Nr indeksu 369721

POSTĘPY FIZYKI

TOM 51 (2000) ZESZYT DODATKOWY

DWUMIESIĘCZNIK
POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

Do zeszytu dołączona jest płyta CD z materiałami multimedialnymi

MATERIAŁY XXXV ZJAZDU FIZYKÓW POLSKICH

BIAŁYSTOK, 20–23 WRZEŚNIA 1999 R.

CZĘŚĆ II

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

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

REDAKTORZY NACZELNI CZASOPISM PTF

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Prof. Andrzej Maziewski (Białystok)
Prof. Ryszard Siuda (Bydgoszcz)
Prof. Kazimierz Dziliński (Częstochowa)
Prof. Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk)
Dr Andrzej Klimasek (Gliwice)
Dr hab. Andrzej Burian (Katowice)
Prof. Zbigniew Włodarczyk (Kielce)
Prof. Andrzej Zięba (Kraków)
Prof. Stanisław Hałas (Lublin)
Prof. Leszek Wojtczak (Łódź)
Dr Stanisław Chabik (Opole)
Prof. Jerzy Dembczyński (Poznań)
Prof. Marian Kuźma (Rzeszów)
Prof. Henryk Wrembel (Słupsk)
Prof. Tadeusz Rewaj (Szczecin)
Prof. Wacław Bała (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
Mirosław Łukaszewski
Magdalena Staszel
Barbara Wojtowicz

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Mgr Maciej Piętka (Białystok)
Prof. Jerzy J. Wysłocki (Częstochowa)
Dr Stanisław Zachara (Gdańsk)
Dr Roman Bukowski (Gliwice)
Prof. Wiktor Zipper (Katowice)
Dr Małgorzata Suchańska (Kielce)
Dr Jacek Bieroń (Kraków)
Dr Tomasz Durakiewicz (Lublin)
Dr Urszula Garuska (Łódź)
Dr Ryszard Czajka (Poznań)
Dr Małgorzata Klisowska (Rzeszów)
Mgr Małgorzata Kuzio (Słupsk)
Dr Ewa Weinert-Rączka (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

XXXV Zjazd Fizyków Polskich

Białystok, 20–23 września 1999 r.

pod patronatem
Ministra Edukacji Narodowej, prof. Mirosława Handkego
Przewodniczącego Komitetu Badań Naukowych, prof. Andrzeja Wiszniewskiego

organizowany przez
Oddział Białostocki Polskiego Towarzystwa Fizycznego
oraz Uniwersytet w Białymstoku
przy współpracy Politechniki Białostockiej
i Akademii Medycznej w Białymstoku

KOMITET HONOROWY

Tadeusz Citko – Rektor Politechniki Białostockiej
Jan Górski – Rektor Akademii Medycznej w Białymstoku
Adam Jamróz – Rektor Uniwersytetu w Białymstoku
Krzysztof Jurgiel – Przewodniczący Sejmiku Województwa Podlaskiego
Krystyna Łukaszuk – Wojewoda Podlaski
Kazimierz Pieńkowski – Przewodniczący Rady Miejskiej Białegostoku
Arcybiskup Sawa – Prawosławny Metropolita Warszawski i całej Polski
Arcybiskup Stanisław Szymecki – Metropolita Białostocki
Ryszard Tur – Prezydent Białegostoku
Jan Turkowski – Prezydent Łomży
Grzegorz Wołągiewicz - Prezydent Suwałk
Sławomir Zgrzywa – Marszałek Województwa Podlaskiego

KOMITET NAUKOWY

Iwo Białynicki-Birula, Andrzej Budzanowski, Tomasz Dohnalik, Robert Gałązka, Marian Grynberg, Stanisław Hałas, Andrzej Hrynkiewicz, Lucjan Jacak, Jerzy Janik, Maciej Kolwas, Jerzy Kołodziejczak, Franciszek Krok, Andrzej Maziewski, Janusz Morkowski, Wojciech Nawrocik, Jerzy Niewodniczański, Andrzej Oleś, Krzysztof Parliński, Stefan Pokorski, Adam Sobiczewski, Ryszard Sosnowski, Jan Stankowski, Ireneusz Strzałkowski (przewodniczący), Andrzej Sukiennicki, Wojciech Suski, Józef Sznajd, Józef Szudy, Henryk Szymczak, Jerzy Warczewski, Zdzisław Wilhelmi, Leszek Wojtczak, Andrzej Kajetan Wróblewski, Janusz Zakrzewski, Jan Żylicz

KOMITET ORGANIZACYJNY

Wojciech Dobrogowski (IF UwB Białystok), Ryszard Gieniusz (IF UwB Białystok), Małgorzata Grądzka-Dahlke (PB Białystok), Anna Maria Kostrzewska (AM Białystok), Marek Kisielewski (IF UwB Białystok), Zdzisław Lasocki (PB Białystok), Teresa Łaskowska (I LO Suwałki), Grzegorz Sitarski (IF UwB Białystok), Andrzej Maziewski (IF UwB Białystok) – przewodniczący, Tadeusz Skośkiewicz (IF PAN Warszawa), Julia Szeps (ZSE Białystok), Henryk Szydłowski (UAM Poznań), Maria Tekielak (IF UwB Białystok), Jacek Turnau (IFJ Kraków), Mirosława Żuber (I LO Białystok), Eugeniusz Żukowski (IF UwB Białystok)

Adres: OB PTF, Instytut Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku, ul. Lipowa 41, 15-424 Białystok
tel.: (85) 745 7222, (85) 745 7229, fax: (85) 745 7223
adr.el.: ptf@alpha.uwb.edu.pl, zfp99@cksr.ac.bialystok.pl, Internet: physics.uwb.edu.pl/ptf/PTF.html

SPONSORZY ZJAZDU

- Komitet Badań Naukowych
- Uniwersytet w Białymstoku
- Urząd Miasta Białystok
- Politechnika Białostocka
- Miejska Sieć Komputerowa BIAMAN
- DPG (Niemieckie Towarzystwo Fizyczne)
- DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron)
- Ministerstwo Edukacji Narodowej
- Zakład Elektroniki Profesjonalnej Janbit
- BIG Bank Gdański S.A.
- TV-SAD (Grodno)
- Komitet Fizyki Polskiej Akademii Nauk
- Polonia Aid Foundation Trust (Londyn)
- Merkator S.C.
- Państwowa Agencja Atomistyki
- Stowarzyszenie Wspólnota Polska
- Uniwersytet Warszawski
- Podlaski Urząd Wojewódzki
- Urząd Miasta Suwałk
- Narodowy Bank Polski OO/Białystok
- PZU ŻYCIE S.A.
- Polskie Linie Lotnicze LOT
- EUROTEK
- Browar Dojlidy
- PREVAC
- Uniwersytet Śląski, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii
- Urząd Marszałkowski Województwa Podlaskiego
- Zakład Energetyczny
- Centrum Informatyki „ZETO" S.A.
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych
- Przedsiębiorstwo Polmos Białystok S.A.
- Stowarzyszenie Elektryków Polskich
- Zakład Wykonawstwa Sieci Elektrycznych
- Huta Szkła – BIALGLAS
- Suwalska Specjalna Strefa Ekonomiczna
- Unibud
- Wydawnictwo Naukowe PWN
- Prószyński i S-ka
- Hotel Pastel
- Hotel Gołębiewski
- Wytwórnia kawy SIDO
- SAMASZ
- Cukiernia DOMINIKA
- Suwalska Firma Piekarniczo-Cukiernicza JANZA

PROGRAM ZJAZDU

WYKŁADY PLENARNE

- Akceleratory i kosmos w badaniach oddziaływań fundamentalnych (Jan Królikowski)*
- Fizyka i komputery u progu XXI wieku (Bogdan Lesyng)*
- Granice Wszechświata (Marek Demiański)**
- Perspectives of femtosecond spectroscopy: from clusters to clouds (Ludger H. Wöste)*
- Rewolucja w naukach o Ziemi (Adam Dziewoński)*
- Dzień dzisiejszy i plany badań warszawskiego cyklotronu ciężkich jonów (Tomasz Czosnyka)**
- Na tropie masy neutrin (Danuta Kiełczewska)**
- Transmutacje, układy podkrytyczne i energia (Stefan Taczanowski)[1]
- O popularyzacji fizyki w szerokim rozumieniu (Jacek Turnau)**
- Wykład dodatkowy: Fizyka wokół nas (Wiktor Niedzicki)
- Lasery niebieskie (Jacek Baranowski)[2]
- Femtosekundowe impulsy światła w badaniach przyrody (Czesław Radzewicz)*
- Kondensat Bosego–Einsteina – nowy stan materii (Mirosław Brewczyk, Kazimierz Rzążewski)**
- Interferencja natężeń – wyznaczanie promieni gwiazd i obszarów interakcji cząstek (Kacper Zalewski)[3]
- New Horizons in Particle Physics (Jerome I. Friedman)*
- Fizyka w Polsce wczoraj, dziś i jutro (Andrzej Kajetan Wróblewski)*
- The origin of cosmic rays (sir Arnold Wolfendale)*
- Metody fizyki w ekonomii i socjologii (Janusz Hołyst)**
- Rola wymiaru układu fizycznego na przykładzie półprzewodników (Jacek Kossut)**
- Niskowymiarowe magnetyki (Józef Korecki)**
- Wykład dodatkowy: Lekcje fizyki z kosmosu (dr kosmonauta Aleksander Serebrow)

SESJE SATELITARNE

FIZYKA I KOSMOS (animator: Grzegorz Sitarski)

- Organizacja i wyniki poszukiwań ciemnej materii z wykorzystaniem polskiego teleskopu z Chile (Andrzej Udalski)
- Wszechświat w dobie teleskopu kosmicznego (Andrzej Woszczyk)
- Polski udział w badaniach satelitarnych przestrzeni międzyplanetarnej (Zbigniew Kłos)
- Projekty kosmicznych misji marsjańskich (Andrzej Jurewicz, Krzysztof Ziołkowski)
- Laboratoria w przestrzeni kosmicznej (Mirosław Hermaszewski, Aleksander Serebrow)

FIZYKA STOSOWANA (animator: Andrzej Oleś)*

- Badania deformacji plastycznej w materiałach polikrystalicznych o znaczeniu przemysłowym (Krzysztof Wierzbanowski, Andrzej Baczmański, Jacek Tarasiuk)**
- Nowe trendy w rozwoju detektorów promieniowania elektromagnetycznego (Antoni Rogalski)[4]
- Od fizyki cienkich warstw do technologii przemysłowej (Edward Leja, Tadeusz Pisarkiewicz)**
- Możliwości badań w silnych polach magnetycznych (Jan Kłamut, Tomasz Palewski)**
- Współczesne sterowanie eksperymentem fizycznym na podstawie wykorzystania programu LabView (Wojciech Dobrogowski, Józef Świekło)*
- Komputery kwantowe (Marek Kuś)**

PROMIENIOTWÓRCZE SKAŻENIE ŚRODOWISKA I ENERGETYKA JĄDROWA (animatorzy: Andrzej Hrynkiewicz i Anna Maria Kostrzewska)

- Przyszłościowe koncepcje energetyki jądrowej (Stefan Taczanowski)*
- Skażenia promieniotwórcze środowiska i człowieka w Polsce (Zofia Pietrzak-Flis)*
- Ocena medycznych skutków skażeń promieniotwórczych (Zenon Mnich, Franciszek Rogowski, Marek Zalewski)*
- Naturalne źródła promieniowania jonizującego (Andrzej Hrynkiewicz)**
- Dyskusja okrągłego stołu: Czy Polska potrzebuje energetyki jądrowej? (prowadzący: Andrzej Hrynkiewicz)*

FIZYKA ZWIĄZANA Z ZIEMIĄ (animator: Aleksander Guterch)*

- Sejsmiczny eksperyment POLONAISE '97 (Aleksander Guterch, Marek Grad)**
- Geomagnetyzm i jego znaczenie dla rekonstrukcji globalnych procesów geodynamicznych (ruchy kontynentów, ewolucja Ziemi) (Marek Lewandowski)**
- Procesy fizyczne w ogniskach trzęsień ziemi (Roman Teisseyre, Zbigniew Czechowski)**

OPTYKA

- Lidar w badaniach atmosfery (Stanisław Chudzyński, Adam Czyżewski, Wojciech Skubiszak, Tadeusz Stacewicz, Kamil Stelmaszczyk, Artur Szymański, Krzysztof Ernst)**
- Chłodzenie i pułapkowanie atomów metodami optycznymi (Jerzy Zachorowski)[5]

NAUCZANIE FIZYKI (animator: Jerzy Warczewski)*

- Symulacje komputerowe w nauczaniu w szkołach średnich i podstawowych (Ryszard Kutner)
- Wykorzystanie komputera w kształceniu fizyków: stan obecny i perspektywy (Henryk Szydłowski)**
- Use of multimedia in university teaching – the FIPS project (H.J. Jodl, D. Roth)
- Nauczanie fizyki w wyższych szkołach technicznych (Danuta Bauman)**
- Zadania, szanse i ograniczenia dydaktyki fizyki w świetle reformy systemu edukacji (Władysław Błasiak)**
- Ruchome ilustracje do „Fizyki fal" (Jerzy Ginter)**
- Czy zagraża nam rewolucja w nauczaniu fizyki? (Zofia Gołąb-Meyer)[6]
- Dydaktyka fizyki jako dyscyplina naukowa (Jerzy Warczewski)**
- Dyskusja okrągłego stołu (prowadzący: Jerzy Warczewski)

FIZYKA I MEDYCYNA (animator: Anna Maria Kostrzewska)*

- Metody jądrowe w medycynie (Leszek Królicki)
- Kwanty anihilacji elektron-pozyton w diagnostyce medycznej i badaniu struktury elektronowej (Grażyna Kontrym-Sznajd)**
- Tomografia NMR z użyciem gazów szlachetnych spolaryzowanych optycznie (Tomasz Dohnalik)**
- Efekty synchronizacji w funkcjonowaniu mózgu (Stanisław Drożdż, Jarosław Kwapień)**
- Zastosowanie laserów w medycynie ze szczególnym uwzględnieniem chorób nowotworowych (Alfreda Graczyk, Mirosław Kwaśny, Zygmunt Mierczyk)[7]
- Międzynarodowe organizacje fizyki i inżynierii medycznej (Oskar Chomicki)[8]

FIZYKA MATEMATYCZNA – dodatkowa sesja satelitarna towarzysząca Zjazdowi (animator: Aleksander Strasburger)*

- Co starego w solitonach? (Paweł Klimczewski, Antoni Sym)*
- Teoria separowalności układów bihamiltonowskich (Maciej Błaszak)*
- Transformacja Darboux–Bäcklunda i algebry Clifforda (Jan L. Cieśliński)*
- Masa Bondiego w klasycznej teorii pola (Jacek Jezierski)
- Kwantowe przestrzenie Minkowskiego (Piotr Podleś)*

---

* Tekst w tym zeszycie.

** Tekst w zeszycie zjazdowym (*Postępy Fizyki* **50**, zeszyt dodatkowy (1999)).

[1] Streszczenie w zeszycie zjazdowym; pełny tekst ukaże się w jednym z najbliższych zeszytów *Postępów Fizyki*.

[2] Streszczenie w zeszycie zjazdowym; pełny tekst: *Postępy Fizyki* **50**, zeszyt 6, 292 (1999).

[3] Por. *Postępy Fizyki* **50**, zeszyt 4, 169 (1999).

[4] Obszerne streszczenie w zeszycie zjazdowym; rozszerzony tekst ukaże się w jednym z najbliższych zeszytów *Postępów Fizyki*.

[5] Por. *Postępy Fizyki* **49**, zeszyt 6, 338 (1998).

[6] Obszerne streszczenie w zeszycie zjazdowym; rozszerzony tekst ukaże się w jednym z najbliższych zeszytów *Postępów Fizyki*.

