawiając założenia polityki Ministerstwa Edukacji w stosunku do wyższych uczelni oraz szkół średnich i podstawowych. W dyskusjach uczestniczyli również przedstawiciele władz uczelni technicznych, członek Rady Głównej Szkolnictwa Wyższego prof. Z. Latajka oraz przedstawiciele szkół średnich. Zostały sformułowane wnioski dotyczące nauczania fizyki w wyższych szkołach technicznych i szkołach średnich.

Przedmiot „fizyka” powinien być w polskich uczelniach technicznych stałym elementem kształcenia podstawowego każdego inżyniera i magistra inżyniera.

Istnieje pilna potrzeba opracowania standardowego programu kursu fizyki, tzw. kanonu, który powinien zawierać działy i zagadnienia przeznaczone do obowiązkowego zrealizowania w ramach 2/3 liczby godzin przeznaczonych na kurs fizyki, obejmujący wykłady, ćwiczenia audytoryjne i laboratoryjne. Pozostałą 1/3 liczby godzin należy przeznaczyć na omówienie zagadnień specjalistycznych, wynikających z potrzeb kształcenia na danym kierunku studiów. Całkowita liczba godzin przeznaczonych na kurs fizyki nie może być mniejsza od minimum określonych wytycznymi Rady Głównej Szkolnictwa Wyższego. Najmniejsza liczba godzin przeznaczonych na dwusemestralny kurs fizyki powinna obejmować 60 godzin wykładów, 30 godzin ćwiczeń rachunkowych oraz 30 godzin zajęć w pracowni fizycznej. Kursy fizyki powinny być realizowane przez nauczycieli akademickich będących fizykami z wykształcenia, prowadzących aktywną działalność naukową w dziedzinie fizyki. W dyskusji podkreślano, że wymienione wyżej problemy są istotnym elementem procesu akredytacji kierunków studiów na wyższych uczelniach technicznych.

Uczestnicy konferencji zwracali uwagę na konieczność zapewnienia środków finansowych na utrzymanie i modernizację zaplecza technicznego dydaktyki fizyki. Środki na ten cel nie mogą pochodzić z funduszy przeznaczonych na działalność naukową. W dyskusji zwracano także uwagę na konieczność dostosowania programów

kursów fizyki do standardów europejskich (punktowy system ocen, system studiów trójstopniowych: inżynierskie, magisterskie, doktoranckie). Podczas konferencji podkreślono potrzebę współpracy wyższych uczelni technicznych ze szkołami średnimi przez udostępnianie uczniom laboratoriów, prowadzenie wykładów popularnonaukowych i pokazów zjawisk fizycznych, organizowanie konsultacji i zajęć dla szczególnie uzdolnionej i zainteresowanej fizyką młodzieży. Istotny powinien być także udział pracowników wyższych uczelni w opracowaniu programów z fizyki oraz nowej formy egzaminu maturalnego.

Czasy nasze charakteryzuje z jednej strony znaczący postęp w dziedzinie nauki, w szczególności fizyki, spektakularne osiągnięcia w technice, z drugiej strony rosnący analfabetyzm naukowy społeczeństwa poddawane go wpływowi krzewicieli pseudonauki. W tej sytuacji konieczne jest popularyzowanie i upowszechnianie osią-

gnięć fizyki i nauk technicznych. Dobrze służą temu celowi Festiwale Nauki oraz akcje popularyzujące osiągnięcia nauki i techniki, jak również działalność Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Szczególną rolę odgrywa Forum Edukacyjne, na którym powinny być dyskutowane zasadnicze cele reformy programów fizyki w szkołach średnich.

Fizycy powinni starać się docierać do społeczeństwa za pomocą środków masowego przekazu. Dużą rolę do odegrania mają wybitni naukowcy i profesorowie, którzy mogą poszczycić się znaczącymi osiągnięciami w nauce.

Ewa Dobierzewska-Mozrzyńskas, Jan Misiewicz,
Ryszard Poprawski, Włodzimierz Salejda
Instytut Fizyki PWR
Wrocław

RECENZJE

Elementy mechaniki kwantowej

Stanisław Szpikowski: *Elementy mechaniki kwantowej*, wyd. I, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 1999, s. 430.

Książka Stanisława Szpikowskiego pt. *Elementy mechaniki kwantowej* jest podręcznikiem powstałym na podstawie wykładów mechaniki kwantowej, prowadzonych przez Autora na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, głównie dla studentów fizyki. Zakres poruszonych tematów odpowiada w zasadzie uniwersyteckiemu kursowi mechaniki kwantowej I i II. Podręcznik składa się z 10 rozdziałów oraz 9 przypisów i w sumie zawiera materiał w pełni wystarczający do przekazania podstaw mechaniki kwantowej w czasie dwóch semestrów w łącznym wymiarze 90 godzin wykładu. W takim samym wymiarze godzinowym powinny się odbywać ćwiczenia do tego wykładu. Jednak dla prowadzących ćwiczenia książka ta nie jest wystarczającym źródłem informacji. Zadania w niej zawarte na ogół polegają na dokończeniu rachunków pominiętych w tekście, nie są to zatem problemy ukierunkowane na samodzielną pracę studenta korzystającego z tego podręcznika. W moim przekonaniu jest to podstawowa wada tej książki. Czytelnikowi trudno również nie zauważyć, iż Autor z zamiłowaniem i profesji jest specjalistą w dziedzinie fizyki jądrowej. Zagadnienia dotyczące tej dziedziny są traktowane dokładniej niż problemy innych działów fizyki teoretycznej, np. fizyki ciała stałego, której poświęcono jedynie krótką „Wzmiankę o kwantowej teorii pasmowej ciał stałych”; zresztą niemal połowę tego paragrafu stanowi dyskusja ruchu elektronu w cząsteczce dwuatomowej. Wydaje mi

się, że od podręcznika z mechaniki kwantowej należy wymagać bardziej równomiernego rozłożenia akcentów. Między innymi z tego powodu książkę tę można polecić studentom znającym już podstawy mechaniki kwantowej i chcącym uzupełnić swoje wiadomości o metody znajdujące szersze zastosowanie w fizyce jądrowej lub atomowej. Autor wybrał raczej tradycyjny sposób przedstawiania zagadnień, koncentrując uwagę na problemach znanych już od wielu lat i przedstawionych w wielu podręcznikach. Zrobił to jednak, poza niewieloma wyjątkami, w sposób staranny i świadczący o głębokiej znajomości poruszonych problemów.

Pojawienie się takiej pozycji uważam za celowe. W chwili obecnej na rynku wydawniczym dostępne są w zasadzie trzy podręczniki na zbliżony temat. Począwszy od najłatwiejszego w odbiorze, są to: *Teoria kwantów* Białynickiego-Biruli, Cieplaka i Kamińskiego, której drugie wydanie wkrótce się ukaże, *Wykłady z niereleatywistycznej mechaniki kwantowej* Zalewskiego i *Teoria pól kwantowych* Weinberga. Wszystkie pozycje zostały wydane przez Wydawnictwo Naukowe PWN. *Elementy* Szpikowskiego umieściłbym po książce Zalewskiego, a przed monografią Weinberga, którą – choć znakomitą – uważam za pozycję skierowaną do bardzo wąskiego grona czytelników, specjalizujących się w relatywistycznej kwantowej teorii pola. Zatem *Elementy* wypełniają lukę w polskojęzycznej literaturze przedmiotu i jestem przekonany, że okażą się cennym nabytkiem dla tych, którym niezbędna jest znajomość elementów niereleatywistycznej kwantowej teorii pola. Nie oznacza to, że pozycja ta całkowicie wypełniła tę lukę. Z pewnością zadowolone z niej będą osoby specjalizujące się w trady-

cyjnej teorii jądra atomowego i być może w fizyce atomowej. Może stanowić ona jednak niewystarczające źródło informacji dla tych, którzy chcieliby głębiej poznać np. fizykę ciała stałego lub optykę kwantową, szczególnie w kontekście procesów kwantowych wzbudzanych lub modyfikowanych zewnętrznym polem elektromagnetycznym. Mam tu na myśli tak gorące tematy ostatnich lat, jak kwantowy efekt Halla, chłodzenie laserowe atomów, kondensacja Bosego–Einsteina lub obliczenia i algorytmy kwantowe. Nie wydaje mi się również, by z książki korzystali specjaliści w dziedzinie relatywistycznej kwantowej teorii pola i cząstek elementarnych, do których skierowana jest monografia Weinberga.

Jak już wspominałem, książka składa się z dziesięciu rozdziałów i dziewięciu przypisów. W rozdziale pierwszym krótko omówione jest podłoże historyczne teorii kwantów. W następnym rozdziale Autor formułuje pięć podstawowych postulatów mechaniki kwantowej. Każdy z nich natychmiast ilustrowany jest konkretnymi przykładami, pomagającymi lepiej zrozumieć ich istotę. W rozdziale trzecim Autor przechodzi do wybranych zastosowań mechaniki kwantowej, takich jak rachunek zaburzeń w zastosowaniu do efektów Zeemana i Starka, układu dwóch cząstek w mechanice kwantowej, symetryzacji funkcji falowej wielu cząstek oraz kwantowych statystyk Bosego–Einsteina i Fermiego–Diraca, modelu powłokowego jądra atomowego oraz struktury pasmowej ciał stałych. W kolejnym rozdziale omówiona jest abstrakcyjna i powszechnie stosowana notacja Diraca dla wektorów z przestrzeni Hilberta, pozwalająca w zwięzły sposób wprowadzić macierz gęstości dla stanów mieszanych i sformułować mechanikę kwantową w równoważnych obrazach Schrödingera i Heisenberga. Brakuje w tym wszystkim przysłówiowej „kropki nad i”, czyli ważnego w zastosowaniach obrazu oddziaływania, zwanego także obrazem Diraca, w końcu twórcy wszystkich wymienionych wyżej „obrazów”. W zakończeniu tego rozdziału zostały wprowadzone operatory kreacji i anihilacji dla fermionów i bozonów, po czym w rozdziale piątym omawiany jest fundamentalny dla mechaniki kwantowej problem związku symetrii z zasadami zachowania. Na początku omawiane są symetrie ciągłe i wynikające z nich zasady zachowania momentu pędu, pędu i energii, a następnie Autor przechodzi do omówienia symetrii dyskretnych i zasady zachowania parzystości. W moim przekonaniu następnym rozdziałem powinien być rozdział siódmy, poświęcony teorii zderzeń. W ten sposób zostałyby zamknięta pewna całość, stanowiąca szkielet tego, co zazwyczaj określa się mianem Mechanika Kwantowa I. Wówczas rozdział szósty, poświęcony symetrii obrotowej w kwantowej teorii momentu pędu, mógłby stanowić początek kursu Mechaniki Kwantowej II, gdyż omawiana jest w nim bardzo szczególnie tematyka (współczynniki Clebscha–Gordana i Racah, symbole $6j$ i $9j$), która jest przeznaczona raczej dla osób specjalizujących się w fizyce jądrowej bądź atomowej. To samo dotyczy następnego rozdziału poświęconego elementom teorii promieniowania γ . W pozostałych dwóch rozdziałach omówiona

jest relatywistyczna mechanika kwantowa jednej cząstki (równania Kleina–Gordona i Diraca) oraz elementy kwantowej teorii pola z dyskusją m.in. podstawowej dla teorii cząstek elementarnych symetrii cechowania i kwantowej zasady wariacyjnej Schwingera. Po tych rozdziałach następują przypisy, poświęcone rachunkowi operatorowemu i macierzowemu, aksjomatom przestrzeni Hilberta, elementom macierzowym operatorów momentu pędu, elementom teorii grup i ich reprezentacjom, współczynnikiem Clebscha–Gordana i symbolem $6j$. Znajduje się tu również kilka pominiętych dowodów z rozdziałów 8 i 9 oraz określona zostaje notacja relatywistyczna, a więc to, co w moim przekonaniu powinno się znaleźć w głównej części książki.

Żle się chyba stało, że tekst książki nie został przygotowany osobiście przez Autora z wykorzystaniem programu do składu komputerowego jakim jest $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ (lub $\text{L}_{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$). Programy te są obecnie używane przez większość fizyków teoretyków i zawierają kroje czcionek w zupełności wystarczające do tworzenia nawet najbardziej skomplikowanych równań z najbardziej wyszukаныmi rodzajami symboli. Nie byłoby wówczas problemów z oznaczaniem np. wektorów, operatorów lub macierzy. Zmniejszyłoby to również liczbę błędów drukarskich. Jest to sugestia, którą chciałbym skierować do Autora, gdyby w przyszłości przygotowywał drugie, poprawione i rozszerzone wydanie tej książki. Nie mam większych zastrzeżeń do strony językowej. Jednak wydaje mi się, że wprowadzenie następujących zmiany byłoby korzystne. Zamiast o własnościach czegoś lepiej jest chyba mówić o właściwościach. Podobnie, zamiast policzyć powinno się raczej obliczyć pewną wielkość fizyczną. Analogicznie jest z wyrazami: znakuje (\rightarrow indeksuje), zdegenerowany (\rightarrow zwyrodniały), aplikacyjny (\rightarrow mający zastosowanie), kwantowomechaniczny (\rightarrow kwantowy), aproksymacyjne (\rightarrow przybliżone).

Znalazłem się w tej szczęśliwej sytuacji, że przed napisaniem tej recenzji miałem dostęp do spisu błędów drukarskich, zauważonych przez Autora. Jest to bardzo długa lista poważnych błędów, na co zwracam uwagę Czytelnika. Mimo to spostrzegłem jeszcze kilka dodatkowych błędów, które poniżej wymieniam. Zacznę może od najpoważniejszego. Wśród fizyków ogólnie przyjęta jest asymetryczna definicja transformaty Fouriera, w której miarą całkowania po zmiennej przestrzennej jest dx , zaś miarą całkowania po pędach jest $dp/2\pi\hbar$ (lub $dk/2\pi$, gdy całkujemy po wektorze falowym). Autor tej konwencji nie zastosował, co doprowadziło w kilku wzorach do błędów. Dotyczy to równań (2.143), (2.145), (2.147), (2.150) i (2.152). Gdyby Autor taką konwencję przyjął, to należałoby zmienić także inne wzory zawierające miarę dk . Na s. 73 w wierszu 12 od dołu Autor pisze, że nieskończona wartość kwadratu dyspersji $(\Delta q)^2$ odpowiada „idealnej niepewności pomiaru”. Słowo „idealne” jest tu chyba użyte nazbyt mocno. Wszak dla rozkładu Lorentza dyspersja jest również nieskończona, ale nie można twierdzić na tej podstawie, że nic nie wiemy o lokalizacji cząstki. Doszukałem się również następujących dodatkowych błędów drukarskich:

- s. 62, równ. (2.123): $N \rightarrow N_{nl}$;
 62⁶: $N \rightarrow N_{nl}$ (wyraz „globalny” może sugerować, że stała N jest taka sama dla wszystkich stanów);
 66₁: kropka przed ψ jest niepotrzebna;
 72₂: pochodne po pędach powinny być pomnożone przez $i\hbar$;
 96⁴: pierwszy wskaźnik m' przy ψ powinien zostać zastąpiony przez m ;
 115₇: mechaniki kwantowej \rightarrow mechaniki klasycznej;
 122¹⁶: w wzór \rightarrow wzór;
 124¹¹: nawias nie został zamknięty, lub nawias zbędny;
 162, równ. (4.45): powinny zostać usunięte granice całkowania;
 165₃: $A^s \rightarrow A^{(s)}$;
 180, równ. (5.10): w środkowym wierszu $q_1 \rightarrow q'_1$;
 181, równ. (5.17): nie jest wyjaśnione, jaki sens mają kąty α_1, α_2 i α_3 ;
 222, równ. (7.33): druga część wzoru jest słuszna tylko asymptotycznie dla dużych r .

Ponadto zauważyłem kilka niejasnych sformułowań. Na s. 142 dwa elektrony w stanie o całkowitym spinie $S = 0$ nazywa się parą Coopera. Jest to zbyt daleko idące uproszczenie, zaciemniające mechanizm tworzenia się par Coopera w nadprzewodnikach. Nie musi być również tak, jak twierdzi Autor na s. 143, że na funkcję $f_k(x)$ musi być nałożony warunek periodyczności potencjału. Warunek ten nakłada się jedynie „dla wygody”, aby móc klasyfikować stany kwantowe elektronu w kryształach za pomocą kwazipędu. Na s. 216 przy wyprowadzaniu wzoru na przekrój czynny Autor powinien się posłużyć jedynie strumieniami prawdopodobieństwa cząstek padających i rozproszonych, a nie samymi prawdopodobieństwami, gdyż w przeciwnym wypadku prowadzi to do takich nieporozumień, jak „prawdopodobieństwo w objętości vdS ”. Z własnych doświadczeń wiem, że dla większości dzisiejszych studentów fizyki dużym problemem jest określenie wymiaru wielkości fizycznych. Dlatego też napisanie w podręczniku, że vdS jest objętością – niezależnie od intencji Autora – jest niewłaściwe. Nie przekonuje mnie również argumentacja przytoczona na s. 33 i dotycząca wyboru postaci operatora odpowiadającego rzutowi pędu na wektor wodzący, tj. radialnej składowej wektora pędu. Powszechnie raczej wiadomo, że metodą pozwalającą konstruować operatory w mechanice kwantowej, odpowiadające wielkościom klasycznym, które są funkcjami położenia i pędu, jest tzw. przepis Weyla, nazywany także przepisem symetrycznym, ściśle wiążący się z funkcją Wignera. Brakuje mi omówienia tego zagadnienia w tym podręczniku.

Książka została starannie wydana przez Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Druk jest czytelny. Poważną wadą książki jest duża liczba omówionych powyżej błędów. Czyżby nie było korekty autorskiej?

Pomijając powyższe usterki uważam jednak, że recenzowana książka jest pożądaną pozycją na naszym rynku wydawniczym i powinna być pomocna dla stu-

dentów. Przygotowując wykład z mechaniki kwantowej, z chęcią skorzystałbym z rozdziałów 4 i 5, dotyczących notacji Diraca i związków między symetriami a prawami zachowania, oraz z paragrafu 10.10, omawiającego kwantową zasadę wariacyjną Schwingera. Niestety, z żalem muszę powtórzyć, że książka w niedostatecznym stopniu może pomóc w prowadzeniu ćwiczeń rachunkowych.

Jerzy Kamiński

Instytut Fizyki Teoretycznej UW
Warszawa

Błędne ogniki i grzyby atomowe

Georges Charpak, Richard L. Garwin: *Błędne ogniki i grzyby atomowe*, z jęz. francuskiego przełożył Jerzy Gronkowski, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999, s. 373.

Autorami tej popularnonaukowej książki są dwaj znakomici fizycy; G. Charpak – laureat Nagrody Nobla z fizyki oraz R. Garwin – doradca kilku prezydentów USA i jeden z najbardziej znanych ekspertów w dziedzinie broni jądrowej. Łączą oni głęboką wiedzę fizyczną z emocjonalnym zaangażowaniem na rzecz rozbrojenia jądrowego. Książka zawiera fragmenty znakomicie nadające się na artykuł propagandowy przeciw broni jądrowej, który dla szerszego spopularyzowania mógłby być zamieszczony w bardzo dobrym czasopiśmie. Elementy naukowego wizjonerstwa wykorzystywane są jako przestroga przed wojną jądrową. Ma ona charakter humanizujący.

W książce omawiane są: zasady działania reaktorów jądrowych i opis różnych ich typów; problemy związane z energetyką jądrową i bezpieczeństwem funkcjonowania reaktorów, wzmacniacze energii; odpady promieniotwórcze, ich przerób i przechowywanie; broń jądrowa; fizyczne podstawy programu „wojen gwiazdnych”; możliwości redukcji broni jądrowej.