[7] Obszerne streszczenie w zeszycie zjazdowym; rozszerzony tekst: *Postępy Fizyki* **51**, zeszyt 1, 16 (2000).

[8] Rozszerzony tekst ukaże się w jednym z najbliższych zeszytów *Postępów Fizyki*.

Ponadto teksty większości wykładów oraz obszerne informacje o przebiegu Zjazdu i towarzyszących mu imprez – także w postaci multimedialnej – znajdują się na krążku CD załączonym do niniejszego zeszytu.

IMPREZY POPULARNONAUKOWE TOWARZYSZĄCE ZJAZDOWI

WYSTAWY

- „Akceleratory cząstek" – Współczesne akceleratory – CERN, DESY i warszawski cyklotron ciężkich jonów. Wystawę przygotował J. Turnau (IFJ, Kraków).
- „Fizyka zabawek". Wystawę przygotował G. Karwasz przy współpracy WSP Słupsk i UwB.
- „Fizyka i kosmos". Wystawę przygotowali: A. Branicki (UwB), J. Biała (Planetarium w Olsztynie) i G. Sitarski (UwB).
- Muzeum Przyrodnicze Instytutu Biologii. Wystawę przygotował W. Mikucki (UwB).

W budynkach, w których zlokalizowane były wystawy, prezentowane były dodatkowo programy komputerowe, programy multimedialne oraz filmy wideo.

POPULARNONAUKOWE WYKŁADY POPOŁUDNIOWE

- Ku nowoczesnej bibliotece: od katalogu kartkowego do katalogu multimedialnego (U. Puszkiewicz, UwB)
- Komunikacja w wielodostępnych światach wirtualnych (W. Siwak, UwB)
- Czy świat się kręci w prawo? Fizyka i zabawki (G. Karwasz, WSP Słupsk)*
- Czy radon w naszych domach stanowi zagrożenie? (J. Turło, UMK, Toruń)*
- Audiosfera na przełomie stuleci (W. Siwak, UwB)
- Distance learning – edukacja na odległość, czyli ożenek edukacji z technologią (J. Dron, Brighton, Anglia; J. Górnikiewicz, UwB)
- Zapachy wokół nas (E. Dubis, UwB)
- Produkty naturalne o działaniu toksycznym (S. Witkowski, UwB)
- Białystok (Podlaski) (A. Dobroński, UwB)
- Use of computers in physics students lab (H.J. Jodl, D. Roth, Kaiserslautern, Niemcy)
- Fizyka w Internecie (S. Różański, Piła)*
- Elektrochemiczne źródła prądu stałego, projektowanie i realizacja (L. Werblan, M. Bok, UwB)
- Matematyka w komputerze: udział UwB w budowaniu skomputeryzowanej encyklopedii matematyki (A. Trybulec, UwB)
- Cyfrowa obróbka obrazów (M. Kisielewski, M. Tekielak, UwB)
- Fizyka wokół nas (W. Niedzicki, TVP, laureat nagrody PTF z 1999 r. za popularyzację fizyki) – specjalna prezentacja w sali Teatru Dramatycznego

SERIA WYKŁADÓW TOWARZYSZĄCYCH WYSTAWIE „FIZYKA I KOSMOS"

- Ciemna materia we Wszechświecie i jej poszukiwania (L. Roszkowski, Uniwersytet w Lancaster, Anglia)
- Misje kosmiczne na przełomie stuleci (K. Ziołkowski, CBK PAN, Warszawa)
- Przyszłe misje kosmiczne (M. Banaszkiewicz, CBK PAN, Warszawa)
- Orbitalne loty kosmiczne w mijającym stuleciu (gen. kosmonauta M. Hermaszewski, Warszawa)
- Katastrofy kosmiczne były i będą (J. Biała, Planetarium w Olsztynie)
- Lekcje fizyki z kosmosu (dr kosmonauta A. Serebrow, Moskwa, Rosja) – specjalna prezentacja w sali Teatru Dramatycznego

PREZENTACJA PRZEWOŹNEGO LABORATORIUM LIDARU Z UNIWERSYTETU WARSZAWSKIEGO

POKAZY CIEKAWYCH DOŚWIADCZEŃ Z FIZYKI

Organizację pokazów koordynował T. Skośkiewicz (IF PAN i Szkoła Nauk Ścisłych, Warszawa). Lista prezentowanych doświadczeń (w nawiasie podano czas trwania pokazu):

- Dwuwymiarowy model kryształu; skaningowy mikroskop akustyczny; potęga rezonansu; szalona walizka; odbicie światła; własności dielektrycznych ferroelektryków; pomiar długości fali elektromagnetycznej; kinematyka cząstek elementarnych; ćwiczenia z fizyki jądrowej – M. Karpierz, Instytut Fizyki, Politechnika Warszawska (45 minut).
- Doświadczenia przyrodnicze wspomagane komputerowo – J. Turło, T. Kalkowski, A. Karbowski, G. Osiński, Z. Turło, UMK Toruń. W prezentacji można było wydzielić trzy rodzaje pomiarów: położenia z wykorzystaniem edukacyjnej wersji GPS (Global Positioning System), chaosu w EKG, położenia za pomocą miernika ultradźwiękowego (45 minut).

- Drgania swobodne w układzie RCL; dyfrakcja światła – A. Zięba, Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH (30 minut)
- Figury Chladniego – M. Kułakowska, Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH (15 minut).
- Maszyna cieplna; silnik indukcyjny; wahadło matematyczne – M. Gołąb, Instytut Fizyki UJ (45 minut).
- Modelowanie zjawisk fizycznych – G. Adie, B. Żółtowski, Instytut Fizyki, Politechnika Łódzka (30 minut).
- Pokazy niskotemperaturowe – T. Skośkiewicz, Instytut Fizyki PAN i Szkoła Nauk Ścisłych, Warszawa (15 minut).
- Pokazy z fizyki jądrowej – E. Żukowski, Uniwersytet w Białymstoku (45 minut).
- Składanie drgań – A. Kuczkowski, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska (15 minut).
- Składanie drgań; siła Coriolisa; drgania mechaniczne błony; zjawiska termodynamiczne towarzyszące niskim temperaturom – J. Jarosz, A. Szczygielska, Zakład Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Śląski (45 minut).
- Wahadło Wilberforce'a: zabawka i nie tylko – E. Dębowska, S. Jakubowicz, Z. Mazur, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski (15 minut).
- Widmo lampy rtęciowej; nadfiolet – A. Trzebuniak, Instytut Fizyki, Uniwersytet Opolski (45 minut).
- Computer Assisted Experiments in Mechanics and Electrodynamics with Videocom and CASSY R – Raymond Jansen, Leybold Didactic GmbH (45 minut).

PREZENTACJA BIAŁOSTOCKIEGO „REGIONALNEGO LABORATORIUM KOMPUTEROWEGO DO NAUCZANIA PRZEDMIOTÓW PRZYRODNICZYCH"

WARSZTATY: FIZYKA W INTERNECIE

Prowadzący – S. Różański, Piła, laureat Konkursu Komputerowego.

TRANSMISJA NA ŻYWO OBRAD ZJAZDU I TELEKONFERENCJA Z WYKORZYSTANIEM INTERNETU

Białostockie Centrum Komputerowych Sieci Rozległych BIAMAN wspólnie z Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym jako operatorem sieci Pol34 zapewniło z wykorzystaniem Internetu:

- transmisję na żywo, w czasie Zjazdu, wykładów plenarnych (wykłady te dostępne są na stronach http://physics.uwb.edu.pl/ptf/archiwum_rm.html
- telekonferencję (wspólnie z warszawskim Festiwalem Nauki) z dyskusji okrągłego stołu „Czy Polska potrzebuje energetyki jądrowej?"

DODATKOWE POKAZY, DEMONSTRACJE

- Przygody z chemią (demonstracja ciekawych doświadczeń chemicznych) – W. Wojtulewska, UwB; Chemia praktyczna dla wszystkich (pokaz) – J. Michałowski, UwB
- Zastosowanie nowoczesnych metod telemetrycznych w badaniach fizjologicznych zwierząt (pokaz połączony z popularnym wykładem) – J. Taylor, UwB

EKSPERYMENT STEROWANY PRZEZ INTERNET

WYKŁADY WYJAZDOWE

- Łomża, I LO (Jadwiga Biała i Krzysztof Piotrzkowski)
- Suwałki, I LO (Jan Królikowski i Aleksander Serebrow)

* Tekst w tym zeszycie.

Ponadto teksty większości wykładów oraz obszerne informacje o przebiegu Zjazdu i towarzyszących mu imprez – także w postaci multimedialnej – znajdują się na krążku CD załączonym do niniejszego zeszytu.

Od Redakcji

Wydanie materiałów Zjazdu Fizyków Polskich przez *Postępy Fizyki* jest precedensem. Dotychczas publikowane były tylko niektóre wykłady plenarne, streszczenia referatów, sprawozdania ze Zjazdów, ale nie pełne materiały.

Wydane przy tym zostały aż dwa zeszyty: przedzjazdowy i pozjazdowy. Pierwszy zawierał to, co dla uczestnika Zjazdu jest potrzebne już na samym jego początku: program oraz obszerne streszczenia wystąpień, by móc zdecydować, w którym wydarzeniu wziąć udział, szczególnie wobec równoległości różnych sesji. Drugi, wraz z załączonym do niego krążkiem CD, zawiera możliwie pełną dokumentację wydarzeń Zjazdu i próbę szeroko adresowanego upowszechnienia fizyki.

Wydanie tak obszernych i pełnych materiałów Zjazdu jest wydarzeniem zupełnie bezprecedensowym. Zawdzięczamy to niewątpliwie Komitetowi Organizacyjnemu i przede wszystkim energii, zapałowi i zaangażowaniu jego Przewodniczącego – prof. Andrzeja Maziewskiego. On też przedstawia ten zeszyt i cały Zjazd w swoim „Słowie wstępnym". Bardzo istotne było także wielkie zaangażowanie i życzliwość dla tego przedsięwzięcia Zarządu Głównego PTF i szczególnie jego Prezesa – prof. Ireneusza Strzałkowskiego.

Dla Redakcji *Postępów* wydanie takich dwóch zeszytów dodatkowych było zadaniem dość trudnym, nie tylko dlatego, że dodatkowym, ale też ze względu na ich specyfikę: dość krótkie terminy i konieczność niemal jednoczesnego kontaktu z wieloma Autorami. Także konieczność uwzględnienia bardzo wielu zmian w tych krótkich okresach była trudna. Główne trudy tego zadania spoczęły na Panu Doktorze Mirosławie Łukaszewskim, który dokonał składu komputerowego obu zeszytów i był w bezpośrednim kontakcie z Autorami. W przygotowaniu zeszytu pozjazdowego bardzo dużą pomoc otrzymaliśmy od Pana Doktora Zygmunta Ajduka, który podjął się zebrania materiałów od Autorów i częściowego ich opracowania.

Jeśli uznają Państwo wydanie przez *Postępy* obu tych zeszytów zjazdowych za przedsięwzięcie udane, to będzie to z pewnością wynikiem bardzo dobrej współpracy z Redakcją zarówno Komitetu Organizacyjnego Zjazdu, jak i Zarządu Głównego PTF. Stanie się też wtedy, być może, pierwszym krokiem w kierunku opracowania standardu w tej sprawie.

Bardzo przyjemnym gestem Zarządu Głównego PTF i Komitetu Organizacyjnego Zjazdu wobec prenumeratorów *Postępów Fizyki*, którzy nie brali udziału w Zjeździe, jest zaoferowanie im gratisowo tego dodatkowego zeszytu wraz z krążkiem CD.

Adam Sobiczewski

Słowo wstępne

Szanowni Państwo!

Po zakończonym w Białymstoku XXXV Zjeździe Fizyków Polskich chciałbym podziękować wszystkim osobom, które nam pomogły, oraz dokonać krótkiego podsumowania.

Pragnę serdecznie podziękować profesorowi Henrykowi Szymczakowi, który namówił nas do podjęcia się organizacji Zjazdu, a w okresie wielomiesięcznych przygotowań nie szczędził swego czasu i służył wieloma cennymi radami.

Organizacja Zjazdu byłaby niemożliwa bez współpracy z Uniwersytetem w Białymstoku i życzliwego wsparcia JM Rektora UwB, profesora Adama Jamroza. Bardzo istotna była również pomoc Politechniki w Białymstoku i Akademii Medycznej w Białymstoku. Bardzo dziękuję władzom białostockich uczelni. Dziękuję Komitetowi Badań Naukowych i Ministerstwu Edukacji Narodowej za objęcie patronatu nad Zjazdem. Dziękuję władzom Podlasia, Białegostoku i Suwałk za różnego typu wsparcie oraz gościnność okazaną uczestnikom Zjazdu; szczególnie widoczny był wkład Białegostoku. Dziękuję sponsorom, wymienionym w załączniku, których wsparcie umożliwiło nam zorganizowanie Zjazdu i towarzyszących mu imprez w odpowiedniej skali. Dziękuję wszystkim członkom Komitetu Naukowego, z jego przewodniczącym profesorem Ireneuszem Strzałkowskim, prezesem Polskiego Towarzystwa Fizycznego, za przygotowanie bogatego programu naukowego i akceptację nowej koncepcji wprowadzenia równoległych sesji satelitarnych.

Zaproponowaliśmy uczestnikom Zjazdu szeroką ofertę imprez naukowych i popularnonaukowych. Z tego powodu część imprez musiała odbywać się równolegle i nawet najbardziej wytrwali uczestnicy nie mogli wziąć udziału we wszystkich przedsięwzięciach. W celu pełniejszego zapoznania Państwa z problematyką podejmowaną na Zjeździe udostępniamy materiały: 1) przedzjazdowe – dodatkowy zeszyt 50. tomu *Postępów Fizyki* z 1999 roku; 2) pozjazdowe – dodatkowy zeszyt 51. tomu *Postępów Fizyki*. Bardzo dziękuję Redakcji *Postępów* oraz drowi Zygmuntowi Ajdukowi za trud i zaangażowanie w przygotowaniu tych materiałów. Wiele informacji związanych ze Zjazdem można znaleźć na krążku CD oraz na naszych stronach internetowych: physics.uwb.edu.pl/ptf/zjazd.shtml.

Odbyły się cztery przedpołudniowe sesje wykładów plenarnych oraz siedem popołudniowych sesji satelitarnych. Sesje satelitarne pozwoliły na szerszą prezentację wyodrębnionych gałęzi fizyki: geofizyki, fizyki medycznej, astronomii, fizyki środowiska, energetyki jądrowej czy fizyki matematycznej. Ważna tu była inicjatywa i zaangażowanie wszystkich animatorów tych sesji: profesorów Aleksandra Gutercha, Andrzeja Hrynkiewicza, Anny Marii Kostrzewskiej, Andrzeja Olesia, Grzegorza Sitarskiego, Aleksandra Strasburgera i Jerzego Warczewskiego. Wysłuchaliśmy wielu wspaniałych wykładowców z Polski. Wykłady wygłosili również nasi zagraniczni goście: 1) prof. Jerome I. Friedman, prezes Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, laureat Nagrody Nobla z 1990 r.; 2) prof. Adam Dziewoński (z Uniwersytetu Harvarda), laureat Nagrody Crafoorda z 1998 r.; 3) prof. Ludger H. Wöste, laureat Polsko-Niemieckiej Nagrody Mariana Smoluchowskiego–Emila Warburga, 4) prof. sir Arnold Wolfendale, prezes Europejskiego Towarzystwa Fizycznego, laureat Medalu im. Mariana Smoluchowskiego z 1992 r. Wykłady sesji plenarnych dostępne są w Internecie. Na krążku CD umieszczone jest nagranie wideo wykładu profesora J.I. Friedmana „New Horizons in Particle Physics".