Z przedstawionej listy widać, że książka przeznaczona jest dla szerokiego kręgu czytelników, w tym dla fizyków, inżynierów oraz studentów nauk przyrodniczych i inżynierjno-technicznych. Napisana jest bardzo rzetelnie przez kompetentnych Autorów, nawzajem uzupełniających się znajomością problematyki we wszystkich poruszanych aspektach naukowych, a nawet militarnych. Pośrednio może o tym świadczyć kopia dyplomu przyznanego Garwinowi przez Stowarzyszenie Członków Służb Wywiadowczych Stanów Zjednoczonych (s. 353).

Fizycy znajdują tam wiele cennych informacji, rzadko publikowanych (a możliwych do wykorzystania), pomocnych w wykładach. Przykładem może być rysunek 5 ze s. 81, pokazujący zależność przekroju czynnego na rozszczepienie od energii neutronów z uwzględnieniem szeregu rezonansów. Zwykle tak dokładne dane rzadko są zamieszczane w podręcznikach fizyki jądrowej. Sporadycznie też mówi się o falach ksenonowych w reaktorach, które są tutaj dokładnie wyjaśnione (s. 94). Ponadto pokazuje

ona sens zakazu prób hydrodynamicznych, wywołujących implozję bez materiału rozszczepialnego. O technicznych uwarunkowaniach wojen gwiazdnych czyta się z fascynacją godną najlepszej powieści sensacyjnej.

Nie obeznany z fizyką jądrową czytelnik być może zrozumie różnicę pomiędzy cywilną energetyką jądrową a bronią jądrową. Opis błędów popełnionych przez decydentów, konstruktorów i operatorów elektrowni w Czernobylu nie przywróci zdrowia (ani tym bardziej życia) ofiarom katastrofy i nie zlikwiduje szkód psychologicznych, jakie ona spowodowała, ale przynajmniej przybliży sytuację, która do tego doprowadziła.

Zaletą tej pozycji jest jasne przedstawienie zasady działania opracowanego niedawno wzmacniacza energii oraz transmutacji izotopów powstałych w wyniku pracy reaktora jądrowego. Na uznanie zasługuje przedstawienie zasad składowania izotopów promieniotwórczych i opis działań zmierzających do pokojowego wykorzystania wojskowych zapasów materiałów rozszczepialnych oraz materiałów pochodzących z demontowanych głowic jądrowych.

Niektóre ilustracje nie zachęcają do sięgnięcia po tę pozycję. Być może są one do przyjęcia dla francuskiego, ale chyba nie dla polskiego czytelnika. Komiksowe rysunki utrudniają przyswojenie tekstu, są wręcz denerwujące. Przykładem jest ilustracja (s. 216) przedstawiająca słonia na żyrafie z następującym podpisem: „Połączenie akceleratora z reaktorem jądrowym – spółkowanie niezgodne z naturą, czy przyszłość energetyki jądrowej?”.

Ponadto w paru przypadkach zawiodło szacownych Autorów wyczucie dydaktyczne. Próba przybliżenia trudnych zagadnień fizyki jądrowej przeciętnemu czytelnikowi jest wyraźnie nieudana. Przekrój czynny na reakcję rozszczepienia uranu wywołaną neutronami tłumaczony jest za pośrednictwem wyszukanej analogii: puchnąca żabka spada na spadochronie (z samolotu, który rozleciał się w powietrzu) na jedną z dwóch wysp (s. 77). Spowalnianie neutronów w moderatorze ilustrowane jest przez żabki spadające w dół poprzez stado gołębi (s. 86)! Bez wątpienia lepszą ilustracją tekstu byłyby unikalne fotografie, którymi bez wątpienia dysponują Autorzy. Byli oni przecież w centrum znaczących wydarzeń naukowych, technicznych czy też polityczno-wojskowych i na pewno mieli dostęp do bogatych archiwów. W książce zamieszczone są tylko trzy takie fotografie – zdjęcia Hiroszimy wykonane po eksplozji bomby jądrowej (s. 257) oraz zdjęcie satelitarne samolotów wojskowych oczekujących na likwidację.

Chociaż Autorzy są zdeklarowanymi zwolennikami energetyki jądrowej, to w książce podane są również argumenty ich przeciwników. Dzięki temu czytelnik może wyrobić sobie własny pogląd na tę sprawę. Książka ma dwóch znakomitych Autorów i w zasadzie jest ich wspólną pracą. W niektórych przypadkach przedstawiają oni jednak swoje przemyślenia oddzielnie. Nadmiernie są eksponowane niewielkie różnice w ich poglądach, czasami trudne do zrozumienia przez przeciętnego czytelnika. Ponadto występuje zbyt duże uwikłanie w sprawy bieżące

i politykę. Moim zdaniem wiele z tych zagadnień szybko straci swoją aktualność.

Tłumaczenie książki jest dobre, choć zdarzają się drobne potknięcia, które jednak nie utrudniają zrozumienia tekstu.

Gościwie zachęcam do przeczytania tej bardzo ciekawej i wartościowej pozycji. Podane w niej informacje mogą być szeroko wykorzystane w pracy dydaktycznej w szkołach wyższych.

Mieczysław Budzyński
Instytut Fizyki UMCS
Lublin

Kraina czarów czy kraina kwantów?

Robert Gilmore: *Alicja w krainie kwantów. Alegoria fizyki kwantowej*, z jęz. angielskiego przełożył Piotr Rączka, Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 2000.

Przygody Alicji w Krainie Czarów Lewisa Carrolla to jedna z moich ulubionych książek. Nie jestem tu bardzo oryginalny, od ponad stu lat kolejne pokolenia młodych i starszych ludzi zachwycają się przygodami Alicji. Książka ma szereg walorów. Niektórzy czytelnicy podziwiają typowo angielski, absurdalny humor, którym prześiąknięta jest książka. Różne powiedzonka z *Alicji* weszły na trwałe do języka angielskiego.

Jest jeszcze jedna, głębsza warstwa *Alicji*: jak w krzywym zwierciadle oglądać tam można dziewiętnastowieczną Anglię. Im więcej się wie o życiu w Anglii, tym lepiej można zrozumieć tajemnicze postacie, jak Szalonego Kapelusznika czy Fałszywego Żółwia (opieram się na tłumaczeniu Roberta Stillera, angielską nazwę „Mock Turtle” Maciej Słomczyński przetłumaczył „Żółwiciel”, a Antoni Marianowicz – „Niby Żółw”). Ale żeby to wszystko pojąć, trzeba dużo wiedzieć o życiu w Anglii, o Oxfordzie i o dość nietypowych upodobaniach Charlesa Dodgsona, piszącego pod pseudonimem Lewis Carroll.

W zasadzie można sprawę odwrócić i próbować poznać życie w dziewiętnastowiecznej Anglii na podstawie lektury *Alicji*. Nie jest to sprawa beznadziejna, można dowiedzieć się na przykład, że dzieci chodziły do szkoły, że miały tam nadobowiązkowe lekcje języka francuskiego itd. Ale, szczerze mówiąc, nie jest to dobra metoda poznawania życia Anglików. *Alicja* Lewisa Carrolla nie była przecież pomyślana jako prawdziwy czy satyryczny obraz ówczesnej Anglii. To nie odniesienia do rzeczywistej Anglii i realiów życia w Oxfordzie stanowią o wartości książki. Można by się też zastanawiać, czy lektura *Alicji* nakłoni czytelnika do szukania w innych źródłach informacji o historii Anglii. Jednak szczerze wątpię, by tak się stało.

Alicja w krainie kwantów Roberta Gilmore'a ma za zadanie popularyzować fizykę kwantową. Występuje ta sama Alicja co u Lewisa Carrolla; w bajkowy sposób Autor przeniósł ją w inną krainę – świat kwantów. Pomysł jest niezły, świat kwantów jest przecież równie odległy

od „normalnego” świata, jak kraina czarów z oryginalnej *Alicji*. Tym razem jednak czytelnik ma towarzyszyć Alicji w poznaniu i zrozumieniu tego dziwnego, niemal bajkowego świata. Interferencja amplitud, tłumaczona tu jako chodzenie jednocześnie wieloma drogami, doskonale pasuje do nastroju oryginalnej Alicji z krainy czarów. Podobnie jak u Lewisa Carrolla są też odniesienia do „normalnego” świata. Jak w krzywym zwierciadle możemy w świecie kwantów dostrzec znane prawa. Na przykład, w świecie kwantów też obowiązuje zasada zachowania energii, choć to prawo zachowania przejawia się czasem w specyficzny sposób, nie znany z „normalnego” świata. W świecie kwantów zachodzi też mnóstwo nieoczekiwanych zjawisk, które nie mają swoich odpowiedników w świecie makroskopowym. Poznajemy je wraz z Alicją.

Na uznanie zasługuje fakt, że Autor nie ograniczył się do standardowych zjawisk, omawianych w innych popularnych książkach. Interpretacja mechaniki kwantowej według Szkoły Kopenhaskiej, wieloświatowa interpretacja Everetta czy wreszcie parametry ukryte – tego na ogół nie omawia się w tekstach popularnych. Gilmore przedstawił te problemy w dowcipny sposób. Oczywiście pojawił się bliski krewny Kota z Cheshire, czyli Kot Schrödingera, który zniknął w stosownym momencie. O interpretacji kopenhaskiej opowiada Alicji szacowny profesor; jego pierwowzorem jest oczywiście Niels Bohr. Inne interpretacje przedstawiają natomiast postacie znane z bajek Andersena – to też subtelny ukłon w stronę Kopenhagi.

Inne pojęcia i zagadnienia, z którymi styka się Alicja w krainie kwantów, to nierozróżnialność cząstek, budowa atomów i jąder atomowych, niektóre procesy zachodzące w atomach i jądrach, klasyfikacja cząstek elementarnych i cząstki wirtualne.

Autorowi udało się uniknąć błędów, jest on przecież wybitnym fizykiem. Można trochę „czepiać się” – np. Alicja ogląda funkcję falową elektronu w postaci chmurki; co to właściwie znaczy? Czy dokonała obserwacji? Wówczas powinna znaleźć cały ładunek elektronu w jakimś punk-

cie. A jeśli Alicja, jako obiekt kwantowy, nie dokonywała obserwacji, to co oznacza, że zobaczyła funkcję falową?