Dodatkowo zdecydowaliśmy się na organizację szeregu imprez popularnonaukowych towarzyszących Zjazdowi. Pewną inspiracją był tu warszawski Festiwal Nauki. Pomocne okazały się doświadczenia Oddziału Białostockiego PTF w popularyzacji fizyki. Więcej szczegółów na temat imprez popularnonaukowych znajdziecie Państwo w załączonym artykule Macieja Piętki. Ważne jest obecne wszechstronne wykorzystanie komputerów w fizyce zarówno w badaniach (co zostało uwzględnione w naukowej tematyce Zjazdu), jak i w nauczaniu. Do realizacji tego drugiego celu służyło prezentowane na Zjeździe (i opisane na krążku CD) Regionalne Laboratorium do Nauczania Przedmiotów Przyrodniczych. Wspólnie z profesorem Henrykiem Szydłowskim z Poznania zdecydowaliśmy się również na ogłoszenie w 1998 roku konkursu „Komputer w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych". Zgłoszono 31 prac, autorzy najlepszych zostali zaproszeni do Białegostoku. Zwycięzca konkursu dr Stanisław Różański, nauczyciel z Piły, wygłosił wykład „Fizyka w Internecie". Dzięki Internetowi można było w czasie Zjazdu: 1) na żywo transmitować wykłady sesji plenarnych i zrealizować telekonferencję Białystok – ICM Warszawa z obrad okrągłego stołu poświęconego energetyce jądrowej (było to możliwe dzięki współpracy z Białostockim Centrum Komputerowych Sieci Rozległych BIAMAN i Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym Pol34); 2) zdalnie wykonywać badania struktur domenowych. O kształceniu na odległość, z wykorzystaniem Internetu, mówili nasi goście z Brighton i Kaiserslautern.

Wspólnie z profesorem Tadeuszem Skośkiewiczem zaprosiliśmy do Białegostoku prezenterów ciekawych doświadczeń fizycznych. Pokazy cieszyły się dużym zainteresowaniem; fragmenty najciekawszych zostały nagrane w postaci minifilmów na krążku CD.

Istotną rolę w popularyzacji fizyki odegrały wystawy. Dziękuję profesorowi Jackowi Turnauowi i jego współpracownikom z różnych ośrodków naukowych za przygotowanie największej wystawy: „Akceleratory cząstek" – Współczesne akceleratory – CERN, DESY i warszawski cyklotron ciężkich jonów. Z dużą precyzją została wykonana polsko-niemiecka akcja przywiezienia i rozstawienia imponujących eksponatów z Hamburga. Na krążku umieszczono dwa popularnonaukowe programy, prezentowane w czasie trwania wystawy: „Przygoda z cząstkami", „Cegły i cement", internetowe strony CERN-u oraz plakaty z DESY i strony www profesora Grzegora Wrochny.

Dziękuję profesorom Krzysztofowi Ernstowi i Tadeuszowi Stacewiczowi za prezentację przewoźnego laboratorium lidarowego.

Propozycja zorganizowania wystawy „Fizyka zabawek" dotarła do Białegostoku poprzez Słupsk z Trydentu. Mile wspominam współpracę z profesorem Grzegorzem Karwaszem i jego współpracownikami. Bardzo szybko udało się nam skompletować tę wystawę. Spotkała się ona z olbrzymim zainteresowaniem młodzieży, mediów i nie tylko, jak widać to na zdjęciach umieszczonych na krążku CD. Na krążku znajdują się również, przygotowane w polsko-włoskiej współpracy, materiały ilustrujące tę wystawę.

Wystawa „Fizyka i Kosmos" była z kolei efektem współpracy białostocko-olsztyńskiej. Doktor Jadwiga Biała przywiozła z Olsztyna ciekawą kolekcję meteorytów oraz specjalnie przygotowany na Zjazd film wideo. Na krążku umieściliśmy dodatkowo cykl artykułów „Encyklopedia Kosmosu", przygotowany przez redaktora *Gazety Wyborczej* Piotra Cieślińskiego, laureata nagrody PTF z 1997 roku za popularyzację fizyki.

Na apel zorganizowania popularnonaukowych imprez towarzyszących Zjazdowi odpowiedzieli pracownicy różnych wydziałów Uniwersytetu w Białymstoku. Spis zorganizowanych ciekawych wykładów i pokazów podany jest w materiałach pozjazdowych. Szczególnie interesujące były przeprowadzone na wielką skalę prezentacje Muzeum Przyrodniczego Instytutu Biologii UwB.

Można przytoczyć tu jeszcze trochę liczb. W Zjeździe wzięło udział przeszło 700 uczestników, w tym 45 gości zagranicznych i 10 osób reprezentujących Polonię ze Wschodu. Z imprez popularnonaukowych skorzystało około 15 000 osób.

Sądzę, że przy okazji większych spotkań, zjazdów środowisk naukowych, zasadna jest organizacja minifestiwali nauki. Możliwe jest to nawet poza największymi centrami akademickimi.

Dziękuję moim współpracownikom z Zakładu Fizyki Magnetyków UwB, na których pomoc i zaangażowanie można było w każdej chwili liczyć. Bardzo istotna była rola dr Marii Tekielak, której zawdzięczamy sprawne przepłynięcie kilogramów dokumentów, megabajtów informacji oraz precyzyjne rozliczenie ambitnie postawionych zadań. Krążek CD to dzieło dra Andrzeja Stupakiewicza. Wiele godzin poświęcili Zjazdowi inni pracownicy Zakładu: magister Wojciech Dobrogowski (nasz internetowy ekspert), doktorzy Ryszard Gieniusz, Marek Kisielewski i Józef Świekło. Ważny był też udział innych pracowników Instytutu Fizyki UwB, z których wymienię profesorów Grzegorza Sitarskiego i Eugeniusza Żukowskiego oraz magistrów Andrzeja Branickiego, Piotra Chomienię i Macieja Piętkę. Dziękuję mgr Marii Truskolaskiej za jej duży wkład w prace Biura Zjazdu.

Myślę, że Zjazd przyczynił się również do integracji środowiska białostockich fizyków. Bardzo dobrze współpracowało się nam z profesor Anną Marią Kostrzewską i doktorem Zdzisławem Lasockim, przedstawicielami Akademii Medycznej i Politechniki Białostockiej. Dzięki nauczycielom fizyki ze szkół średnich udało się zorganizować sprawny przepływ wielotysięcznych tłumów młodzieży przez liczne imprezy popularnonaukowe, towarzyszące Zjazdowi. Przeprowadzenie imprez w tej skali czasowej byłoby niemożliwe przy zaangażowaniu tylko pracowników naszych uczelni. Ważna była pomoc studentów i kilkudziesięciu uczniów szkół średnich; ich udział był szczególnie widoczny przy prezentacji Laboratorium, wystaw oraz przy projekcji popularnonaukowych filmów.

Wszystkim osobom zaangażowanym w organizację Zjazdu serdecznie dziękuję.

Liczę na to, że wydane materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich, a zwłaszcza krążek CD, przyczynią się do popularyzacji szeregu ciekawych, dynamicznie rozwijających się dziedzin fizyki oraz szerzej zasygnalizują możliwości nowoczesnych technik rozwijania zainteresowania fizyką. Mam nadzieję, że krążek będzie stanowił również promocję Podlasia i Białegostoku, a dla uczestników Zjazdu stanie się pamiątką spędzonych tu wrześniowych, słonecznych dni.

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
XXXV Zjazdu Fizyków Polskich
Profesor Andrzej Maziewski

Akceleratory i kosmos w fizyce cząstek elementarnych

Jan Królikowski

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Warszawski

1. Wstęp

Referat był próbą opisu stanu fizyki cząstek elementarnych końca lat dziewięćdziesiątych. Najkrócej, znajdujemy się w okresie przełomowym, a najbliższa dekada może zadecydować o przyszłości tej dziedziny wiedzy. Lata dziewięćdziesiąte przyniosły bardzo dokładne sprawdzenie tzw. Modelu Standardowego, który z jednej strony bardzo dobrze zgadza się z doświadczeniem, a z drugiej nie stanowi – niestety – kompletnej i zamkniętej teorii oddziaływań cząstek elementarnych. Stąd próby wyjścia poza Model Standardowy, czynione przez teoretyków, stanowią dużą część działalności naukowej, niestety pozbawioną dotychczas silnego oparcia w faktach doświadczalnych. W referacie starałem się opisać zarówno Model Standardowy i jego testy doświadczalne, jak i odnieść się do poszukiwań bardziej ogólnej teorii poza Modelem Standardowym. Wreszcie starałem się opisać następną generację doświadczeń, przygotowywanych obecnie, które zostaną wykonane w ciągu następnej dekady.

2. Model Standardowy i jego testy doświadczalne

Omówiłem skrótowo Model Standardowy (MS) jako nowoczesną teorię pola z cechowaniem [1]. Wyróżniłem dwie składowe MS: oddziaływania elektrosłabe (EW) i chromodynamikę kwantową (QCD). Podkreśliłem, że w MS umiemy obliczać poprawki kwantowe wyższych rzędów (poprawki pętlowe).

Następnie opisałem testy doświadczalne MS dokonywane w ciągu ostatniej dekady w eksperymentach przy akceleratorach LEP w CERN-ie, SLC w Laboratorium Akceleratora Liniowego Stanforda i Laboratorium Fermiego w Batavii (Illinois, USA) przy energiach w środku masy ok. 90–200 GeV. Precyzja doświadczalna tych testów w sektorze elektrosłabym jest niezwykle wysoka; dla wielu mierzonych wielkości związanych z oddziaływaniami elektrosłabymi osiąga ona od kilku dziesiątych promila do kilku promili. Zgodność danych doświadczalnych z przewidywaniami MS w sektorze elektrosłabym jest znakomita [2]. Zgodność doświadczenia z przewidywaniami QCD nie jest już tak nadzwyczajna; wynika to przede wszystkim z trudności teorii.

3. Dlaczego MS nie jest teorią ostateczną?

Przechodząc do słabości MS omówiłem centralny obecnie problem fizyki cząstek, jakim jest pytanie, dlaczego cząstki elementarne – kwarki i leptony – mają masy tak bardzo różniące się od siebie. Na ogół uważa się, że zrozumienie tego zagadnienia będzie wymagało: a) zrozumienia mechanizmu spontanicznego złamania symetrii w MS, której przykładem jest tzw. mechanizm Higgsa, b) zbudowania symetrii grupy cechowania większej niż grupa MS – czyli tzw. Wielkiej Unifikacji (GUT). Opisałem mechanizm Higgsa, który zapewnia wewnętrzną spójność MS, pozwalając na obliczanie poprawek kwantowych w obecności masywnych nośników oddziaływań i masywnych fermionów. Jest to najsłabiej, żeby nie powiedzieć niemal nie poznana część MS. Pokazałem, w jaki sposób znajomość poprawek wyższych rzędów i bardzo dokładne dane doświadczalne, przede wszystkim z eksperymentów przy LEP, pozwalają na zawężenie obszaru mas cząstek Higgsa.

W chwili obecnej nie ma żadnych dowodów doświadczalnych, prowadzących do kwestionowania MS jako teorii fizycznej; wszystkie nasze zastrzeżenia co do jego niekompletności mają charakter teoretyczny.

4. Wielka unifikacja: czy istnieją dowody na istnienie nowej fizyki?

Omówiłem dwie poważne sugestie przemawiające za istnieniem bardziej uniwersalnej teorii typu GUT przy większych energiach, rzędu 10^{14}–10^{16} GeV:

— Zagadnienie mas neutrin i próbę zrozumienia, dlaczego są one tak małe (rzędu 10^{-2} eV/c^2) w porównaniu np. z masą elektronu, która wynosi 500 keV/c^2. Poprzez mechanizm Higgsa prowadzi to do wniosku, że powinna istnieć skala energii rzędu skali GUT, gdzie MS przechodzi w teorię bardziej uniwersalną [3].

— Dokładne pomiary stałych sprzężenia MS i oparte o równania grupy renormalizacji ekstrapolacje teoretyczne do dużych energii pokazują, że następuje unifikacja oddziaływań przy tej samej skali energii. Okazuje się jednocześnie, że wymaga to teorii supersymetrycznych, czyli że „ceną" wielkiej unifikacji może być wzbogacenie i skomplikowanie teorii oraz dodanie do widma cząstek obecnie znanych ich supersymetrycznych partnerów. Oznacza to pojawienie się bardzo wielu nowych, nieznanych cząstek, być może w zasięgu akceleratorów nowej generacji, które są w budowie. Ma to także niezwykle ciekawe implikacje kosmologiczne – najlżejsze cząstki supersymetryczne mogą być kandydatami na ciemną materię, czyli na duży ułamek masy Wszechświata.

5. Nowe eksperymenty

Omawiając światowy program doświadczalny, który przesuwa granicę naszego poznania ku coraz wyższym energiom, skupiłem się na programie naukowym i pewnych aspektach technicznych eksperymentów ATLAS, CMS, ALICE i LHCB przy akceleratorze Large Hadron Collider (LHC) w CERN-ie. Inne projekty zostały zaledwie wspomniane. Powodem było przede wszystkim to, że LHC i jego eksperymenty są już zatwierdzone i w trakcie budowy, potencjał odkrywczy LHC w obszarze mas do kilku TeV/c^2 jest największy, i wreszcie to, że naukowe zespoły polskie aktywnie uczestniczą w tych eksperymentach. Na kilku przykładach (poszukiwanie cząstek Higgsa i niektórych cząstek supersymetrycznych) starałem się przedstawić możliwości odkryć nowej fizyki w eksperymencie CMS, w którym sam uczestniczę i który znam najlepiej.

6. Konkluzje

Czekają nas ciekawe czasy. W roku 2005 rusza akcelerator LHC, który dostarczy bardzo bogatych danych na temat nowej fizyki, jeżeli ona istnieje.

Literatura

[1] S. Weinberg, *Teoria pól kwantowych*, t. II (PWN, Warszawa 1999).

[2] Na przykład: M. Martinez, R. Miguel, L. Rolandi, R. Tenchini, „Precision Tests of Electroweak Interaction at the Z^0 Pole", *Rev. Mod. Phys.* **71**, 575 (1999).

[3] Na przykład: F. Wilczek, „Beyond the Standard Model – This Time for Real", hep-ph/9809509.

Fizyka i komputery u progu XXI wieku

Bogdan Lesyng

Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego oraz *Wydział Fizyki*
Uniwersytet Warszawski

1. Wstęp

Na temat komputerów oraz ich zastosowań pisze się stosunkowo dużo. Wynika to z bardzo dynamicznego rozwoju technologii komputerowych i telekomunikacyjnych oraz rozwoju metod obliczeniowych i technik multimedialnych. Pojawiły się nowe pojęcia, takie jak „społeczeństwo informacyjne". Jeżeli chodzi o badania naukowe z wykorzystaniem komputerów, to warto przypomnieć, że do ich rozwoju przyczyniły się m.in. dwie prace. Jedną z nich była praca Kołosa i Wolniewicza [1] z roku 1964, w której wykorzystując wariacyjną zasadę mechaniki kwantowej oraz zaawansowane jak na ówczesne czasy metody obliczeniowe przewidziano energię dysocjacji cząsteczki wodoru z większą dokładnością niż byli to w stanie określić eksperymentatorzy metodami spektroskopii molekularnej. Drugą była wizjonerska praca Feynmana [2] z roku 1981, w której dyskutował on m.in. możliwość zbudowania komputerów kwantowych o znacznie większych możliwościach obliczeniowych w stosunku do komputerów konwencjonalnych. Pomysł ten zaczął się urzeczywistniać w ciągu ostatnich pięciu lat.