Gilmore dokonał niemal cudu utrzymując w swojej książce nastrój oryginalnej *Alicji* Lewisa Carrolla. Mimo to czegoś tej *Alicji w krainie kwantów* brakuje. Wprawdzie tekst czyta się gładko, przygody Alicji w krainie kwantów wciągają, ale to jednak nie to samo, co oryginalna *Alicja*. Zabrakło tu tego angielskiego humoru; tych absurdalnych sytuacji, powiedzonek, które charakteryzują tekst Lewisa Carrolla. Wszystko jest trochę zbyt poważne jak na Alicję.

Pozostaje trudny do rozstrzygnięcia problem, dla kogo książka jest przeznaczona. Ja przeczytałem ją z wielką przyjemnością, ale jestem nietypowym czytelnikiem. Bardzo lubię oryginalną *Alicję* i znam fizykę kwantową z innych źródeł. W przeciwieństwie do dzieła Lewisa Carrolla recenzowana książka stara się przedstawić, choćby z grubsza, coś poważnego, mianowicie zasady teorii kwantów. Moim zdaniem każdy może książkę przeczytać z niejaką przyjemnością, ale nauczyć się z niej teorii kwantów jest niesłychanie trudno. To trochę tak, jakby starać się dowiedzieć o życiu w dziewiętnastowiecznym Oxfordzie z oryginalnej *Alicji*. Czy przygody Alicji w krainie kwantów zachęcą kogoś do głębszych studiów nad fizyką kwantową? Nie sądzę; przypuszczam, że osoby nie znające fizyki kwantowej potraktują przygody Alicji jako udziwnianie świata. Obym nie miał racji.

Książka została wydana bardzo starannie, w twardej okładce, na ładnym papierze. Na uwagę zasługują rysunki, utrzymane w stylu oryginalnych ilustracji Johna Tenniela do *Przygód Alicji w Krainie Czarów*, a tłumaczenie z języka angielskiego jest wręcz doskonałe.

Jan Mostowski
Instytut Fizyki PAN
oraz Szkoła Nauk Ścisłych
Warszawa

Fizycy, opamiętajmy się

Z dużą przyjemnością i zaciekawieniem „rzuciłem się” na przeglądowy artykuł „Świat skorelowanych fermionów...” J. Spałka w pierwszym zeszycie bieżącego rocznika *Postępów Fizyki*. Niestety, szereg wzorów i zapisów zupełnie mi nie pasował do mojej elementarnej wiedzy z fizyki ciała stałego. Potrzebowałem trzykrotnej wymiany listów elektronicznych z Autorem, aby w pełni ustalić, o co chodzi. Okazało się, że pod nazwą „gęstość stanów kwantowych elektronów swobodnych w metalu” kryje się gęstość stanów przypadająca na jeden elektron (wymiar $[J^{-1}]$), a nie – jak konwencjonalnie przyjmuje się w podręcznikach – również na jednostkę objętości (wymiar $[J^{-1}m^{-3}]$). Pod nazwą „ciepło właściwe” kryje się ciepło molowe, pod nazwą „podatność paramagnetyczna elektronów swobodnych” – podatność przypadająca na jeden elektron. I to nie był problem wzorów prostych, tylko złożonych, bo na przykład podatność paramagnetyczną określono wzorem $\chi_p = 2\mu_B^2\rho(\epsilon_F)$, gdzie pierwsza wielkość po prawej stronie jest magnetonem Bohra, a druga gęstością stanów kwantowych na poziomie Fermiego. We wzorze tym, gdy gęstość stanów jest określona konwencjonalnie, podatność magnetyczna też wychodzi konwencjonalna, tzn. odnosząca się do jednostki objętości. Dopiero w bardziej złożonych zależnościach wychodziły mi sprzeczności. Przy wielkościach na osiach wykresów wymiary zapisano w nawiasach zwykłych, co może prowadzić do nieporozumień, bo (m) może oznaczać zależność funkcyjną od masy, albo wymiar „metr”. Na jednym z rysunków wymiar temperaturowego współczynnika ciepła molowego elektronów swobodnych (zależność liniowa od temperatury), który ma wymiar $[J^{-1}mol^{-1}K^{-2}]$, jest zapisany (mJ mol⁻¹U⁻¹K²). Kto to jest w stanie poprawnie odczytać? Albo wymiar podatności magnetycznej, zapisany (emu/mol-U)?

Artykuły przeglądowe w *PF* są bardzo ważnym źródłem dokształcania fizyków. Twierdzę, że większość absolwentów fizyki nie zna układu CGS. Wzory w artykule są pisane w CGS, a stosowane jednostki są mieszanką SI i CGS. Mój przykład dowodzi, że wyrobieni fizycy (uważam się za takiego) nie są w stanie się porozumieć. Co mówić o nauczycielach fizyki, o młodych fizykach? Potem płaczemy, że fizyka nie jest lubiana, nie jest rozumiana. Nie mam nic przeciw stosowaniu dowolnych jednostek i oznaczeń, ale jeżeli odbiegają od jednostek konwencjonalnych, czytelnik winien być o tym uprzedzony.

Mój list nie jest wycelowany w artykuł i w Autora. Przeciwnie, artykuł jest bardzo ciekawy i pouczający, a Autora wysoko cenię za jego dorobek. Chcę tylko zwrócić uwagę na sprawy, które zilustrowałem na przykładzie owego artykułu. W szczególności uważam, że rola Komitetu Redakcyjnego *PF* winna być bardziej aktywna w ta-

kich sprawach. Z wdzięcznością przyjmowałem dwa lata temu uwagi redakcyjne J. Gronkowskiego, które wyszły na dobre pisanemu wtedy przeze mnie artykułowi przeglądowemu. Takiej interwencji nie dostrzegam w przedstawianym przykładzie.

Andrzej Zastawny
Instytut Fizyki PŚI
Gliwice

Jednostki mają służyć fizyce

Otrzymałem od Pana prof. Andrzeja Zastawnego z Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej list na temat jednostek w materiale przedstawionym w rozdziale wstępnym mojego artykułu z *Postępów Fizyki*, nr 1 (2000), a właściwie w paragrafie 2.1. *Stan metaliczny jako gaz elektronów*. Pan Zastawny zapewnił mnie wcześniej pocztą elektroniczną, że uzgodniliśmy już stanowisko i rozumie moją argumentację. Ponieważ ten list napisany został później i zawiera kilka nowych rzeczy, a także przypomina mi tego typu dyskusje prowadzone w przeszłości w AGH, więc pozwolę sobie przy okazji odpowiedzi na te uwagi poruszyć kilka ogólniejszych problemów, które ujmę w punktach.

1. Muszę wyznać ze wstydem, że nie wpadłbym na to, żeby gęstość stanów mierzyć w odwrotnych dżulach (J^{-1}). Wynika to z tego, iż uważam (podobnie chyba myśli zdecydowana większość teoretyków), że należy stosować tzw. naturalne jednostki, dopasowane do charakteru problemu. Dlatego też gęstość stanów zawsze będę wyrażał (jeśli nie da się jej wyrazić bezwymiarowo) w liczbie stanów na 1 eV na atom na spin. Pozwala to porównać wkłady do tej wielkości od tego samego typu stanów (np. 3d) idąc wzdłuż serii pierwiastków lub związków tego samego typu. Bo przecież o uniwersalność czy tendencje chodzi nam najbardziej w obserwowanych zjawiskach.

2. Podobnie, jako ciepło właściwe będę zawsze chciał rozumieć ciepło molowe lub ciepło na atom (niekoniecznie na cząstkę), bo wtedy widzę, jak różni się np. układ ciężkofermionowy, taki jak $CeAl_3$ lub czysty metaliczny cer, od związku $LaAl_3$ lub czystego La, które elektronów 4f nie mają. A w ogóle lepiej takie molowe ciepło podzielić przez stałą uniwersalną (gazową) R i mamy je wtedy bezwymiarowe. Takie podejście pociąga za sobą to, co napisałem w punkcie 1: dobieramy odpowiednio jednostki dla gęstości stanów, jeśli np. gęstość stanów na poziomie Fermiego ($\rho(\epsilon_F)$) jest wielkością dynamiczną opisującą daną wielkość termodynamiczną (np. liniowy współczynnik γ odpowiedniego ciepła). Podobnie

ma się rzecz z podatnością magnetyczną χ , którą należy brać albo na mol związku, albo na mol atomów odpowiedniego typu (np. mol-U = mol uranu), albo na atom, w zależności od tego, jaką fundamentalną zasadę konkretne wyniki mają ilustrować. Piszę tu oczywistości dla ludzi pracujących aktywnie naukowo np. w dziedzinie fizyki ciała stałego czy statystycznej, ale widać jest potrzebne, żebym to, co napisałem prof. Zastawnemu prywatnie, powtórzył także publicznie.

3. Tu dochodzę do sedna sprawy: do wyboru układu jednostek, a w szczególności do ważności układu SI. Jak już powiedziałem, purystów w sprawach jednostek spotkałem wśród ludzi uczących fizyki inżynierów. Nie ma się czemu dziwić, nasza technologia opiera się na mechanice i elektrodynamice. Ale w coraz większym stopniu wchodzi także elektronika kwantowa, która zapewne zdominuje wiek XXI, jeśli wszystko nie przechyla się w stronę komputerów i sterowników biomolekularnych. Nie należy jednak przesażać z układem SI tam, gdzie wydaje się on układem wtórnym, tj. w badaniach naukowych, w których chcemy uchwycić uniwersalność zjawiska na podstawie obserwacji tendencji zachowania się poszczególnych wielkości. Poza tym, nawet inżynierowie muszą wiedzieć o tym, że jednostki są przedmiotem wyboru nawet w sytuacji, gdy jeden system jest obowiązujący. Jest tak chociażby dlatego, że nawet najpotężniejszy technologicznie kraj nie uznaje powszechnie układu metrycznego (zresztą, szkoda!). To, co jest istotne, to prawa skalowania wielkości fizycznych i naturalny ich dobór. Dlatego też powiedzenie, że „rozmiar atomu to nowa skala długości zjawisk: 1 \AA , który wynosi 10^{-10} m ” uważam za właściwsze przy uczeniu, niż po prostu stwierdzenie, że „rozmiar atomu wynosi ileś tam dziesiątych części nanometra”.