Pomimo dużych osiągnięć w zrozumieniu wielu zjawisk w obszarze nauk przyrodniczych, które było możliwe dzięki zastosowaniu metod nauk obliczeniowych, zdarza się, że rola komputerów w realizowaniu najważniejszych badań naukowych jest kwestionowana. W szczególności użycie komputerów dużej mocy, czy – jak kto woli – superkomputerów, w realizacji badań naukowych budziło od czasu do czasu emocje porównywalne jedynie z emocjami ujawnianymi podczas dyskusji na tematy polityczne. Zjawisku temu, które raczej już zanika, można byłoby poświęcić poważniejszą rozprawę z pogranicza metodologii uprawiania nauk przyrodniczych oraz zapewne również psychologii i socjologii. Nie będziemy jednak dyskutować tego problemu zarówno ze względu na ograniczony rozmiar tej pracy, jak i jej inne cele.

Warto zwrócić uwagę, że istnieją obszary nauk przyrodniczych o charakterze podstawowym, takie jak astrofizyka, geofizyka, biologia i biofizyka molekularna oraz niektóre obszary fizyki cząstek elementarnych i fizyki jądrowej, które bez umiejętnego wykorzystania komputerów nie mogłyby w ogóle się rozwijać. Należy również zwrócić uwagę na istotną korzyść w wykorzystywaniu komputerów w obszarze fizyki teoretycznej w celu wspomagania poszukiwania analitycznych rozwiązań trudnych problemów matematycznych oraz wykonywania prototypowych obliczeń i wizualizacji ich wyników z wykorzystaniem takich pakietów oprogramowania, jak Maple, Mathematica czy MatLab. Należy podkreślić, że programy te, podobnie jak i wiele innych programów aplikacyjnych, charakteryzują się stopniem złożoności często wyższym od złożoności bardzo skomplikowanej aparatury eksperymentalnej.

W dalszej części skoncentrujemy się na krótkim przeglądzie współczesnych architektur komputerowych oraz ich obecnych i przyszłych, potencjalnych zastosowaniach w naukach fizycznych i przyrodniczych. Zwrócimy również uwagę na pewne implikacje, jakie rozwój nauk obliczeniowych będzie wnosił do poznania otaczającego nas świata.

2. Czym są komputery?

Należy przede wszystkim zwrócić uwagę, że obecne komputery mogą różnić się w istotny

sposób wewnętrzną strukturą, często wykraczającą już poza zakres konwencjonalnej architektury krzemowej. Na użytek tej pracy przyjmiemy, że przez komputery będziemy rozumieli urządzenia istniejące lub projektowane, służące przetwarzaniu informacji. Przy tej dość ogólnej definicji możemy w przybliżeniu podzielić komputery na następujące grupy:

— komputery konwencjonalne,
— neurokomputery,
— komputery wykorzystujące właściwości samopowielania się cząsteczek DNA („DNA computing"),
— komputery molekularne,
— komputery kwantowe,
— inne.

Poniżej w zarysie omówimy ww. grupy komputerów.

3. Bardzo krótki przegląd istniejących lub tworzonych architektur komputerowych

Nasze codzienne doświadczenia związane są z konwencjonalnymi komputerami i dotyczą najczęściej skalarnych komputerów osobistych. Ich teoretyczna moc obliczeniowa z wykorzystaniem nowej generacji procesorów, takich jak AMD-K7, Pentium III czy PowerPC G4, o częstości zegara równej kilkaset MHz, zbliżona jest do mocy obliczeniowej superkomputerów sprzed 10 lat. Postęp technologiczny jest zatem imponujący.

Niezależnie jednak od tego, jak szybkie są procesory, zawsze istnieją lub pojawiają się problemy wymagające jeszcze większych mocy obliczeniowych. Prosty wniosek, jaki wynika z tej obserwacji, jest następujący: niezależnie od postępu w rozwoju technologii komputerowych tworzenie rozwiązań pozwalających na przetwarzanie informacji w sposób równoległy będzie zawsze pożyteczne i powinno teoretycznie umożliwić liniowy wzrost szybkości obliczeń ze wzrostem liczby procesorów. Najczęściej wzrost szybkości obliczeń jest mniejszy niż liniowy, ponieważ proces obliczeniowy rzadko można dokładnie rozłożyć na N niezależnych procesów realizowanych na N oddzielnych procesorach. Pomimo tych ograniczeń komputery o architekturze równoległej znajdują się w czołówce najszybszych maszyn na świecie.

W świecie osób zajmujących się technikami obliczeniowymi od dawna istnieje pewien pozorny konflikt, który można zatytułować: farmerzy kontra fani komputerów równoległych. Otóż farmerzy uważają, że można tworzyć wydajnie działające komputery równoległe przez proste sieciowe łączenie dużej liczby skalarnych maszyn typu PC, tworząc tzw. farmy, które potencjalnie mogą konkurować z na ogół znacznie droższymi maszynami równoległymi, produkowanymi przez komercyjne firmy. Istota problemu sprowadza się do tego, że co prawda farmy są znacznie tańsze, ale też topologia połączeń pojedynczych komputerów jest znacznie uboższa od realizowanej w komputerach równoległych, a połączenia między węzłami obliczeniowymi – znacznie wolniejsze. Należy podkreślić, że właśnie wąskim gardłem wielu obliczeń jest komunikacja międzyprocesorowa. Problemem są również programistyczne metody zrównoleglania zadań, które w komputerach równoległych stanowią istotny element na ogół sprawnie funkcjonującego systemu operacyjnego. Często spotykanym rozwiązaniem farmerskim jest liniowe łączenie pojedynczych PC lub łączenie w sieć o topologii okręgu, natomiast dość typowym rozwiązaniem sieciowym komputerów równoległych jest zlokalizowanie procesorów z ich lokalnymi pamięciami w sieci o topologii trójwymiarowego torusa. Dedykowane łącza wewnątrz komputera równoległego pracują na ogół z szybkością 10–1000 razy większą od typowych rozwiązań sieciowych wziętych „z półki". Trzeba wszakże podkreślić, że ze względu na znaczny postęp technologiczny w dziedzinie sieci komputerowych akcje farmerów będą zapewne systematycznie wzrastały.

Pierwszymi najbardziej wydajnymi komputerami dużej mocy (superkomputerami) były tradycyjnie komputery wektorowe. Nie wchodząc w problemy o charakterze technicznym można powiedzieć, że procesory wektorowe wykonują w sposób fizyczny operacje arytmetyczne na wektorach. W związku z tym komputery wektorowe wyposażone w odpowiedni system operacyjny i zoptymalizowane kompilatory umożliwiają stosunkowo łatwą algorytmizację obliczeń z wykorzystaniem zmiennych będących wektorami lub macierzami.

W związku z tym, co wyżej powiedziano, łatwo się domyślić, że naturalną tendencją w rozwoju nowoczesnych technologii komputerowych

jest budowa komputerów wektorowo-równoległych. Złożony proces obliczeniowy można dzielić na równoległe zadania realizowane na oddzielnych procesorach i najlepiej, jeżeli procesory te są procesorami wektorowymi. I taką właśnie tendencję w budowie konwencjonalnych maszyn obliczeniowych obecnie się obserwuje (patrz p. 4).

Jeżeli chodzi o neurokomputery, to wywodzą się one z konstrukcji prostych modeli sieci neuronowych, wzorowanych (czy jak byśmy obecnie powiedzieli – modelowanych) na rzeczywistych strukturach prostych neuronowych sieci organizmów żywych. Sieci takie konstruowane są m.in. z wykorzystaniem konwencjonalnej technologii krzemowej przynajmniej od kilkunastu lat. Istotnym osiągnięciem w dziedzinie technologii prostych sieci neuronowych było zbudowanie systemów zdolnych w sposób skuteczny rozpoznawać obrazy. Istotnego postępu w tej dziedzinie dokonano, jak to niestety często bywa, w dziedzinach wojskowych, szczególnie w zagadnieniach szybkiego rozpoznawania obrazów topografii terenu. Obecnie konstrukcja automatów przystosowanych do wykonywania złożonych zadań mających cechy inteligentnego działania jest silnie rozwijającym się obszarem nauki i nowoczesnych technologii.

Z kolei pomysł realizacji procesów obliczeniowych z wykorzystaniem DNA, nośnika informacji genetycznej oraz za pomocą biotechnologicznej metody PCR (sterowanego powielania fragmentów informacji przy wykorzystaniu enzymów replikujących) został sformułowany przez Adlemana w roku 1994 [3]. Wersja popularnonaukowa tego zagadnienia jest przedstawiona w październikowym numerze *Świata Nauki* z 1998 r. W istocie rzeczy fakt, że mamy tutaj do czynienia z DNA, ma raczej znaczenie techniczne, ponieważ informację można byłoby teoretycznie kodować w inny sposób niż ten, który jest realizowany w DNA. Istotne znaczenie mają tutaj enzymy, które moglibyśmy nazwać operatorami, pozwalającymi na przetwarzanie informacji. Do tej pory nie skonstruowano za pomocą „probówkowej technologii" efektywnego arytmometru, pozwalającego na wykonywanie czterech podstawowych działań. Rozwiązano natomiast kilka ważnych zagadnień informatycznych, w szczególności zagadnienie komiwojażera. Problem w najprostszej reprezentacji sprowadza się do znalezienia drogi minimalnej łączącej dwa wybrane miasta, tak aby droga ta przechodziła dokładnie jeden raz przez każde miasto. W procesie „DNA-computingu" miasta kodowane są określonymi, krótkimi sekwencjami DNA, a drogi łączące pary miast – innymi krótkimi sekwencjami. Droga, której poszukujemy, to dłuższy odcinek DNA o sekwencji „miasto pierwsze"–„droga do drugiego miasta"–„drugie miasto"–„droga do kolejnego miasta"–„kolejne miasto"–...–„miasto docelowe". Po zmieszaniu ze sobą fragmentów kodujących miasta oraz fragmentów kodujących łączniki, a następnie po przeprowadzeniu procesu enzymatycznego połączenia wszystkich możliwych do pomyślenia połączeń, należy w całym olbrzymim zespole powstałych możliwości odszukać określony fragment DNA, który rozpoczyna się miastem pierwszym, kończy się miastem docelowym i zawiera w sobie wszystkie inne miasta dokładnie jeden raz. W całym tym procesie korzysta się „w sposób siłowy" z możliwości równoległej realizacji wszystkich możliwych połączeń, a na końcu odszukania rozwiązania „igły w stogu siana", co udaje się za pomocą metod biotechnologicznych. Pomimo że liczba wszystkich możliwych połączeń jest „astronomiczna", „bardziej astronomiczna" jest liczba cząsteczek DNA próbkujących przestrzeń wszystkich możliwych połączeń.

Istotnym ograniczeniem dla możliwości masywnego przetwarzania informacji przez konwencjonalne komputery jest szybkość zmiany stanów pamięci oraz ilość wydzielanego ciepła. Minimalizacja ilości wydzielanego ciepła związana jest z miniaturyzacją systemów przechowywania i przetwarzania informacji, to zaś prowadzi do prób wykorzystania nowych technologii, bazujących na pojedynczych strukturach molekularnych. Chociaż nikt do tej pory nie zbudował adresowalnej pamięci molekularnej typu RAM (Random Access Memory), służącej do zapisywania i czytania informacji, to intensywność prowadzonych w tym kierunku badań wskazuje, że komputery molekularne mogą stać się rzeczywistością nie tak bardzo odległej przyszłości. Istotnym osiągnięciem naukowym i technologicznym jest tutaj zbudowanie bramek logicznych AND i OR oraz niewielkich pamięci typu PROM (Programmable Read Only Memory) z wykorzystaniem rotaksanów, cząsteczek uporządkowanych w postaci pojedynczych warstw, zlokalizowanych w strukturze „kanapek", złożonych z warstw półprzewodniko-

wych i metalicznych. Rotaksany mogą przepuszczać prąd elektryczny na zasadzie rezonansowego tunelowania, a zjawisko to może być sterowane procesami oksydacyjno-redukcyjnymi tych układów molekularnych. Proces utleniania rotaksanów jest realizowany poprzez przyłożenie niewielkiego dodatniego potencjału do warstwy molekularnej (odbieranie elektronów przez dodatnio naładowaną elektrodę to proces utleniania, podobnie jak czyni to cząsteczka O_2, będąca klasycznym utleniaczem). Niestety, utlenianie w tym układzie jest procesem nieodwracalnym, stąd informację można jedynie zapisać. Okazuje się, że można ją jednak również odczytać. Zainteresowanych tą tematyką Czytelników odsyłam do pracy zrealizowanej przez grupę badaczy z UCLA oraz z laboratorium Hewlett-Packard [4]. Należy zwrócić uwagę, że w Polsce na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego realizowane są również prace w kierunku tworzenia pamięci molekularnych. Pomysł w tym przypadku związany jest z wykorzystaniem metastabilnych stanów elektronowych w oligomerach o właściwościach donorowo-akceptorowych [5]. Należy również zwrócić uwagę, że istotny postęp został dokonany w projektowaniu małych molekularnych maszyn, wzorowanych na maszynach biomolekularnych. W szczególności w sposób kontrolowany można zmieniać stany przestrzenne (konformacje) określonych cząsteczek poprzez absorpcję kwantów promieniowania o określonej częstości oraz zmiany temperatury układu, patrz np. [6].

Trzeba podkreślić, że jednym z pierwszych fizyków wskazujących na możliwości kodowania informacji na poziomie molekularnym był Feynman („there is plenty of room at the bottom") [7]. Jak już wspomnieliśmy we wstępie, również Feynman był tym, który po raz pierwszy wskazał na możliwość wykorzystania mechaniki kwantowej do przetwarzania informacji w sposób bardziej skuteczny niż w przypadku klasycznej fizyki, a więc na możliwość budowy komputerów kwantowych. Istota pomysłu polega na tym, że sterowana ewolucja stanu kwantowego może być interpretowana jako proces obliczeniowy odpowiadający bardzo wielu równoległym procesom klasycznym. W ciągu ostatnich dziesięciu lat powstało wiele algorytmów pozwalających na realizację teoretycznych obliczeń kwantowych, w szczególności rozkładu liczb na czynniki pierwsze. Stąd już jeden krok do praktycznych zastosowań w dziedzinie kryptografii. Problem w tym, że co prawda można stosunkowo łatwo zaprojektować kwantowy proces obliczeniowy, ale odczyt informacji przez zewnętrznego obserwatora związany jest z redukcją funkcji falowej, a więc nieodwracalną jej zmianą i niemożliwością dalszego wykorzystania tej funkcji do kontynuowania kwantowego procesu obliczeniowego. Czytelnik zainteresowany tą pasjonującą tematyką może znaleźć więcej informacji w artykule M. Kusia w *Postępach Fizyki* [8].

4. Największe przedsięwzięcie komputerowe przełomu XX i XXI w.

W Japonii rozpoczęto realizację imponującego projektu budowy konwencjonalnego superkomputera o nazwie „Earth Simulator", przeznaczonego głównie do wykonywania symulacji procesów atmosferycznych Ziemi oraz symulacji dynamiki skorupy ziemskiej. Część podstawowa projektu ma zostać ukończona do końca marca 2001 roku. Superkomputer będzie składał się docelowo z 640 węzłów obliczeniowych. Każdy węzeł zawiera 8 zminiaturyzowanych procesorów wektorowych NEC SX4 oraz 16 GB pamięci operacyjnej. W sumie zatem cały superkomputer będzie miał 5120 procesorów wektorowych i ok. 10 TB pamięci operacyjnej. Architektura komputera jest typu MIMD (Multiple Instruction Multiple Data) ze wspólną pamięcią w ramach jednego węzła (shared memory) i pamięcią rozproszoną z punktu widzenia globalnej struktury maszyny (distributed memory). Na uwagę zasługuje specjalnie skonstruowany, dedykowany moduł komunikacyjny typu SSCN (Single-Stage Crossbar Network). Praktyczna wydajność obliczeniowa maszyny będzie większa niż 5 TFlops, a maksimum teoretyczne wynosić będzie ok. 40 TFlops. Czytelnik zainteresowany szczegółami projektu może znaleźć obszerne informacje pod adresem: http://www.gaia.jaeri.go.jp/.

5. W badaniu jakich problemów komputery są lub mogą być szczególnie użyteczne?

Zagadnienia, które byłoby szczególnie trudno badać bez wykorzystania komputerów, w tym komputerów dużej mocy, charakteryzują się naj-

częściej dużą złożonością struktury, co prowadzi często do procesów przebiegających w kilku/wielu różnych skalach czasowych i/lub przestrzennych. Są to problemy szczególnie trudne do badań metodami analitycznymi. Z taką sytuacją mamy na ogół do czynienia, kiedy chcemy badać rzeczywiste układy fizyczne. Warto przytoczyć tutaj kilka typowych przykładów. Symulacja zmian struktury elektronowej cząsteczek wody metodą kwantowej dynamiki połączonej z klasyczną dynamiką ruchu jąder atomowych, realizowana w ramach wariacyjnego modelu Carra–Parrinello [9], pokazała, że w dużych klasterach wody średnia wartość momentu dipolowego jednej cząsteczki wynosi ok. 3 D i praktycznie w klasterach tych nie ma cząsteczek, które miałyby moment dipolowy zbliżony do 1,8 D, a więc charakterystyczny dla cząsteczek izolowanych. Oznacza to, że woda jako roztwór jest obiektem silnie kooperatywnym. Nie jest to wynik zaskakujący, ponieważ już znacznie wcześniej było wiadomo, że trójciałowe oddziaływania pomiędzy cząsteczkami wody są silne. Niemniej widać, że redukcja złożonego systemu do prawie pierwszych zasad pozwala na opis właściwości makroskopowych i mezoskopowych na podstawie oddziaływań mikroskopowych. Metoda umożliwia również precyzyjne zadawanie dalszych pytań pod adresem układu o kluczowym znaczeniu dla wielu procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych. Jeżeli uświadomimy sobie dalej, że w czystej wodzie jedna na 10 milionów cząsteczek spontanicznie ulega dysocjacji, a zmiana proporcji ilości cząsteczek zdysocjowanych do niezdysocjowanych o czynnik 10–100 (co w dalszym ciągu jest bardzo małą liczbą!) radykalnie wpływa na funkcje biologiczne większości układów biomolekularnych, to widać, jak subtelną fizykę trzeba stosować do opisu właściwości tych układów w ich rzeczywistym otoczeniu. Czytelników zainteresowanych dalszymi, może nawet ciekawszymi przykładami z pogranicza fizyki i biologii, odsyłam m.in. do prac [10–12].

Bardzo ciekawych przykładów dostarcza fizyka ciała stałego. W szczególności symulacja i trójwymiarowa analiza wizualizacyjna struktury elektronowej nadprzewodników wysokotemperaturowych (patrz m.in. [13]) pozwala na pełniejsze zrozumienie przyczyn determinujących ich obserwowane doświadczalnie właściwości. Z kolei połączenie modeli kwantowych i klasycznych oraz dyskretnych i ciągłych w jeden spójny model dla opisu i symulacji zjawiska propagacji pęknięć w płytkach krzemowych przedstawiony jest w bardzo wartościowej z poznawczego punktu widzenia pracy [14]. Opis tego zjawiska wymaga metod kwantowej dynamiki dla obszaru propagacji pęknięcia, mikroskopowej klasycznej dynamiki molekularnej dla obszaru otaczającego rysę oraz metod ośrodka ciągłego dla pozostałego obszaru. W ośrodku ciągłym wytwarzane są naprężenia zależne od dynamiki propagacji pęknięcia, jednocześnie wpływające na tę dynamikę. Można byłoby dalej przytoczyć wiele innych bardzo interesujących prac, szczególnie z obszaru astrofizyki i kosmologii, gdzie komputer jest jednym z istotnych „narzędzi eksperymentalnych".

Analiza nie byłaby pełna, gdybyśmy pominęli nauki stosowane, które na co dzień wykorzystują nietrywialną fizykę zakodowaną w postaci eksperckiego oprogramowania aplikacyjnego. Wykorzystanie komputerów jest tutaj ogromne, począwszy od projektowania złożonych makroskopowych układów mechanicznych i symulacji ich dynamiki w warunkach imitujących warunki naturalne (np. samoloty), do projektowania mikroskopowych automatów w obszarach nowych nanotechnologii i do projektowania nowych leków.

6. Podsumowanie

Praca zawiera podstawowe informacje o typach i architekturze współczesnych komputerów oraz ich zastosowaniach w badaniach układów złożonych, w różnych obszarach fizyki i innych nauk przyrodniczych.

Przegląd nie byłby wszakże zupełny, gdyby nie wspomnieć choć jednym zdaniem o roli komputerów i nowych technologii sieciowych w tworzeniu naukowych baz danych oraz wirtualnych bibliotek. Szybki dostęp do informacji naukowej jest istotnym elementem postępu cywilizacyjnego. Czytelników, którzy byliby zainteresowani tą tematyką, odsyłam m.in. do naszej pracy przedstawionej na konferencji poświęconej bazom danych dla nauki [15].

Na zakończenie chciałbym wyrazić pogląd, że rozwój technologii komputerowych i nauk obliczeniowych umożliwi zapewne znacznie lepsze zrozumienie zasad funkcjonowania mózgu oraz zasad tworzenia modeli i rozumienia otaczającej nas rze-

czywistości. W następnym stuleciu badanie relacji rzeczywistego materialnego świata, świata matematyki oraz wirtualnego świata mózgu stanowić będzie bez wątpienia obszerny obszar pasjonujących badań.

Czytelników zainteresowanych bieżącymi, ciekawymi badaniami z obszaru nauk przyrodniczych i obliczeniowych zarówno w Polsce, jak i na świecie odsyłam do serwera informacyjnego Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (www.icm.edu.pl).

Literatura

[1] W. Kołos, L. Wolniewicz, *J. Chem. Phys.* **41**, 3663 (1964).

[2] R. Feynman, *Int. J. Theor. Phys.* **21**, 467 (1982).

[3] L.M. Adleman, *Science* **266**, 1021 (1994).

[4] C.P. Collier, E.W. Wong, M. Belohradsky, F.M. Raymo, J.F. Stoddart, P.J. Kuekes, R.S. Williams, J.R. Heath, *Science* **285**, 391 (1999).

[5] W. Nowaczek, L. Piela, L.Z. Stolarczyk, „Low-energy Metastable Electronic States of Donor-acceptor Oligomers", w: *Advanced Materials for Optics and Electronics"*, t. 6 (Wiley UK, 1996), s. 301.

[6] N. Koumura, R.W.J. Zijlstra, R.A. van Delden, N. Harada, B.L. Feringa, *Nature* **401**, 152 (1999).

[7] R. Feynman, *Eng. Sci.* **23**, 22 (1960).

[8] M. Kuś, *Postępy Fizyki* **50**, zesz. dod., 19 (1999).

[9] P.L. Silvestrelli, M. Parinello, *J. Chem. Phys.* **111**, 3132 (1999).

[10] J.M. Briggs, J.A. McCammon, *Computers in Physics* **6**, 238 (1992).

[11] P. Bała, P. Grochowski, B. Lesyng, J.A. McCammon, *J. Phys. Chem.* **100**, 2335 (1996).

[12] B. Lesyng, „Simulations of Biomolecular Systems and Processes: Perspectives and Limitations, w: *Modelling and Simulation: A Tool for the Next Millenium*, 13th European Simulation Multiconference, June 1–4, 1999, Warsaw, Poland, a Publication of the Society for Computer Simulation International, s. 26.

[13] J.M. Zuo, M. Kim, M. O'Keeffe, J.C.H. Spence, *Nature* **401**, 49 (1999).

[14] J.Q. Broughton, F.F. Abraham, N. Bernstein, E. Kaxiras, *Phys. Rev. B* **60**, 2391 (1999).

[15] P. Bała, P. Grochowski, B. Lesyng, „Biblioteki wirtualne. Fikcja czy rzeczywistość następnego stulecia?", w: *INFOBAZY '99*, materiały konferencji organizowanej pod patronatem KBN, Gdańsk, 30.08–1.09.1999, s. 25.

Zastosowania femtosekundowej spektroskopii laserowej: od klastrów do chmur

Ludger Wöste

Institut für Experimentalphysik, Freie Universität Berlin, Niemcy

1. Wstęp

Narzędzia badawcze są często siłą napędową badań w wielu dyscyplinach i niejednokrotnie tworzą pomosty między nimi. Technika wiązek atomowych i molekularnych, która bardzo silnie wpłynęła na rozwój fizyki atomu, jest tego przykładem. Jej znaczenie obserwujemy od podstawowego doświadczenia Sterna–Gerlacha do chłodzenia laserowego i kondensacji Bosego–Einsteina. Technika ta ponadto przyczyniła się do rozwoju badań jądrowych, dostarczając precyzyjnych danych o momentach jądrowych w eksperymentach typu doświadczenia Rabiego. Zrewolucjonizowała ona także chemię fizyczną, pozwalając na obserwację dynamiki procesów molekularnych w skrzyżowanych wiązkach w warunkach zderzeń jednokrotnych.

Innym przykładem uniwersalności narzędzi badawczych jest spektrometria masowa. Na początku umożliwiła ona pomiar masy spoczynkowej elektronu i jego masy relatywistycznej. Potem pozwoliła na separację izotopów, a ostatnio stała się podstawowym narzędziem analizy wielkich obiektów biologicznych. Połączenie obu technik spowodowało przełom w fizyce klastrów. Rozwój modelu powłokowego, potwierdzenie przejść metal-niemetal, odkrycie fullerenów i obserwacja selektywności wielkościowej procesów katalizy nie byłyby możliwe bez źródeł molekularnych wiązek naddźwiękowych sprzężonych ze spektrometrami masowymi. W większości tych eksperymentów użyto również nowoczesnych przestrajanych laserów, aby zwiększyć precyzję detekcji przez selektywne wzbudzanie poziomów rotowibracyjnych. Zastosowanie ultraszybkich (femtosekundowych) laserów strojonych umożliwi ponadto wpływ na przebieg różnych procesów wewnątrzcząsteczkowych.

Spektroskopia laserowa spowodowała z kolei przełom w nauce o atmosferze. Wynalazek LIDAR-u (LIght Detection And Ranging) jest dobrym przykładem. Dzięki niemu zaobserwowano na wysokości ok. 100 km fluorescencję atomów sodu pochodzenia meteorytowego. Na mniejszych wysokościach, gdzie metody fluorescencyjne zawodzą z powodu ciśnieniowego tłumienia fluorescencji, zastosowanie techniki DIAL (DIfferential Absorption Lidar) pozwala uzyskać na przestrzeni kilku kilometrów trójwymiarową mapę koncentracji śladowych składników atmosfery: H_2O, O_3, SO_2, NO i NO_2, benzenu, toluenu, metanu itd. Czułość tej techniki sięga jednej cząsteczki monitorowanej substancji na miliard cząsteczek powietrza. Lidar umożliwia także wykrywanie aerozoli, pyłów i chmur w stratosferze (< 28 km). Wykrycie cząsteczek PSC (Polar Stratospheric Clouds) w regionach polarnych umożliwiło zrozumienie procesów niszczenia ozonu stratosferycznego nad tymi obszarami. Wiemy, że aerozole odgrywają zasadniczą rolę w chemii atmosfery, czego przykładem są zjawiska smogu i kwaśnych deszczy. Te procesy nie są jeszcze do końca wyjaśnione. Mamy tu do czynienia ze skomplikowanymi reakcjami fotochemicznymi, zachodzącymi w atmosferze na powierzchni aerozoli między substratami w różnych fazach.

Zachodzi uderzające podobieństwo między nimi, a reakcjami klastrów na powierzchni mikrokryształów, np. w procesie fotograficznym. Celem tego artykułu jest pokazanie związku między fizyką klastrów i nauką o atmosferze oraz wskaza-

nie, że narzędzia badawcze charakterystyczne dla każdej z nich są niezwykle użyteczne dla obu. Najważniejszym narzędziem z tego punktu widzenia jest ultraszybka spektroskopia laserowa.

2. Proces nukleacji

Najważniejszym sposobem wytwarzania klastrów jest adiabatyczne rozprężanie gazu. Gaz pod wysokim stałym ciśnieniem rozpręża się przez dyszę do próżni. Tuż za dyszą wielokrotne zderzenia atomów/cząsteczek gazu prowadzą do powstania klastrów, a system przesłon umożliwia ich ekstrakcję w postaci skolimowanych wiązek. Rozkład wielkości klastrów jest badany spektrometrem masowym. Obserwowano np. cząstki rtęci o wielkości 50 atomów. Podobne zjawisko obserwuje się w postaci smug kondensacyjnych za odrzutowcami lecącymi na dużych wysokościach.

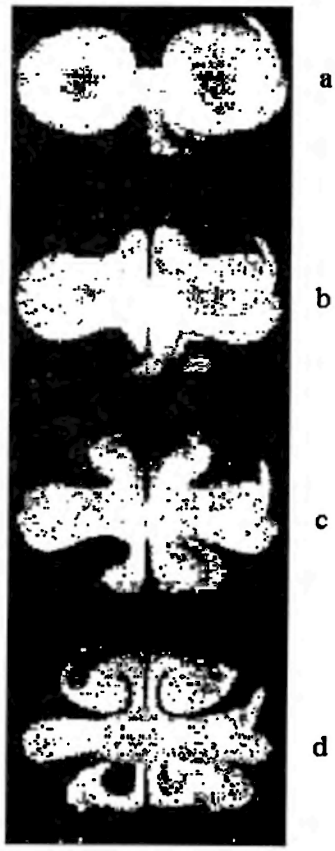
Spektroskopowe pomiary wykazały, że wiązka klastrów nie jest w równowadze termodynamicznej, ponieważ temperatura związana z rozkładem energii kinetycznej cząstek różni się znacznie od temperatury wynikającej z obsadzenia stanów rotacyjnych i wibracyjnych. Dodanie gazu buforującego zwiększa wydajność tworzenia klastrów, natomiast oświetlenie rezonansowym promieniowaniem laserów – zmniejsza. Jednak w odpowiednich warunkach promieniowanie laserowe też może prowadzić do nukleacji.

Pięknym przykładem jest „śnieg laserowy" otrzymany przez Ernsta i Hoffmana. Aerozol w parze CS_2 powstał w wyniku jej oświetlenia promieniowaniem laserowym. Autorzy zaproponowali następujący mechanizm objaśniający powstanie aerozolu:

$$CS_2 + h\nu\,(337{,}1\text{ nm}) \rightarrow CS_2^*,$$
$$CS_2 + CS_2^* \rightarrow 2CS + S_2,$$
$$N(CS) \rightarrow (CS)_n.$$

Źródłem promieniowania UV był laser azotowy rezonansowo wzbudzający parę CS_2. Na rysunku 1 pokazany jest przestrzenny rozkład aerozolu. Podobny rezultat otrzymali Kolwas i inni, którzy obserwowali zwiększoną agregację klastrów sodowych w mieszaninie He/Na oświetlonej rezonansowym światłem z lasera argonowego.

Z meteorologicznego punktu widzenia ważna jest nukleacja wody w atmosferze. Liczne próby wywołania sztucznej kondensacji za pomocą jodku srebra nie dały dobrych rezultatów. Wynika to z braku znajomości wielu parametrów atmosfery. Lidarowy monitoring atmosfery może być istotną pomocą. Można też oczekiwać, że laserowo indukowany aerozol – podobnie jak w powyższych eksperymentach – będzie ekonomiczniejszym i bardziej ekologicznym sposobem wywoływania opadów. Obiecująca perspektywa powstała wraz z pojawieniem się nowych laserów femtosekundowych. Ich moc chwilowa jest wystarczająco duża, aby wytworzyć plazmę wzdłuż toru wiązki światła dzięki wielofotonowej jonizacji. Powstałe jony mogą być ośrodkami kondensacji. Inne możliwości przedstawiono poniżej.