4. Nie zgadzam się z opinią, że większość absolwentów fizyki nie zna układu CGS. Mam nadzieję, że nie dotyczy to naszych renomowanych uczelni, aczkolwiek nawet jeśli pojedynczy absolwenci są ograniczeni, to nie powinno to oznaczać, że należy podchodzić z pobożnością do układu SI, bo i tak używamy w pracach oryginalnych MeV, kOe, Gs itp. Fizyka jest nie lubiana nie dlatego, że ktoś użyje innego układu niż SI, a dlatego, że po prostu to bardzo trudny przedmiot i w dodatku

nie dający (jeszcze!) podstawy do godziwych zarobków, przynajmniej w naszym kraju.

5. Uwagi techniczne. W liście Pana A. Zastawnego niepoprawnie napisane są jednostki γ (dla ciepła molarowego winno być $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-2}$). Nawiasów zwykłych dla oznaczenia jednostek używają także renomowane czasopiśma, np. *Phys. Rev.* czy *Phys. Rev. Letters*. Cóż, *tempora mutantur*. . . W końcu, tytuł listu uważam za pozbawiony racji, jeśli nie dobrego smaku.

Oczywiście zgadzam się, że w zastosowaniach lub w opracowaniach praktycznych dyscyplina w wyborze jednostek jest ważniejsza, jeśli nie nieodzowna.

Nota dodana przy korekcie. Dość długo już pracuję (doktorat w 1975 r.), żeby stwierdzić, że każdy, nawet najmniejszy problem fizyczny żyje własnym życiem, niezależnym od czasu. Jest tak, że podobne problemy, a nawet argumentacje, podniesione w moim liście, znalazłem przypadkowo w *American Journal of Physics* (tom 67, s. 13–15 (1999)), a także w Dziale Listów w tomie 68, s. 497–8 (2000).

Warto do nich zajrzeć, gdyż piszą tam także ortodok-SI. Najzabawniejszy jednak epizod napisało samo życie. Otóż sonda marsjańska Pathfinder przepadła (a wraz z nią setki milionów dolarów), ponieważ inżynierowie z NASA pomylili jednostki metryczne z anglosaskimi (sic!). W ten sposób Pathfinder to w gruncie rzeczy „Pathloser”. Oto m.in. dlaczego czasopismo dla nauczycieli, jakim jest *AJP*, odchodzi od zalecenia drukowania prac z wielkościami wyłącznie w układzie SI. Powyższe uwagi w gruncie rzeczy nie odnoszą się już do listu Pana prof. Zastawnego, a raczej są ogólnymi refleksjami. Doprowadza mnie bowiem do pasji zapis prawa Coulomba w pierwszej klasie liceum ze wszystkimi szczegółami. Co niby ma to dać? Jak dziecku wytłumaczyć, że stała dielektryczna próżni nie jest jedyką (wartością odniesienia), a jakimiś liczbami, nic nie wnoszącymi do zrozumienia idei siły i pola elektrostatycznego.

W równaniu (6) w moim artykule nie powinno być czynnika ρ_0 w mianowniku.

Józef Spatek
Instytut Fizyki UJ
Kraków

PTF

Oddział Gdański

W dniu 23 marca 2000 r. odbyło się walne zebranie sprawozdawczo-wyborcze Oddziału. Jak wynika ze sprawozdania przewodniczącego ustępującego Zarządu, Eugeniusza Czuchaja, Oddział liczy 122 członków. W okresie sprawozdawczym kontynuowano akcję wykładów skierowanych głównie do uczniów szkół ponadpodstawowych i nauczycieli. Wykłady były prowadzone zarówno na Politechnice Gdańskiej (14 wykładów), jak i na Uniwersytecie Gdańskim (18 wykładów). O zainteresowaniu nimi świadczy wysoka frekwencja, wynosząca średnio 160 osób. Wygłoszono również 8 wykładów naukowych, głównie przez uznanych fizyków polskich. W Oddziale sprawnie działa Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej, który przeprowadził zawody drugiego stopnia w latach 1998 i 1999.

Ustępującemu Zarządowi jednogłośnie udzielono absolutorium. Wybrano nowy Zarząd w składzie: przewodniczący – Eugeniusz Czuchaj, wiceprzewodniczący – Jarosław Rybicki, sekretarz – Stanisław Zachara, skarbnik – Jacek Pączkowski, członkowie – Józef Terlecki i Bogusława Strzelecka.

Stanisław Zachara

Nominacje profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej otrzymali w dniu 7 czerwca 2000 r.: Zofia Krystyna Drzazga (UŚI), Stefan Krompiewski (IFM PAN, Poznań), Krzysztof Kulański (AGH) i Piotr Malecki (IFJ, Kraków); w dniu 4 lipca 2000 r. tytuł otrzymali: Maciej Józef Błaszak (UAM), Jacek Andrzej Ciborowski (UW), Jan Dec (UŚI), Wojciech Jerzy Gadomski (UW), Edmund Władysław Gierlik (SGGW, Warszawa), Paweł Kowalczyk (UW), Andrzej Okniński (PŚw, Kielce), Roman Stefan Stępniewski (UW), Andrzej Jerzy Wojtowicz (UMK), Danuta Wróbel (PP) i Agnieszka Zalewska (IFJ, Kraków).

Rzeczpospolita, nr 132 i 154 (2000)

Profesura h.c. Andrzeja Szytuły

W dniu 27 kwietnia 2000 r. prof. Andrzej Szytuła z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego otrzymał tytuł profesora honoris causa Uniwersytetu św. Cyryla i Metodego w Skopie (Republika Macedonii). Promotorem był prof. Stanoja Stoimenov.

Andrzej Szytuła urodził się w Tarnowie w roku 1940. Studiował na Uniwersytecie Jagiellońskim na ówczesnym Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii. Po studiach pod-

jął pracę w Instytucie Fizyki UJ, gdzie pracuje do chwili obecnej. Doktorat (1970), habilitację (1972) i profesurę (1984) uzyskał na Uniwersytecie Jagiellońskim. W swoim dorobku ma ok. 300 prac naukowych.

Od roku 1968 współpracuje z naukowcami z Belgradu, Lublany, Skopie i Zagrzebia, prowadząc badania w zakresie własności strukturalnych, magnetycznych i nadprzewodzących kryształów. Współpraca z fizykami ze Skopie była prowadzona w ramach istniejącej od 1971 r. umowy pomiędzy tamtejszym Uniwersytetem i Uniwersytetem Jagiellońskim. Od początku tej współpracy prof. Szytuła kierował ze strony polskiej wspólnymi badaniami z zakresu fizyki ciała stałego. Dzięki jego zaangażowaniu, mimo licznych przeszkód natury politycznej, współpraca przetrwała i jest kontynuowana. Jej efektem są liczne publikacje oraz komunikaty konferencyjne dotyczące własności stopów, związków międzymetalicznych i nadprzewodników wysokotemperaturowych. W roku 1985 z okazji 40-lecia Wydziału Przyrodniczo-Matematycznego Uniwersytetu w Skopie prof. Szytuła otrzymał medal rocznicowy. W trakcie uroczystości promocyjnej rektor Uniwersytetu w Skopie, prof. Aleksander Ancewski, podkreślił, że prof. Szytuła wniósł znaczący wkład w rozwój naukowy i kadrowy tamtejszego Instytutu Fizyki, wprowadzając nową tematykę (badania nadprzewodników wysokotemperaturowych), jak również uczestnicząc i wygłaszając referaty na konferencjach oraz seminariach organizowanych przez Instytut.

Andrzej Zięba

Peter Mansfield doktorem h.c. UJ

W dniu 2 czerwca 2000 r. Senat Uniwersytetu Jagiellońskiego nadał godność doktora honoris causa prof. Peterowi Mansfieldowi z Uniwersytetu w Nottingham. Promotorem był niżej podpisany, a recenzentami profesorowie: Stefan Jurga z UAM w Poznaniu oraz Richard R. Ernst z ETH w Zurychu, laureat Nagrody Nobla z chemii w 1991 r.

Sir Peter Mansfield, profesor Uniwersytetu w Nottingham, jest jednym z najwybitniejszych uczonych światowej sławy, którego prace i odkrycia naukowe stworzyły nowe możliwości badawcze w fizyce, chemii, inżynierii materiałowej, biologii i medycynie.

Osiągnięcia naukowe prof. Mansfielda reprezentuje ok. 300 publikacji naukowych i artykułów przeglądowych, jedna monografia oraz 25 patentów. Znaczna ich część stanowi wyniki badań w zakresie dynamiki molekularnej i spinowej oraz metod impulsowych magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR), które doprowadziły do odkrycia obrazowania magnetyczno-rezonansowego (MRI) w 1973 r.

Po uzyskaniu stopnia doktora na Wydziale Fizyki w Queen Mary College w Londynie w 1962 r. i po dwuletnim okresie pracy naukowej na Wydz. Fizyki Uniwersytetu w Illinois, Mansfield od 1964 r. pracuje na Uniwersytecie w Nottingham. Już w pierwszych latach swojej działalności naukowej opracował nowe metody badań dynamiki molekularnej i spinowej oraz metodę wysokiej zdolności rozdzielczej dla ciał stałych i ciekłych kryształów, oparte na wykorzystaniu odpowiednio dobranych sekwencji impulsów o wielkiej częstotliwości radiowej oraz wykonał badania tensorów ekranowania przy użyciu powyższych metod. Opublikował również pionierskie prace na temat badań widm NMR dla rzadko występujących jąder atomowych o małym współczynniku giromagnetycznym. Prace te otworzyły nowe możliwości badań w zakresie inżynierii materiałowej.

Do najważniejszych osiągnięć Mansfielda należy zaliczyć metodę obrazowania magnetyczno-rezonansowego MRI, przedstawioną po raz pierwszy w 1973 r. w Krakowie na konferencji „First Specialized Colloquium AMPERE”, w referacie plenarnym „NMR Diffraction in Solids”, w którym Autor pokazał mikroskopowy obraz próbki złożonej z płytek kamfory. Referat ten był największą rewelacją tamtej konferencji i wywołał długotrwałą, ożywioną dyskusję. Metoda ta została opublikowana w 1973 r. w czasopiśmie *Journal of Physics C*. W tym samym roku prof. Paul Lauterbour – drugi z odkrywców obrazowania MRI – otrzymał metodą projekcji dwuwymiarowy obraz dwóch próbek wody.

W ostatnim ćwierćwieczu nastąpił gwałtowny rozwój metody MRI, w którym dominującą rolę odegrały prace Mansfielda. Dokonał on większości podstawowych odkryć w zakresie obrazowania (tomografii) MR, takich jak: obrazowanie liniowe i planarne oraz selektywne wzbudzenie spinów jądrowych, które umożliwia precyzyjny wybór obrazowanej warstwy i jest standardem we wszystkich tomografiach MR na całym świecie (a są już ich tysiące). Jest on twórcą metody echa planarnego (EPI) i przestrzennej metody obrazowania (EVI), przy wykorzystaniu szybkiej, wielokrotnej transformacji Fouriera, które są obecnie powszechnie stosowane. Profesor Mansfield jest również autorem i posiadaczem większości podstawowych patentów w metodzie MRI oraz autorem fundamentalnych prac na temat mikroskopii magnetyczno-rezonansowej (MRM).

Mikroskopia MRM łamie podstawowy kanon mikroskopii klasycznej, według którego granicą rozdzielczości przestrzennej jest w przybliżeniu połowa długości fali stosowanego promieniowania. W przypadku MRM stosujemy fale ultrakrótkie (UKF) o długości ok. 5 m, a rozdzielczość dochodzi obecnie do 5 μm , tzn. jest milion razy mniejsza od długości fali. Mansfield jako pierwszy zrozumiał, w jaki sposób można wykorzystać zjawisko dyfrakcji spójnego promieniowania UKF, tak aby uzyskać kontrastowe obrazy i duże powiększenia, przy użyciu silnych impulsowych gradientów pól magnetycznych, bez dyfrakcyjnej destrukcji obrazu, jaka zachodzi w przypadku mikroskopów optycznych. Odkrycie obrazowania MRI i mikroskopii MRM oraz ich znaczenie dla rozwoju nauki można

porównać z odkryciem obrazowania przy użyciu promieni rentgenowskich i mikroskopii elektronowej. Podobnie jak Wilhelm Roentgen, który w 1895 r. otrzymał przy użyciu promieni X pierwszy obraz (prześwietlenie) ludzkiej ręki, tak Mansfield uzyskał w 1976 r. przy użyciu fal radiowych pierwszy obraz MR ludzkiego palca *in vivo*, a następnie w 1978 r. pierwszy obraz MR wnętrza ciała człowieka, pokazujący przekrój przez brzuch, a potem obrazy struktury wewnętrznej innych organów. Dalsze prace Mansfielda doprowadziły do znacznego skrócenia czasu akwizycji, co umożliwiło obrazowanie ruchu serca oraz badania dyfuzji, perfuzji i przepływów. Te fundamentalne prace i odkrycia z zakresu MRI i MRM znalazły powszechne zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i w rutynowej diagnostyce medycznej.

Odkrycia naukowe prof. Mansfielda przyniosły mu wielkie światowe uznanie. Od roku 1987 jest członkiem Royal Society w Zjednoczonym Królestwie, zaś w 1992 r. za swe zasługi naukowe otrzymał tytuł szlachecki od królowej brytyjskiej Elżbiety II. Jest również doktorem honoris causa Uniwersytetu w Strasburgu i doktorem honorowym Uniwersytetu Kent oraz członkiem honorowym szeregu towarzystw naukowych i członkiem komitetów redakcyjnych znanych czasopism oraz wydawnictw naukowych, jak również laureatem wielu prestiżowych nagród i odznaczeń. Był również zapraszany do czołowych instytutów naukowych, m.in. do Instytutu Maksa Plancka w Heidelbergu w latach 1972–73 i na Uniwersytet Waterloo w Kanadzie oraz do wygłoszenia cykli wykładów specjalistycznych i bardzo wielu referatów plenarnych na najważniejszych konferencjach i kongresach naukowych na całym świecie. Jest powszechnie uznawany za głównego twórcę metody obrazowania (tomografii) MR, stosowanej powszechnie w diagnostyce medycznej, i uważany za potencjalnego kandydata do Nagrody Nobla.

Profesor Mansfield od szeregu lat jest dyrektorem Centrum Magnetycznego Rezonansu przy Uniwersytecie w Nottingham. Wypromiował 38 doktorów, a ponadto pod jego kierunkiem wyspecjalizowało się w zakresie spektroskopii NMR i obrazowania MR 27 naukowców z całego świata.

Od ponad 30 lat istnieją bardzo bliskie kontakty naukowe między laboratoriami NMR w Nottingham i Krakowie. Kilku profesorów i docentów Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie i Uniwersytetu Jagiellońskiego przebywało na Uniwersytecie w Nottingham w ramach krótszych lub dłuższych wizyt lub staży naukowych. Dzięki współpracy i kontaktom naukowym z prof. Mansfieldem (również w wyniku wielu naszych dyskusji w Heidelbergu) rozwinięto w Instytucie Fizyki UJ i IFJ w Krakowie nowe kierunki badań w zakresie spektroskopii NMR. Profesor Mansfield wniósł również ważny wkład w powstanie i rozwój pierwszej w Polsce Pracowni Tomografii MR w Krakowie.

Pragnę wyrazić wielką radość nas wszystkich, że w uznaniu olbrzymich zasług prof. Mansfielda dla nauki światowej, a dla krakowskiego ośrodka naukowego w szczególności, nasza Alma Mater wyróżniła go najwyż-

szą godnością, jaką Uniwersytet dysponuje, zaliczając go w poczet swoich doktorów honoris causa.

Jerzy S. Blicharski

Medal Merentibus dla Waltera Oelerta

W dniu 25 września 1999 r. JM Rektor Uniwersytetu Jagiellońskiego prof. Franciszek Ziejka wręczył Walterowi Oelertowi Medal Merentibus i dyplom w języku łacińskim o następującej treści:

„My Rektor Magnificus Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie działając na mocy decyzji Senatu naszej Uczelni nadajemy Walterowi Oelertowi z Centrum Badawczego w Jülich, profesorowi Uniwersytetu Ruhry w Bochum, wybitnemu fizykowi, który pierwszy w świecie wytworzył atomy antymaterii, prawa, przywileje i godności Merentibus Uniwersytetu Jagiellońskiego”.



Uroczystość nadania Medalu Merentibus UJ Walterowi Oelertowi. Od lewej: Dziekan Wydz. Matematyki i Fizyki prof. Karol Musioł, prof. Walter Oelert, JM Rektor UJ prof. Franciszek Ziejka, promotor prof. Lucjan Jarczyk.

Senat UJ podejmując uchwałę chciał podkreślić nie tylko osiągnięcia naukowe prof. Oelerta, ale także jego wielki wkład do owocnej współpracy między naszym Uniwersytetem a ośrodkiem w Jülich, trwającej już ponad 20 lat. W ciągu ostatniego dziesięciolecia, tj. od chwili rozpoczęcia budowy w Jülich dużego akceleratora COSY (COoler SYNchrotron), który może przyspieszać protony (w tym także spolaryzowane) do energii 2,6 GeV, współpraca uległa znacznej intensyfikacji. Jej znaczenie dla Uniwersytetu jest ważne z co najmniej dwóch powodów.

Po pierwsze, daje fizykom krakowskim możliwość prowadzenia badań z wykorzystaniem nowoczesnego akceleratora, jakim jest COSY, oraz nowoczesnej techniki pomiarowej i komputerowej. Wśród problemów naukowych realizowanych w ramach tej współpracy można wymienić badania procesów produkcji hadronów (szczególnie tych, które zawierają kwarki dziwne), wzajemnego oddziaływania między nimi i badania łamania podstawowych symetrii. Owocem tej współpracy jest cały szereg prac opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu światowym, by wymienić tylko tak znaczące, jak *Phys. Rev.*

Letters czy *Phys. Letters*. Fizycy krakowscy są bardzo aktywnymi partnerami tej współpracy, inicjatorami nowych oryginalnych eksperymentów akceptowanych do realizacji przez międzynarodowy Komitet Programowy PAC (Program Advisory Committee).

Drugim ważnym aspektem współpracy jest rozwój naukowy pracowników Uniwersytetu. Wyniki badań uzyskane w Jülich pozwoliły na przygotowanie trzech zakończonych przewodów habilitacyjnych, siedmiu prac doktorskich oraz kilkunastu prac magisterskich.

Obraz tej współpracy nie byłby kompletny, gdyby nie wspomnieć o stosunkach międzyludzkich, stosunkach między Polakami i Niemcami, które były tak mocno obciążone przeszłością. Są one bardzo dobre, przyjacielskie. Zawdzięczamy to Walterowi Oelertowi.

W czasie uroczystości wręczenia Medalu Merentibus prof. Lucjan Jarczyk, wygłaszając laudację, podkreślił wielkie znaczenie dla obu instytucji tej tak owocnej współpracy, rolę, jaką odegrał w jej kształtowaniu prof. Oelert, i wyraził nadzieję, że będzie ona nie tylko nadal trwała, ale jeszcze bardziej się pogłębiała.

Dwudniowa sesja naukowa, która poprzedziła wręczenie Medalu i była zatytułowana „10 lat współpracy COSY między Uniwersytetem Jagiellońskim i Centrum Badawczym w Jülich” w pełni pokazała, że wyrażona w laudacji nadzieja jest uzasadniona. W czasie sesji przeprowadzono ocenę dotychczasowej współpracy i nakreślono program dalszych wspólnych badań. Wśród uczestników sesji i uroczystości należy wymienić ze strony niemieckiej prof. Wagnera, zastępcę dyrektora Centrum i kierowników wszystkich instytutów związanych z akceleratorem COSY – profesorów Kiliana, Maiera, Špetha i Stroehera.