Rys. 1. Czasowa ewolucja „śniegu laserowego" po włączeniu pola elektrycznego. Aerozol powstał dzięki naświetlaniu pary CS_2 laserem azotowym (337,1 nm).

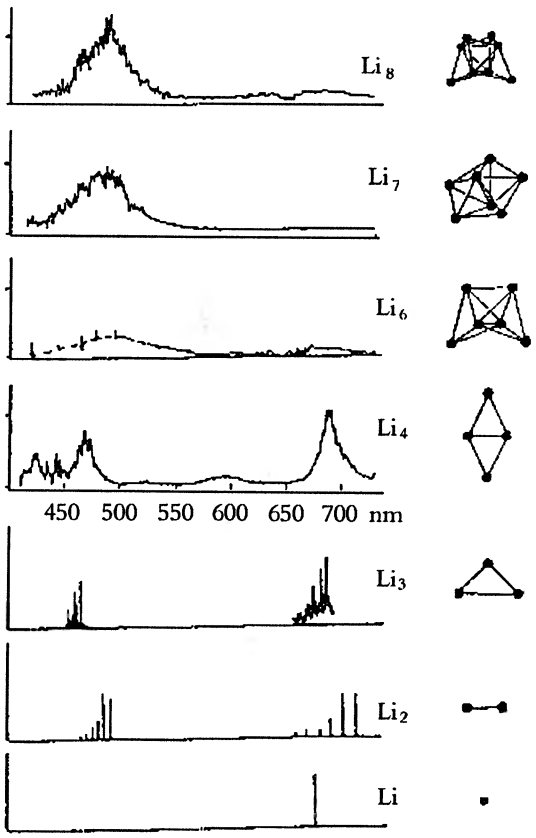
3. Spektroskopia

3.1. Spektroskopia klastrów

Technika REMPI (REsonant Multi-Photon Ionization) jest stosowana do analizy klastrów. Polega ona na użyciu dwóch wiązek laserowych:

jedna strojona ($h\nu_1$) wzbudza przejście elektronowe w klastrach, druga ($h\nu_2$) jest użyta do zjonizowania wzbudzonych klastrów, które z kolei są analizowane w spektrometrze masowym.

Przykładem elektronowego widma absorpcji klastrów jest widmo Li_n pokazane na rys. 2. Opra-

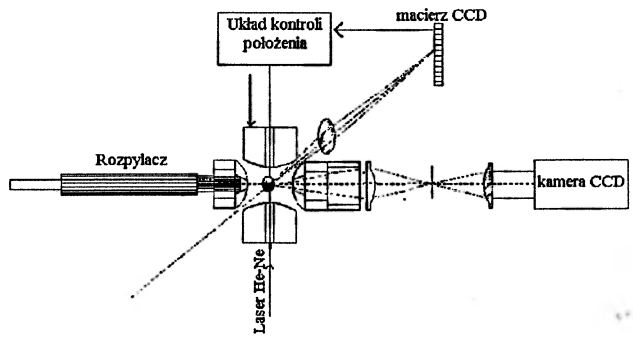


Rys. 2. Widma absorpcyjne klastrów Li_n dla $1 \leqslant n \leqslant 8$. Uzyskano je techniką REMPI. Odpowiednie formy geometryczne cząstek wynikają z porównania widm z rachunkami *ab initio*.

cowaliśmy technikę femtosekundowej spektroskopii klastrów. Femtosekundowy impuls ($h\nu_1$) wzbudza cząstki, które są następnie po określonym czasie jonizowane drugim impulsem ($h\nu_2$). Rejestruje się sygnał jonowy w funkcji opóźnienia. Analiza fourierowska sygnału umożliwiła znalezienie częstości oscylacyjnych związanych z drganiami cząsteczek. Znaleziono też inne własności klastrów. Do femtosekundowych badań klastrów wyselekcjonowanych co do rozmiaru opracowano technikę NeNePo (Negative-Neutral-Positive). Ujemnie naładowany klaster jest więziony w pułapce jonowej, optycznie rozładowywany, tak by znaleźć się w stanie podstawowym, a następnie z określonym opóźnieniem znów jonizowany, ale dodatnio. Ten jon jest wykrywany spektrometrem masowym. Eksperyment pokazał przydatność ultraszybkiej spektroskopii do badań zjawisk wewnątrzcząsteczkowych w czasie realnym.

3.2. Spektroskopia pułapkowanych aerozoli

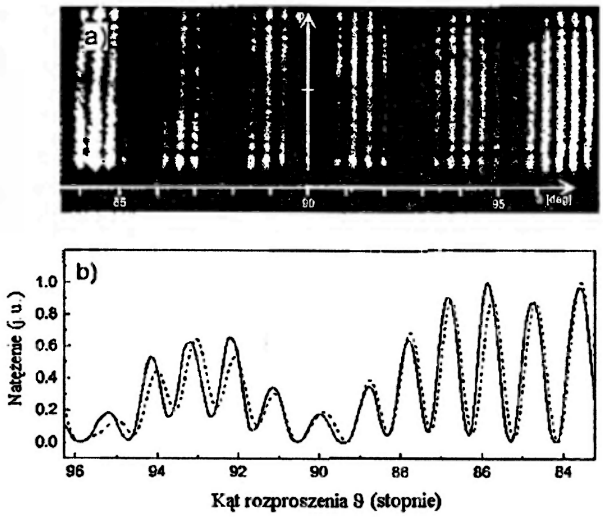
Technika spektroskopii klastrów, polegająca na badaniu obiektu określonych rozmiarów, jest użyteczna również w przypadku cząstek aerozoli, które są większe od długości fali światła użytego do obserwacji. Pułapka jonowa znów jest bardzo przydatna. Opracowaliśmy elektrodynamiczną pułapkę Paula, umożliwiającą dowolnie długie obserwacje cząstki. Jak pokazano na rys. 3, kwadrupolowa pułapka składa się z poziomej elektrody pierścieniowej i dwóch elektrod w kształcie czaszy. Do elektrody poziomej przyłożone jest



Rys. 3. Schemat elektrodynamicznej pułapki Paula do badań mikrokropli.

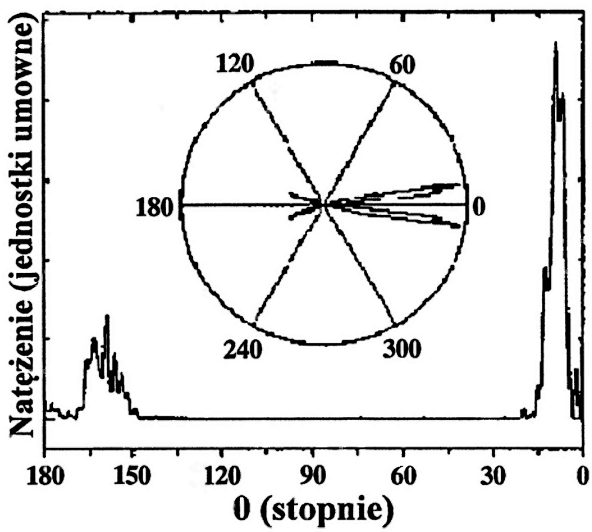
zmienne napięcie 0,5–6 kV o częstości 10–1000 Hz. Siła grawitacyjna jest skompensowana stałym polem przyłożonym do elektrod kulistych. Naładowane mikrokrople są wytwarzane za pomocą rozpylacza piezoelektrycznego. Typowo na jednej kropelce powstaje ok. 10^6 ładunków elementarnych. Uwięziona cząstka jest oświetlana liniowo spolaryzowaną wiązką światła z lasera He-Ne (632,8 nm), dając wyrazisty sygnał rozproszenia Mie. Kamera CCD jest detektorem światła rozproszonego. Ponieważ kropla paruje w trakcie eksperymentu, dodatkowa kamera jest użyta do kontroli jej położenia, a otrzymany sygnał wykorzystuje się do regulacji stałego napięcia. Przy okazji mierzy się w ten sposób stosunek q/m uwięzionej cząstki. Wszystkie parametry zewnętrzne pułapki są kontrolowane. Przykładowa rejestracja jest pokazana na rys. 4. Takie dane umożliwiają okre-

ślenie wielu własności aerozolu. Wykryto zjawisko eksplozji kulombowskiej. Gdy cząstka staje się

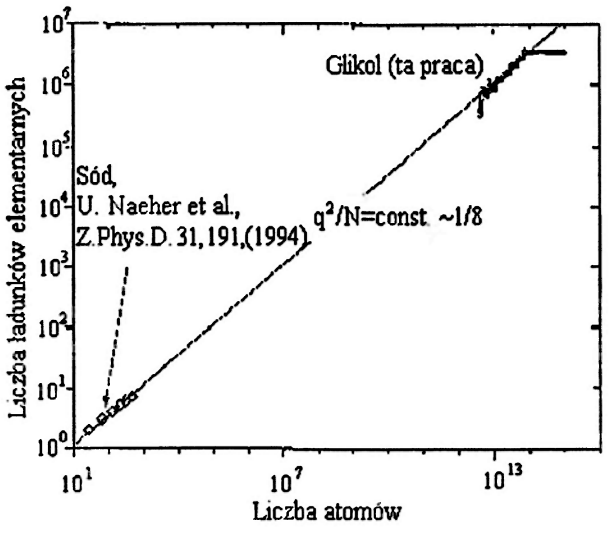


Rys. 4. Sygnał rozproszenia Mie od uwięzionej mikrokropli: a) bezpośrednio obserwowany kamerą CCD; b) porównanie danych doświadczalnych (linia ciągła) z teorią Mie (linia przerywana), co pozwoliło wyznaczyć średnicę cząstki i jej współczynnik załamania: $d = 39{,}81$ μm oraz $n = 1{,}4069$.

zbyt mała, odpychanie kulombowskie przewyższa wiążące siły powierzchniowe i cząstka gwałtownie traci nadmiar ładunku, nie zmieniając swojej masy. Podobne zjawisko zaobserwowano dla naładowanych klastrów, co dowodzi, że mikrokrople można traktować jako wynik ewolucji klastrów. Uzasadnia taki pogląd rys. 5. Obserwacje ramanowskie lub fluorescencyjne klastrów są nieprzydatne, ponieważ sygnał izotropowy zanika zbyt szybko z odległością, w przeciwieństwie do rozproszenia Mie (ten sygnał nie jest izotropowy). Nową szansę daje tutaj ultraszybka spektroskopia laserowa. Wytworzono w mikrokropelce sygnał trzeciej harmonicznej po oświetleniu jej femtosekundowym laserem Ti:Sa (szafir domieszkowany tytanem). Okazuje się, że sygnał ma silne własności kierunkowe (rys. 6), co jest czymś zupełnie różnym od klasycznego rozproszenia Mie. Jest to istotne dla monitoringu aerozoli za pomocą lidaru.



Rys. 6. Kątowa zależność natężenia trzeciej harmonicznej wywołanej przez mikrokroplę oświetloną impulsem femtosekundowym. Widoczne są maksima rozproszeniowe do przodu i do tyłu.



Rys. 5. Krzywa stabilności naładowanych klastrów sodowych i mikrokropli. Liniowa zależność jest obserwowana przez 15 rzędów wielkości.

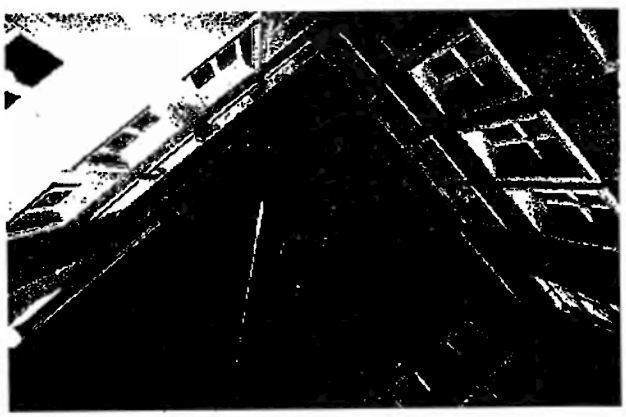
3.3. Zdalne sondowanie atmosfery

Zasada działania lidaru jest przedstawiona w komunikacie zjazdowym Chudzyńskiego i in. (*Postępy Fizyki* **50**, zesz. dod., 39 (1999)). Głównym źródłem sygnału jest rozproszenie Mie. Jeżeli lidar pracuje na kilku długościach fal (multispektralny lidar), to jest możliwe odtworzenie rozkładu wielkości kropelek, współczynnika załamania aerozolu i stopnia koagulacji. Jest to szczególnie ważne przy obserwacji polarnych stratosferycznych chmur (PSC). Na powierzchni cząstek tych chmur gromadzą się bowiem cząsteczki HCl i $ClONO_2$, będące latem źródłem atomów Cl* odpowiedzialnych za dziurę ozonową (swobodne atomy chloru wzbudzonego powstają w wyniku działania promieniowania słonecznego). Procesy te nie są do końca wyjaśnione, a eksperymenty

opisanego typu umożliwią lepszy wgląd w to zagadnienie. W związku z tym potrzeba więcej informacji o składzie chmur PSC.

Informację o składnikach atmosfery można uzyskać stosując technikę DIAL. Należy użyć dwóch laserów pracujących na dwóch bliskich długościach fali, przy czym jedna jest dostrojona do przejścia absorpcyjnego. Numeryczna analiza sygnałów lidarowych umożliwia w przypadku przemiatania kierunku obserwacji zbudowanie trójwymiarowej mapy zanieczyszczeń atmosfery. Chociaż jest to skuteczna technika, jednak ma pewne wady: w danej chwili można monitorować tylko jedną substancję, zasięg jest ograniczony do kilku kilometrów z powodu zaniku sygnału rozproszeniowego jak $1/R^2$ oraz brak pełnej informacji o aerozolu.

Było to motywacją do eksperymentu lidarowego z użyciem femtosekundowego lasera terawatowego. Pionowo w górę wysyłano impulsy (200 mJ, 100 fs) lekko zogniskowanego światła w ten sposób, że w ognisku impuls był czasowo najkrótszy. Geometryczne i czasowe ognisko uzyskano 30 m od lasera. Spodziewano się generacji w tym miejscu światła białego. Ku naszemu zdumieniu powstała nie tylko lokalna plazma w ognisku, ale ukazał się świecący na biało plazmowy kanał, rozciągający się na znaczną odległość (rys. 7). Powstałe świecenie było rejestrowane za pomocą teleskopu sprzężonego z wielokanałowym analizatorem optycznym, co umożliwiło jednoczesną obserwację w zakresie od UV do IR. Rejestrowano sygnały nawet z odległości 12 km. Zjawisko objaśnia się sekwencją zjawisk nieliniowych: powstaniem nieliniowego współczynnika załamania (dodatnia soczewka Kerra) i wielofotonową jonizacją (rozogniskowanie wiązki). Te efekty równoważą się w ten sposób, że powstaje rozciągły kanał plazmowy.



Rys. 7. Fotografia wywołanej w atmosferze świecącej na biało smugi. Użyto femtosekundowego lasera impulsowego Ti:Sa (220 mJ, 100 fs). Ekspozycja została wykonana dwukrotnie, stąd podwójne obrazy gwiazd.

4. Perspektywy

Obserwacja kanału plazmowego, wytwarzanego w atmosferze przez silny laser femtosekundowy, daje nadzieję na wiele interesujących zastosowań:

— impulsowe źródło światła białego w atmosferze umożliwia jednoczesny pomiar wielu składników atmosfery i ich rozkładu przestrzennego;

— oddziaływanie światła o dużym natężeniu z aerozolem daje szansę pojawienia się nieliniowego rozpraszania Mie, co zwiększyłoby rozproszenie do tyłu i tym samym wzrósłby zasięg lidarów;

— możliwość użycia silnych laserów na dużej odległości od aerozolu sugeruje, że mogą powstać inne zjawiska nieliniowe, np. stymulowane rozproszenie Ramana, co pozwoli na wielokomponentową (chemiczną) analizę cząstek;

— duże natężenie pola laserowego pozwoli na optyczną analizę aerozolu submikronowego, niezmiernie istotnego w procesie powstawania chmur i ustalaniu radiacyjnego bilansu Ziemi;

— możliwość wytwarzania ładunków elektrycznych wzdłuż wiązki laserowej otwiera szansę stymulowania skraplania pary wodnej;

— kanał plazmowy – jak pokazano – przewodzi elektryczność, co otwiera perspektywę badania i kontrolowania wyładowań atmosferycznych.

Tłumaczył i streszczenia dokonał
Stanisław Chudzyński
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
Warszawa

Rewolucja w naukach o Ziemi

Adam Dziewoński

Harvard University, Cambridge, Massachusetts, USA

Tytuł tego wykładu mógłby w zasadzie brzmieć: „nie zakończona rewolucja". Trudno jest określić dokładnie, kiedy się ona rozpoczęła. Punktem wyjścia były różne hipotezy z lat 60., określane ogólnie jako tektonika płyt. Teoria ta była w stanie wytłumaczyć większość fizycznych struktur geologicznych, takich jak grzbiety oceaniczne, rowy czy pasma górskie, a także w ogólności historię Ziemi w okresie przynajmniej ostatnich 200 milionów lat. Opisuje ona procesy tworzenia nowej skorupy oceanicznej w strefach grzbietów oceanicznych oraz niszczenie starej litosfery w rowach oceanicznych, a także procesy orogeniczne.

Uderzająca prostota tej teorii sprowadzała się w zasadzie do tego, że powierzchnię Ziemi tworzy 6 głównych i 6 pomniejszych płyt tektonicznych, które poruszają się względem siebie i oddziałują ze sobą na swoich granicach, pokrywając przy tym kulę ziemską.

Naturalną koleją rzeczy geologowie pracujący na lądzie maja pewne podstawy, aby nie zgadzać się z tym opisem Ziemi. Jeśli bowiem porównać aktywność sejsmiczną, pomijając nieistotne tutaj obszary wewnątrz płyt, aktywność w grzbietach oceanicznych przybiera na mapie formę wąskiej linii, podczas gdy tam, gdzie kontynenty się zderzają, jak np. Afryka i Europa czy Eurazja, strefa sejsmiczności ma szerokość nawet 2000 km i trudno jest ją przedstawić jako linię.

Niedokończona rewolucja oznacza tutaj, że choć możemy wytłumaczyć ruchy na powierzchni, naprawdę nie wiemy, co dzieje się w głębi. Podczas podstawowego kursu geofizyki opieram się na podręczniku, choć niezupełnie zgadzam się ze wszystkim, co jest w nim zawarte. Przykładowo, niektóre rysunki pokazują, jak gdyby strefy subdukcji sięgały aż do granicy pomiędzy płaszczem i jądrem, zaś punkty gorąca i grzbiety oceaniczne pokazane są jako płytkie i pasywne struktury. W ogólności teorii tej brakuje odniesienia się do problemów głębokości. W tym miejscu pojawiła się możliwość dla sejsmologii, aby sprawę tę wyjaśnić.

Przykład z podręcznika traktuje – można rzec – o jednowymiarowej Ziemi. Następnym krokiem jest model sporządzony przez poprzedniego laureata Nagrody Crafoorda z dziedziny geochemii. Ukazuje on jak gdyby Ziemię podzieloną na szereg obszarów, różniących się chemicznie bądź geologicznie. W latach 80., w szczególności w 1986 r., mogliśmy już przedstawić trójwymiarowy model Ziemi; można powiedzieć, że kolorowy, jeśli poprzedni model określono by mianem „szary". Przekrój przez Ziemię można przedstawić w kolorach, które odzwierciedlają względne różnice w prędkościach fal sejsmicznych, np. poprzecznej lub podłużnej. Jak się okazuje, nawet wewnętrzne jądro Ziemi nie jest ani proste, ani jednorodne.

Narzędzie, które jest potencjalnie w stanie zdobyć informacje o tym trzecim wymiarze, zwane jest tomografią sejsmiczną. Polega to na tym, że są pewne źródła fal sejsmicznych, czyli ogniska trzęsień ziemi, oraz czujniki na powierzchni i w pewnym sensie działa to na podobnej zasadzie jak tomografia medyczna. Obserwujemy anomalie czasów przebiegu fal sejsmicznych, to jest odchylenia tych czasów w stosunku do pewnego modelu odniesienia, który obrazuje jednowymiarową Ziemię, oczywiście z jej sferyczną symetrią. Jest to oczywiście tylko schemat; w rzeczywistości procedura jest bardzo skomplikowana i używa się różnych zestawów danych dla czasów przebiegu różnych faz sejsmicznych, innych dla fal które oddziałują z jądrem wewnętrznym, innych np. dla fal powierzchniowych, na które mają wpływ struktury stosun-

kowo płytkie, a jeszcze innych dla tzw. fal płaszczowych, które są falami powierzchniowymi o bardzo długich okresach i które dają nam najwięcej informacji o płaszczu. Obraz ten jest bardzo skomplikowany i świadczy o tym, iż różne fale są szczególnie czułe na struktury na różnych głębokościach. Na przykład, fale powierzchniowe o stosunkowo krótkich okresach są najbardziej czułe na strukturę w pobliżu powierzchni, a fale, które przebiegają przez jądro, są wrażliwe na strukturę w pobliżu granicy płaszcza i jądra. Tak więc w ogólności problem sprowadza się do odwrócenia macierzy, na którą składają się pomniejsze minory, odpowiadające danym niosącym szczególnie wiele informacji o poszczególnych strefach we wnętrzu Ziemi.

Można się przekonać, iż w ten sposób każdy obszar we wnętrzu Ziemi jest dobrze opisany danymi. Jest to bardzo ważne, gdyż aby dokładnie zrozumieć, co się dzieje wewnątrz Ziemi, musimy ją rozważać jako całość. Nie wdając się w równania, ogólnie rozwiązujemy problem metodą najmniejszych kwadratów. Naszą niewiadomą jest pewien wektor $\boldsymbol{X}$, a macierz jest fukcjonałem czasów przebiegu fal od hipocentrum po określonej drodze. Najczęściej $\boldsymbol{X}$ jest wektorem trójwymiarowym. W ogólności, ponieważ pokrycie Ziemi przez źródła i odbiorniki jest niepełne, niezbędne jest narzucenie pewnych warunków regularyzacji, np. aby norma była minimalna, albo aby uzyskany model był odpowiednio gładki, lub też aby kwadrat laplasjanu był minimalny. Warunki te narzucane są jako więzy dla poszczególnych fal. Uzyskane rozwiązanie jest rozwiązaniem problemu wysoce niedookreślonego, przez co można być dosyć niemile wprowadzonym w błąd.

Mogę w tym miejscu przytoczyć trzy przykłady modeli Ziemi, ukazujące jej przekrój wzdłuż 90. południka. Wszystkie te przykłady uzyskano z tego samego zestawu danych. Różnica jest dwojaka. Po pierwsze, w każdym z tych modeli zadano różne liczby szukanych niewiadomych, od 250 000 przez 25 000 do 2500. Okazuje się, że wynikają z tego głębokie różnice w modelach. W pierwszym można zauważyć duże różnice między półkulą północną a południową. W drugim jest podobnie – nadal prędkości na półkuli południowej różnią się od tych na północnej. Nadmieniam, że różnice te nie są zbyt duże, typowo wynoszą 0,5%. Z drugiej strony, ostatni model, odpowiadający najmniejszej liczbie parametrów, wykazuje, że półkule północna i południowa mają z grubsza podobne parametry, czego się właśnie w ogólności spodziewamy.

Można więc stwierdzić, że rzeczywiście, jeżeli będziemy poszukiwali zbyt wiele, to naprawdę otrzymamy mniej niż można, a tym samym uzyskujemy nieprawdziwe wyniki. Fakt ten jest bardzo ważny podczas przeprowadzania badań. Modelowanie jest swego rodzaju sztuką, gdyż istnieje wiele współczynników wagowych i współczynników tłumienia, wybieranych nieco dowolnie. Oczywiście istnieją pewne reguły dobierania tych współczynników, ale zwykle jest to uzależnione od charakterystyki błędów, której nie znamy. Tomografia sejsmiczna naprawdę zaczęła się w połowie lat 70., lecz przyspieszenia nabrała w latach 80. Przykładowo, weźmy mapę anomalii prędkości fal poprzecznych, opublikowaną w 1984 roku przez Johna Woodhouse'a (obecnie w Oxfordzie) i mnie. Fakt, iż w grzbietach oceanicznych prędkości były małe, podczas gdy pod tarczami kontynentalnymi były duże, był obiecujący, bowiem jest to zgodne z naszą wiedzą z innych źródeł i utwierdziło nas to w przekonaniu, iż nasza metoda jest dobra. Podjęliśmy próbę rozpracowania tzw. strefy przejścia, która okazała się bardzo duża i dawała silny sygnał, co związane jest być może z akumulacją materiału w strefach subdukcji. Możliwym stało się przedstawienie przekroju południkowego przez Amerykę Północną i z drugiej strony Azję. Widzimy na nim, iż wszędzie pod kontynentami materiał jest chłodny, podczas gdy pod grzbietami oceanicznymi jest ciepły, a fale sejsmiczne mają małe prędkości. Dla rejonu dolnego płaszcza pojawia się dodatkowy zaskakujący wynik, że Basen Pacyfiku otoczony jest pierścieniem dużych prędkości, podczas gdy sam Basen jest dosyć powolny; istnieje również duża, powolna struktura pod Afryką. Obraz ten odpowiada głębokości 2500 km, tylko 400 km ponad granicą jądra; w tym przypadku zróżnicowanie poziome opisywane jest przez rozwinięcie w 16 harmonicznych składowych sferycznych.

W tym momencie można mówić o czymś w rodzaju odcisków palców, pozostawianych przez płaszcz Ziemi. Można też przedstawić topografię granicy płaszcza i jądra. Granica ta przebiega w różnych miejscach 5 km płycej lub głębiej. Wspomniany pierścień dużych prędkości naokoło

Pacyfiku wywołany jest występowaniem tam materiału chłodniejszego. Chłodniejszy materiał jest cięższy, zapada się więc w głąb i naciska na granicę jądra, powodując jej wgłębienie na ok. 5 km. Z drugiej strony tam, gdzie materiał jest lżejszy, granica płaszcza i jądra jest wypiętrzona. Wyniki te mogą też być bardzo istotne przy modelowaniu dynamicznym dla fal poprzecznych, gdzie pewien kontrast gęstości odpowiada pewnemu kontrastowi prędkości. W ten sposób można też, przyjmując określony model lepkości, w zasadzie wyliczyć dynamiczne pogrążanie lub wypiętrzanie materiału. Wszystko więc dość dobrze do siebie pasuje, ale zauważyliśmy również, że istnieje pewna korelacja pomiędzy rejonami o szczególnie dużej prędkości a znanymi wydarzeniami tektonicznymi w przeszłości. Przykładowo, istnieje wielkoskalowa struktura, zwana Rowem Tetydy, tam, gdzie zamknięciu uległ Ocean Tetydy, istnieje także Rów Pangei, odpowiadający w zasadzie bardzo długiemu okresowi subdukcji wzdłuż wybrzeży obu Ameryk; jest to związane również z subdukcją wzdłuż zachodniego Pacyfiku oraz być może z innymi wydarzeniami. Niektóre struktury może być trudno zaliczyć do jednej grupy, z drugiej strony mamy także duże powolne struktury określane jako Grupa Pióropuszy[1] Równikowego Pacyfiku oraz Wielki Pióropusz Afrykański, który jest ogromną strukturą, sięgającą prawie po bieguny. W ciągu 10 czy 15 lat, od kiedy powstała tomografia, udało nam się znacznie zwiększyć liczbę stacji sejsmicznych, co umożliwia osiąganie większych rozdzielczości. Dobrym przykładem postępu w czasie 10 lat jest porównanie modeli z 1984 i 1994 roku. Choć przybyło dużo mniejszych struktur, wielkie struktury pozostają mniej więcej takie same. Powodem tego jest fakt, że widmo niejednorodności we wnętrzu Ziemi jest – można powiedzieć – bardzo czerwone, tzn. długookresowe. Jest to jedno z najbardziej zaskakujących spośród naszych odkryć. Wynik nasz jest zasadniczo inny od tego, do czego się przyzwyczailiśmy. Biorąc pod uwagę tylko niższe harmoniczne, wynosi on ok. −0,6% wartości prędkości na określonej powierzchni. Spoglądając na całą budowę Ziemi od strony jądra, można zobaczyć duże wypiętrzenie granicy płaszcza i jądra pod Pacyfikiem i drugie pod Wielkim Pióropuszem Afrykańskim. Jak się wydaje, są one w pewien sposób powiązane z układem grzbietów, które są tak istotne dla kształtowania powierzchni Ziemi. Nasuwa mi się analogia do wczorajszego wykładu, podczas którego przedstawiono ilustracje rejonów matecznikow gwiazd; tutaj można powiedzieć, że te dwa wielkie wypiętrzenia są jak gdyby matecznikami grzbietów oceanicznych i punktów gorąca.

Inne trójwymiarowe przedstawienie, uwzględniające pierwsze cztery harmoniczne, uwidacznia ogromny pierścień dużych prędkości dookoła Pacyfiku; widoczne są również obydwa krańce Wielkiego Pióropusza Afrykańskiego, którego główna część znajduje się w tym ujęciu w cieniu jądra. Obraz ten jest bardzo znamienny; rozległe obszary są zbudowane z materiału chłodnego; dotyczy to tak dna oceanicznego, jak obszarów kontynentalnych, i zarówno górnego, jak i dolnego płaszcza. Natomiast pod Pacyfikiem prędkości są bardzo małe. Wydaje się, iż wielkoskalowy proces rządzący wnętrzem Ziemi jest dosyć dobrze zorganizowany, co stanowi chyba największą niespodziankę wśród otrzymanych z tomografii wyników, i że jest on nadal stosunkowo słabo wyjaśniony.

Jest wszakże istotna kwestia, składająca się na wspomnianą na początku niezupełną rewolucję: czy cyrkulacja materiału w dużej skali dotyczy całego płaszcza, czy też jest podzielona na warstwy, względnie czy jest czymś pośrednim. Istnieje wyraźna granica pomiędzy górnym a dolnym płaszczem, jednakże w jakiś sposób materiał może się przez nią przedostać. Ważną strukturą staje się w tym momencie strefa przejścia, w której, jak można się przekonać, parametry sejsmiczne zmieniają się bardzo szybko. Dyskusyjnym jest natomiast, czy stanowi to dowód na istnienie nieciągłości na głębokości 670 km, gdyż występuje tam ogromna niejednorodność pozioma. Obraz tej niejednorodności jest bardzo skomplikowany, a jego widmo mocy uwidacznia 18 sferycznych harmonicznych. Przede wszystkim jednak okazuje się, że widmo niejednorodności poziomej jest bardzo długookresowe. Można przekonać się, że większość mocy niesiona jest przez harmoniczne najniższych stopni. Model nie uwidacznia tego najlepiej, gdyż z konieczności przyjęta jest skala logarytmiczna, różnice zaś mogą

[1] Pióropusz – specjalna forma konwekcji we wnętrzu Ziemi, odznaczająca się szybkim, wąskim przepływem materiału pionowo do góry.

być 300-krotne. Jeśli ograniczymy się do rozważania obszaru wokół strefy przejścia, to okazuje się, że zachodzi nagła zmiana w charakterze widma na wspomnianej nieciągłości, nawet jeśli przedstawiać ją za pomocą funkcji gładkich. Inną kwestią jest duży wzrost mocy w pobliżu granicy płaszcza i jądra, gdzie niejednorodności, tak ogólna jak pozioma, są duże. Moc ta w środkowym płaszczu jest bardzo mała i zdominowana przez swoje harmoniczne stopni 2. i 3.