Sylwetkę Waltera Oelerta charakteryzują w skrócie następujące fakty. Jest długoletnim pracownikiem naukowym Instytutu Fizyki Jądrowej Centrum Badawczego w Jülich oraz profesorem Uniwersytetu Ruhry w Bochum. Zajmował się bardzo różnorodną tematyką związaną z fizyką jądrową, a od kilkunastu lat z fizyką cząstek elementarnych. Prowadzi badania przy akceleratorach COSY w Jülich, CELSIUS w Uppsali oraz w CERN-ie. W tym ostatnim ośrodku wykorzystuje wiązkę antyprotonów z pierścienia akumulacyjnego LEAR do produkcji hadronów dziwnych, w szczególności cząstek lambda-antylambda i sigma-antysigma. Badał ich produkcję oraz korelacje kątowe i spinowe. Jego największym osiągnięciem jest zaprojektowanie i przeprowadzenie eksperymentu mającego na celu wyprodukowanie atomów antymaterii. Doświadczenie przeprowadzono z wykorzystaniem, jak poprzednio, wiązki antyprotonów pierścienia akumulacyjnego LEAR. Kierowana przez prof. Oelerta grupa wytworzyła po raz pierwszy na świecie atomy antywodoru, składające się z antyprotonu i antyelektronu (pozytonu).

Dzięki temu sukcesowi podjęto w CERN-ie decyzję przeprowadzenia znacznie bardziej ambitnego programu, którego celem jest stwierdzenie, czy materia i antymateria mają takie same własności. Doświadczenie polegać będzie

na porównaniu własności atomów wodoru i antywodoru, w szczególności na porównaniu przejść elektromagnetycznych. Oczekujemy, że materia i antymateria zachowują się identycznie. Ewentualne różnice, jeśli w ogóle będą występować, będą bardzo małe. Wobec tego w doświadczeniu, jakie ma być przeprowadzone w CERN-ie, przewiduje się bardzo dużą dokładność pomiaru przejść elektromagnetycznych z wykorzystaniem techniki laserowej. Prof. Oelert wraz ze swą grupą jest w tym dużym przedsięwzięciu odpowiedzialny za część jądrową, czyli za wytwarzanie i pułapkowanie atomów antywodoru. Projekt pomiaru został zaakceptowany przez odpowiednie gremia. Aparatura jest w zasadzie gotowa. W najbliższym czasie rozpoczną się pierwsze próby pułapkowania atomów antywodoru. Przewiduje się zakończenie eksperymentu za 3 lata.

Gdyby okazało się, że występują różnice między własnościami materii i antymaterii, to musielibyśmy wtedy dokonać bardzo poważnej weryfikacji naszych wyobrażeń o symetriach elementarnych, a nawet o powstaniu Wszechświata.

Lucjan Jarczyk

Esaki reformuje edukację w Japonii

W Japonii została powołana Komisja Reformy Edukacji, a jej przewodniczącym został Leo Esaki (Nagroda Nobla z fizyki 1973 r. za odkrycie zjawiska tunelowania w półprzewodnikach).

Esaki wskazał kierunek działania Komisji mówiąc, że największym wyzwaniem dla reformy edukacji będzie próba rozwijania wyobraźni i zdolności twórczych.

Esaki dobrze zna wartość edukacji i kreatywności. Ukończył fizykę na Uniwersytecie Tokijskim i pracował w firmie Sony, gdzie odkrył zjawisko tunelowania, wykorzystane w diodach Esakiego. W roku 1960 zaczął pracować w IBM w Stanach Zjednoczonych, gdzie wraz ze współpracownikami zaproponował budowę półprzewodnikowych supersieci i studni kwantowych. Później (1998 r.) otrzymał za to w Japonii Wielką Wstęgę Orderu Wschodzącego Słońca. W roku 1992 wrócił do Japonii i został rektorem Uniwersytetu Tsukuba. Wysznuł propozycje zmian kształcenia w państwowych uniwersytetach japońskich.

Komisja zbada strukturę japońskiego systemu edukacji 6-3-3-4, tj. 6 lat szkoły elementarnej, po 3 lata niższej i wyższej szkoły średniej i 4 lata uniwersytetu. Ma także zaproponować zmiany w przepisach prawnych związanych z edukacją i rozważyć możliwość wprowadzenia bardziej elastycznego systemu kształcenia, zapewniającego lepsze wykorzystanie indywidualnych zdolności ucznia lub studenta.

Pacific Friend 28, nr 2 (2000)

B. W.

Z Genewy do Abruzzo w 2,5 milisekundy

Realizowany jest już projekt wystania wiązki neutrin z CERN-u do odległego o 730 km obserwato-

rium pod Gran Sasso (Abruzzo). Czas przebiegu neutrin wyniesie 2,5 ms. To przedsięwzięcie jest współpracą CERN-u z włoskim Narodowym Instytutem Fizyki Jądrowej (INFN). Doświadczenie ma się zacząć w 2005 r. (15 maja o 8 rano!) i należy się spodziewać, że dostarczy informacji zarówno o działalności Słońca, jak też o tym, gdzie ukrywa się brakująca masa Wszechświata.

Wyniki niedawnych doświadczeń, przede wszystkim w japońskim laboratorium SuperKamiokande, wskazują, że neutrina są obdarzone masą i mogą oscylować, czyli zmieniać swój stan między typami: elektronowym, mionowym i taonowym. Jeśli tak rzeczywiście jest, to wyjaśniałoby to, dlaczego obserwuje się mniej neutrin pochodzących ze Słońca niż należałoby się spodziewać; w reakcjach jądrowych na Słońcu powstają neutrina elektronowe, lecz część z nich w drodze ku Ziemi zmieniałaby się na neutrina innych typów.

Celem projektowanego doświadczenia jest obserwacja neutrin po przebyciu długiej drogi z Genewy do Abruzzo. Wiązkę wychodzącą z CERN-u stanowić będą neutrina mionowe, natomiast we Włoszech będzie się rejestrować tylko neutrina taonowe (o ile istotnie taka przemiana zachodzi). Zaobserwowanie takiej przemiany stanowiłoby dowód, że neutrina istotnie mają masę, co częściowo wyjaśniałoby, dlaczego obserwujemy we Wszechświecie mniej masy niż powinno jej być.

CERN Annu. Rep. (1999)

B. W.

Quatratron

Norman Booth (Oxford) i Antonio Barone (Uniwersytet w Neapolu) wraz ze współpracownikami opracowali i sprawdzili działanie nadprzewodnikowego urządzenia podobnego do tranzystora, które nazwali „quatratron”.

Korzyści z elektroniki nadprzewodnikowej polegają na zdolności szybkiego przełączania, możliwości zbudowania czujników działających w bardzo niskiej temperaturze (w której konwencjonalne tranzystory działają źle lub nie działają wcale) i wysokiej czułości na padające promieniowanie elektromagnetyczne (co jest szczególnie użyteczne w badaniach astrofizycznych).

Quatratron składa się z 3 warstw metalu przedzielonych dwiema barierami-izolatorami, czyli układu dwóch złącz tunelowych. Potencjał elektryczny przyłożony do pierwszego złącza rozrywa cooperowskie pary elektronów w nadprzewodzącej warstwie iniektora. Wzbudzenia elektronowe (kwazicząstki) mogą tunelować do nadprzewodzącej warstwy środkowej. Kwazicząstki dyfundujące do części metalowej warstwy środkowej oddają energię (użytkowaną z rozrywania par cooperowskich) swobodnym elektronom w metalu, a te z kolei mogą tunelować przez drugie złącze. W wyniku daje to 70-krotny zysk natężenia prądu płynącego przez urządzenie działające w temperaturze 4 K. Moc pobierana jest rzędu mikrowata, a napięcie – miliwolta (dla porównania, konwencjonalny tranzystor pobiera 1–10 mW, a napięcie pracy wynosi kilka woltów).

Quatratron jest odpowiednikiem tranzystorów zarówno typu p-n-p, jak i n-p-n, i wydaje się, że technologia jego masowej produkcji nie będzie trudniejsza niż dla tranzystorów konwencjonalnych.

AIP Update 493

B. W.

75 lat później

Wiosną 1925 r. Werner Heisenberg zachorował na ostry katar sienny i pojechał na wyspę Helgoland licząc, że pomoże mu pobyt w morskim powietrzu, z dala od kwitnących łąk i drzew.

W owym czasie Heisenberg pracował nad znalezieniem właściwych wyrażen na natężenie linii widmowych wodoru. Doszedł do przekonania, że nie można mówić o torach elektronów w atomie, natomiast zbiór częstości i amplitud drgań elektronów (a więc wielkości obserwowalnych) może służyć jako odpowiednik torów. Na przykładzie oscylatora anharmonicznego szukał sformułowania matematycznego, zapewniającego zachowanie energii.

Kuracja na wyspie szybko pomogła. Już po tygodniu znalazł rozwiązanie. Tak o tym pisze: „Moja praca koncentrowała się coraz bardziej na problemie zachowania energii i pewnego wieczoru dotarłem do tego, że wyznaczyłem poszczególne wyrazy w tabeli energii, lub, jak to się dziś mówi, w macierzy energii, na drodze dość uciążliwych, jak na dzisiejsze miary, rachunków. Gdy w pierwszych wyrazach rzeczywiście potwierdziło się zachowanie energii, ogarnęło mnie jakieś podniecenie, tak że w dalszych rachunkach wciąż robiłem błędy. Była już prawie trzecia w nocy, gdy miałem przed sobą końcowy wynik rachunków. (...) Byłem tak podniecony, że nie mogłem myśleć o śnie. Wyszedłem więc z domu o rozpoczynającym się już świtanie i poszedłem na północny cypel wyżyny, gdzie samotna, wystająca w morze iglica skalna wciąż budziła we mnie ochotę do prób wspinaczkowych. Udało mi się wspiąć na nią bez większych trudności i na jej szczycie doczekałem do wschodu słońca” (*Część i całość*, przekład Kazimierza Napiórkowskiego, PIW 1987).

W siedemdziesiąt pięć lat później, w lipcu 2000 r., staraniem Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego, Instytutu Fizyki Maksa Plancka oraz burmistrza Helgolandu ustawiono w pobliżu miejsca, gdzie znajdowała się owa nieistniejąca już iglica skalna, kamień z napisem przypominającym odkrycie Heisenberga.

Phys. Bl. 56, nr 6 (2000)

B. W.

Krzysztof Walasek (1943 – 1998)

Z prawdziwym smutkiem pożegnaliśmy prof. dr hab. Krzysztofa Walaska, cenionego badacza, nauczyciela akademickiego i wspianego kolegę.

Krzysztof Walasek urodził się w Radomiu 4 listopada 1943 r. W roku 1960 podjął studia na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W trakcie tych studiów przeniósł się na Uniwersytet Jagielloński. Zakład Fi-

zyki Ciała Stałego Instytutu Fizyki UJ był jego pierwszym miejscem pracy. Był od początku bardzo zaangażowany w badania teorii procesów nierównowagowych oraz dynamiki rotacyjnej sieci krystalicznej stałego wodoru. Badania te prowadził m.in. w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej. Po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych w 1971 r. przeniósł się do Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Tam prowadził badania dotyczące dynamiki sieci krystalicznej wodoru i własności magnetycznych związków uranu. W roku 1974 rozpoczął pracę w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej, gdzie napisał rozprawę habilitacyjną poświęconą sformułowaniu teorii funkcji Greena dla krystalicznych układów spinowych i pseudospinowych przy użyciu metod funkcjonalnych i techniki diagramowej. W roku 1985 przeniósł się do powstającego Uniwersytetu Szczecińskiego, gdzie objął funkcję kierownika Katedry Fizyki i prodziekana. Z Wyższą Szkołą Pedagogiczną w Zielonej Górze związany był od 1989 r. W roku 1991 otrzymał stanowisko profesora nadzwyczajnego, a w 1997 r. Prezydent RP nadał mu tytuł naukowy profesora. W roku 1996 objął funkcję dyrektora Instytutu Fizyki. Był autorem blisko 50 prac naukowych, opublikowanych w najbardziej renomowanych wydawnictwach i czasopismach naukowych. Jego zainteresowania były początkowo ukierunkowane na badania równań fizyki statystycznej, opisujących własności nierównowagowego układu w termostacie; później zajął się możliwościami teoretycznego opisu własności stałego wodoru. Dalsze jego prace poświęcone są przejściom fazowym. Dużym sukcesem i osiągnięciem była jego próba adaptacji metod matematycznych stosowanych w kwantowej teorii pola, a właściwie metod tzw. funkcjonalnej teorii pola, do techniki diagramów dla funkcji Greena, z myślą o opisie diagramów spinowych. Przez ostatnie 10 lat życia zajmował się teorią klasycznych i kwantowych szkieł spinowych i układami szklistopodobnymi, współpracując z ośrodkiem naukowym w Salerno we Włoszech.



Krzysztof Walasek

Profesor Walasek był promotorem wielu prac magisterskich i doktorskich, mistrzem dla wielu adeptów nauki. Recenzował prace doktorskie i habilitacyjne. Był odzna-

czony Złotym Krzyżem Zasługi i Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Życie Krzysztofa Walaska było wędrówką zarówno w sensie metaforycznym, jak i realnym. Jego biografię naukową wyznaczała praca koncepcyjna, którą wykonywał z ogromną pasją poznawczą. Zawsze był głęboko intelektualnie zaangażowany w podejmowane problemy naukowe i pracował nad nimi z pełnym przekonaniem sensowności poznawczej własnych działań. Ten wymiar wędrowania spletał się z częstą zmianą ośrodków akademickich; w każdym z nich poszukiwał miejsca dla siebie i warunków do pracy naukowej. Był człowiekiem wrażliwym i bardzo

emocjonalnie reagował na społecznie trudne dla niego sytuacje. Miało to pośredni wpływ na kondycję fizyczną Profesora, która uległa załamaniu w sytuacji konieczności odejścia z Politechniki Wrocławskiej. Wiele wskazywało na to, że swoje miejsce odnalazł w Zielonej Górze. Z pracą w tym ośrodku wiązał wiele planów naukowych i osobistych. Jednak wcześniej wywołana choroba nagle je przerwała. Odszedł, pozostawiając nas z przekonaniem, że miał jeszcze tak wiele do dokonania. Zmarł 14 października 1998 r.

Krystyna Lukierska-Walasek, Marek Wodawski

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).

2000

7 – 9 listopada 2000, Stare Jabłonki

XIV Szkoła Optoelektroniki: Photonics in Information Processing

Inst. Elektronicznych Systemów PW i Wydział Fizyki UW; dr Ryszard Romaniuk, IES PW, Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, adr.el.: ise@ISE.pw.edu.pl.

P.

16 – 18 listopada 2000, Łódź

4th Conf. Infrared Thermography and Thermometry

Inst. Elektroniki Pol. Łódzkiej; Sławomir Zwolenik, IEL PŁ, Stefanowskiego 18, 90-924 Łódź, tel.: (42) 63126373, fax: (42) 6362238, adr.el.: zwolenik@ck-sg.p.lodz.pl.

ang.

2001

6 – 15 lutego 2001, Karpacz

37. Zimowa Szkoła Fizyki Teoretycznej: New Developments in the Theory of Fundamental Interactions

Inst. Fizyki Teoretycznej UWr; prof. Jerzy Lukierski, prof. Ziemowit Popowicz, prof. Jakub Rembieliński (UŁ), IFT UWr, pl. Maksa Borna 9, 50-204 Wrocław, tel.: (71) 3201353, 3201411, 3201408, adr.el.: ziemek@ift.uni.wroc.pl, lukier@ift.uni.wroc.pl.

P, U: 80, O: 1300 zł (330 euro), ang.

10 – 15 czerwca 2001, Krynica-Czarny Potok

IX Krajowe Sympozjum Nadprzewodnictwo Wysoкотemperaturowe

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.

17 – 20 września 2001, Toruń

XXXVI Zjazd Fizyków Polskich

Oddział Toruński PTF; prof. A. Bielski, IF UMK, Grudziądzka 5/7, 87-100 Toruń.

NOWE KSIĄŻKI

- *Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii*, praca zbiorowa pod red. Andrzeja Z. Hrynkiewicza i Eugeniusza Rokity; PWN, Warszawa 2000, s. 231.
- Anna Szaynok, Stanisław Kuźmiński, *Podstawy fizyki powierzchni półprzewodników*, WNT, Warszawa 2000, s. 404, cena 54 zł.
- Fred Adams, Greg Laughlin, *Ewolucja Wszechświata*, z jęz. angielskiego tłum. Elwira Machowska; PWN, Warszawa 2000, s. 279.
- Donald Goldsmith, *W poszukiwaniu życia na Marsie*, z jęz. angielskiego tłum. Krzysztof Belczyński; Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 208, cena 26,50 zł.
- *Słownik fizyki*, pod red. Alana Isaacs, z jęz. angielskiego tłum. Jerzy Gronkowski, Perła Kacman, Eugenia Kaczmarek, Barbara Wojtowicz-Natanson; wyd. II poprawione, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 464, cena 39 zł.
- Halina Abramczyk, *Wstęp do spektroskopii laserowej*, PWN, Warszawa 2000, s. 232.
- Robert Gilmore, *Alicja w krainie kwantów. Alegoria fizyki kwantowej*, z jęz. angielskiego tłum. Piotr Rączka; Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 184, cena 39,50 zł.
- *XIII Konferencja: Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych*, red. Ewa Dobierzewska-Mozrzy-mas; Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000, s. 302.
- Jan Gaj, *Elektryczność i magnetyzm*, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2000, s. 156, cena 21 zł.
- *Ministrownik szkolny: Fizyka*, pod red. Alana Isaacs, z jęz. angielskiego tłum. Roman Matuszewski; Zysk i S-ka, Poznań 2000, s. 554, cena 29 zł.
- Michał Świąćki, Danuta Świąćka, *Słownik szkolny: Fizyka*, WSiP, Warszawa 1999, s. 511.

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 *Postęпах Fizyki* zgodnie z podanymi niżej wytycznymi:

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

2. Maszynopisy pracy 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 *Postęпах 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. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, Poland.

SPIS TREŚCI

A. Udalski – Organizacja i wyniki poszukiwań ciemnej materii z wykorzystaniem polskiego teleskopu w Chile	225
A. Woszczyk – Astronomia w dobie teleskopu kosmicznego	230
K. Ziołkowski – Projekty kosmicznych misji marsjańskich	240
A. Geim – Wszystko jest magnetyczne, czyli lewitować każdy może	244
M. Schroeder – Akustyka sal koncertowych: na styku fizyki i psychologii	250
DYDAKTYKA FIZYKI	
S. Bednarek – Doświadczenia wprowadzające do teorii zjawisk chaotycznych	256
D. Roth, F. Schweickert, M. Menzel, H.J. Jodl – Zastosowanie multimediów w projekcie FiPS	261
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	265
RECENZJE	267
LISTY DO REDAKCJI	272
KRONIKA	274

CONTENTS

A. Udalski – Polish telescope in Chile in search of dark matter	225
A. Woszczyk – Astronomy in times of Hubble space telescope	230
K. Ziołkowski – Mars mission projects	240
A. Geim – Everyone's magnetism	244
M. Schroeder – Acoustics of concert halls: physical and psychological aspects	250
PHYSICS TEACHING	
S. Bednarek – Introductory experiments to theory of chaotic phenomena	256
D. Roth, F. Schweickert, M. Menzel, H.J. Jodl – Use of multimedia in the FiPS project	261
MEETINGS AND CONFERENCES	265
REVIEWS	267
LETTERS TO THE EDITOR	272
CHRONICLE	274

WKRÓTCE

- *Wykłady noblowskie Martinusa Veltmana i Gerardusa 't Hoofta*
- *Adam Kiejna o stuleciu wzoru i stałej Plancka*
- *Rozmowa z Janem Łopuszańskim*
- *Adrian Kent: Nocne rozmyślenia fizyka kwantowego*
- *Wspomnienie Janusza Dąbrowskiego o Zdzisławie Szymańskim*