Powyższe warunki są dobrze postawionymi więzami dla prób modelowania konwekcji za pomocą równań przepływu wewnątrz Ziemi przy użyciu wielu innych parametrów, o których niekiedy niewiele wiemy, np. o ich zależności od głębokości. Modelowanie takie wykonane było ok. 6 lat temu. Szczególnie interesujące są wyniki dla rejonów chłodnych, gdzie w dodatku do wielu innych cech wyznaczono endotermiczną transformację fazową na głębokości 670 km, gdzie niezbędna jest dodatkowa energia, aby materiał mógł przekroczyć granicę. Rzeczywisty mechanizm tego procesu polega na gromadzeniu się materiału w strefie przejścia w rejonie od 400 do 670 km głębokości. Kiedy zgromadzi się tam dostatecznie duża masa, pogrąża się ona w płaszczu. Konsekwencją tego jest rozpychanie materiału na boki na granicy jądra. To z kolei rozpoczyna proces odwrotny; w rzeczywistości właśnie to pogrążanie mas w płaszczu powoduje wypychanie do góry materiału gorącego.

Istnieje także inny sposób modelowania, nie uwzględniający transformacji fazowych, za to np. zezwalający na duże zmiany lepkości, jednakże wyniki są skomplikowane i mało nadają się do przedstawienia w postaci rysunku. W naszym przypadku przyjmujemy, że lepkość we wnętrzu Ziemi jest jednorodna. Struktury są stosunkowo małych rozmiarów, a ich szczegóły na powierzchni dobrze zgadzają się z obserwowanymi strefami subdukcji. Jeśli zezwolimy na 30-krotną zmianę lepkości na granicy 670 km, to wszystkie zasady konwekcji zostają przebudowane, m.in. dwa duże wypiętrzenia, odpowiadające środkowi Pacyfiku oraz Pióropuszowi Afrykańskiemu, przestają istnieć, podobnie też wiele z dużych zagłębień wyznaczonych w naszym modelu. Jednocześnie nie zachodzi jakaś poważna zmiana w cechach materiału na granicy 670 km. Z tego powodu wydaje mi się, że model przewidujący wypiętrzania i pogrążania wraz z transformacją fazową jest bardziej przekonywujący. W modelu Pierce'a, operującym zmianami lepkości, geodynamika jest niejasna i wydaje się, że występują poważne problemy ze zgodnością tego modelu z obserwacjami.

Pozostawiając na boku sprawy modelowania zauważmy, że głównym minerałem w górnym płaszczu jest oliwin. Już XIX-wieczne podręczniki przedstawiały wygląd kryształu oliwinu i okazuje się, że w krysztale tym jest 25-procentowa różnica w prędkościach fal wzdłuż najszybszej i najwolniejszej osi. Podczas przepływu różne minerały przyjmują różne orientacje przestrzenne. W górnym płaszczu dzieje się tak, że fale poprzeczne większość drogi odbywają bardziej poziomo niż pionowo. Oliwin tymczasem orientuje się tam przestrzennie w taki sposób, że kierunek ten jest zgodny z kierunkiem jego najszybszej osi, podczas gdy większość innych minerałów w górnym płaszczu jest zorientowana tak, że ten kierunek odpowiada ich osi pośredniej prędkości. W rzeczywistości z innych badań wiemy, że oliwin jest dominującym składnikiem górnego płaszcza, co potwierdza jedynie fakt asymetrycznych zmian prędkości fal Rayleigha. Badania wykazują, że w wypadku grzbietów oceanicznych kierunek największej prędkości jest prostopadły do osi grzbietu. Fakt ten jest zgodny z oczekiwaniami oraz stanowi dobre potwierdzenie słuszności modelu.

Jeśli chodzi o wspomnianą anizotropię kierunkową, w wypadku Hawajów istnieje interesująca zmiana ok. 100 milionów lat temu. Wydaje się, iż anizotropia ta ma tendencję do zanikania z upływem czasu. Oczywiście, w równaniu występuje wiele parametrów i nie wszystkie możemy odpowiednio wyznaczyć, jednak anizotropia kierunkowa jest mierzalna. Istnieje także anizotropia radialna, gdzie (zakładając heksagonalną symetrię materiału) występuje symetria osiowa, oś w tym przypadku jest pionowa. Nie jest to wszystko do końca wytłumaczone, jednakże jeśli zbudujemy model uwzględniający anizotropię radialną, to okazuje się, że zależności izotropowe są takie, jak się tego spodziewamy na podstawie termicznej historii płyty tektonicznej, która stygnie w miarę oddalania się od grzbietu, czemu towarzyszy wzrost prędkości fal, co zaobserwowano dla okresu 150 milionów lat. Z drugiej strony, istnieją znaczące zależności anizotropowe, odzwierciedla-

jące względne różnice pomiędzy prędkościami fal poprzecznych rozchodzących się w kierunku pionowym a tymi rozchodzącymi się w kierunku poziomym. Różnica ta jest dosyć duża, szczególnie dotyczy to rejonu Hawajów. Wydaje się, że jest to związane z tektoniką płyt, w szczególności z wiekiem danej płyty.

Uważam więc, że istnieją dosyć istotne czynniki wewnątrz Ziemi, których nie można opisać za pomocą prostego modelu. Szczególnie obiecująca wydaje mi się praca Songa i Richardsa, w której autorzy odkryli – czy raczej twierdzą, że odkryli – odmienną prędkość obrotu jądra wewnętrznego w stosunku do płaszcza. Przewidzieli oni, że wspomniany obrót, nazywany niekiedy superrotacją, może powodować obracanie się jądra wewnętrznego rocznie o 1° szybciej w stosunku do płaszcza. Otrzymano różne wyniki, jeśli chodzi o wartość tego szybszego obrotu jądra. Ostatnio pojawiły się wyraźne dowody na to, iż ta różnica obrotów miałaby nie zachodzić. Uwzględniając to, powstaje pewien problem dotyczący funkcjonowania geodynama. Biorąc pod uwagę jego modele, musimy rozróżnić pomiędzy dwoma bardzo odmiennymi ich typami. W pierwszym z nich geodynamo jest najsilniejsze w pobliżu granicy płaszcza i jądra, w drugim zaś na granicy jądra wewnętrznego i zewnętrznego. Na zewnątrz obydwa typy modeli wytwarzają dosyć podobne pole magnetyczne, a właśnie tam jest ono obserwowane. Z uwagi na elektromechaniczne sprzężenie na granicy płaszcza i jądra, na podstawie obserwacji sejsmicznych niektórzy badacze przepowiadają, że jądro wewnętrzne powinno obracać się szybciej o nawet 3 stopnie na rok. Inni z kolei budują modele nie przewidujące superrotacji, względnie nawet przewidujące powolny w czasie obrót w kierunku zachodnim, a nie wschodnim.

Wyniki te wydają się bardzo interesujące i w ciagu szeregu lat wywołały wiele prac badawczych. Aby uzmysłowić, jak bardzo skomplikowana jest Ziemia, przytoczę że Song i Richards mogli otrzymać swoje wyniki dzięki temu, iż wewnątrz jądra wewnętrznego istnieje marker nie wykazujący symetrii obrotowej. Wewnętrzne jądro Ziemi jest anizotropowe na szczególny sposób – jego oś symetrii jest o kilka stopni odchylona od osi obrotu Ziemi. To zaburzenie symetrii jest obserwowalne i wraz z obrotem jądra wewnętrznego czasy przebiegu fal sejsmicznych czy też odchylenia tych czasów zmieniają się. Na podstawie takiego prostego modelu, uwzględniającego wspomniane dwa rodzaje osi, Song i Richards otrzymali wynik ok. 1 stopnia rocznie. Okazuje się jednak, że fale sejsmiczne, na podstawie których przeprowadzili swe badania, przebiegały po dosyć nietypowych promieniach sejsmicznych. Wszystkie te promienie osiągały swój najgłębszy punkt w jednym rejonie jądra wewnętrznego. Wygląda na to, iż jest to jedyne takie miejsce w Ziemi, które jest wyjątkowo anomalne, przy czym powody tej anomalii pozostają nieznane. Nie wiemy nawet, czy anomalia ta polega na anizotropii, czy niejednorodności, zwłaszcza że promienie sejsmiczne przebiegają ten obszar tylko w jednym kierunku. Nie dysponujemy zapisami fal przebiegających przez ten obszar w kierunku prostopadłym, ani nawet pod kątem 30° w stosunku do uzyskanych danych, co mogłoby wyjaśnić tę kwestię. Model więc zbudowany został na podstawie wyników, z których część już później odrzucono lub zmodyfikowano, i możliwe jest, że odmienny obrót jądra wewnętrznego nie występuje. Uważamy jednak nadal, że jądro wewnętrzne Ziemi jest anizotropowe, a w szczególności, że tworzy jeden monokryształ. Problemem jest, że musimy przejść przez wszystko inne we wnętrzu Ziemi, aby dostać się do jądra wewnętrznego, co z powodu niejednorodności bywa trudne. Istnieje też zawsze możliwość, że nie zauważymy czegoś w płaszczu, a efekt tego czegoś przeniesiemy na model jądra wewnętrznego.

Istniejące rozbieżności czy niedoskonałości mogą być w dużej mierze wynikiem dostępności danych, gdyż to dane zapewniają rozdzielczość. Jeśli spojrzeć na mapę stacji sejsmicznych, które zainstalowano w ostatnich latach, okazuje się, że większość z nich znajduje się na półkuli północnej. Na półkuli południowej istnieje sporo luk, w większości na obszarach oceanów. Niektórzy badacze uważali, że nie można zbyt dobrze poznać Ziemi bez umieszczenia pewnej liczby stacji sejsmicznych na dnie oceanów. Około 10 lat temu odbyło się spotkanie robocze poświęcone umieszczeniu szerokopasmowych stacji sejsmicznych w otworach wywierconych w dnie oceanu; pojawiła się wtedy sugestia, aby w każdym kwadracie 2000 km × 2000 km umieścić jedną taką stację. Zakończyło się głównie na planach; od tego czasu powstały bodajże zaledwie dwie takie sta-

cje, lecz dopiero rok temu udało się wykazać, iż dane z takiej stacji mogą wyróżniać się bardzo wysoką jakością. Zapis stosunkowo dużego trzęsienia ziemi z Fidżi, zarejestrowany w jednej z takich otworowych stacji na głębokości 4,5 km pod powierzchnią oceanu, jest porównywalny z zapisem ze stacji położonej na lądzie. Szczególnie dobrze wypada porównanie poziomu szumu. Tak więc dno oceaniczne jest dobrym miejscem na stacje sejsmiczne. Obecnie w Stanach Zjednoczonych czynione są pewne kroki w tym kierunku, jednakże uważa się też, że powinno to być projektem światowym i że Europa, której potencjał gospodarczy jest porównywalny z amerykańskim, powinna się do tego przyłączyć.

Przez całe lata toczą się różne procesy, od tych wielkich, o których dotychczas wspominałem, do małych. Gdzieś po drodze występuje skala wielkości ok. 100 km, w której zaplanowano eksperyment US Array. Eksperyment ten ma trzy części, z czego jedna dotyczy rozmieszczenia ok. 100 wysokiej jakości szerokopasmowych stacji sejsmicznych na terenie USA, co stanowi z grubsza liczbę wszystkich stałych stacji szerokopasmowych, jakie dotychczas zainstalowano na świecie. Drugą część eksperymentu stanowi przenośna sieć sejsmiczna, niekiedy zwana Big Foot, składająca się z czterystu równo rozmieszczonych elementów, pokrywających w przybliżeniu kwadrat o wymiarach 1400 km × 1400 km. Instrumenty rejestrowałyby trzęsienia czy wybuchy przez dwa lata w tym samym miejscu, po czym byłyby przeniesione do nowej lokalizacji. W ciągu 10 lat cała powierzchnia kontynentalnych Stanów Zjednoczonych byłaby pokryta z rozdzielczością 60–70 km. Trzecią częścią programu jest bank przenośnych instrumentów dla eksperymentów doraźnych, które byłyby specjalnie zaprojektowane, aby otrzymać lepszą rozdzielczość dla wybranych struktur geologicznych. Finansowanie US Array jest obecnie rozważane przez Kongres. Celem programu jest otrzymanie szczegółowego obrazu litosfery i górnego płaszcza pod obszarem USA. Można także użyć tego zestawu przyrządów jako swego rodzaju peryskopu do zbierania danych o anomaliach głęboko we wnętrzu Ziemi, np. przy granicy płaszcza i jądra, i to z wysoką rozdzielczością. Ktoś chyba słusznie określił ten eksperyment mianem syntetycznej sejsmologii szerokokątnej, w analogii do syntetycznego radaru szerokokątnego, w którym łączy się obrazy uzyskane przez poszczególne przyrządy, niekiedy korzystając z układu 2000 instrumentów. Podobne eksperymenty okazywały się bardzo owocne i niektóre, jeszcze niedawno proponowane, już znalazły zastosowanie.

Na tym chciałbym zakończyć moją opowieść o problemach, które uważam za interesujące, zwłaszcza że dotyczą one dokonań jedynie ostatnich 15 lat. Postęp jest bardzo szybki, są nadal pewne trudności, są rzeczy, które czekają na ludzi, którzy by się nimi zajęli, niekiedy zaś różni naukowcy pracują nad tymi samymi problemami równolegle. Myślę, że z czasem dopracujemy się prawidłowych modeli i będzie można powiedzieć, że rewolucja w naukach o Ziemi dokonała się.

Dyskusja

[Pytanie: Czy do badań można używać sygnałów od sztucznych źródeł sejsmicznych, tzn. strzelań?]

W badaniach głębokiego wnętrza Ziemi musimy polegać na naturalnych trzęsieniach. W skali lokalnej poznania budowy skorupy ziemskiej i górnego płaszcza można stosować sztuczne źródła, lecz nie można tego zastosować w wypadku, gdy fale mają przebiec przez środek Ziemi.

[Pytanie o teorię rozszerzającej się Ziemi.]

Jestem przeciwko temu. Bilans powierzchni Ziemi jest dobrze utrzymywany przez ostatnie 100 milionów lat bez wprowadzenia tej komplikacji. Bywa niekiedy tak, że ktoś wysuwa hipotezę, której nie można odrzucić, bo nie ma dowodów, że jest ona fałszywa.

[Pytanie: Czy anomalie prędkości nie wiążą się bardziej z różnicą gęstości niż z różnicą temperatury?]

I tak, i nie. Obecnie wygląda, iż większość anomalii ujemnych spowodowanych jest przez różnice w temperaturze. Z drugiej strony są też wyjątki. Wiadomo, że w dolnym płaszczu istnieją miejsca bogatsze w żelazo, co mogłoby tłumaczyć pewne różnice obserwowane w pobliżu granicy jądra.

[Pytanie o zmiany polaryzacji biegunów magnetycznych.]

Stosunkowo niedawno wykryto, że jądro wewnętrzne jest dobrym przewodnikiem. Jako takie stabilizuje pole magnetyczne wytworzone przez konwekcję w zewnętrznym, płynnym jądrze. Omawiane przeze mnie modele geodynama są w stanie odtwarzać zmiany kierunku pola. Jeśli kierunek ten się zmienia, jest okres, w którym bieguny magnetyczne przyjmują położenia pośrednie, i jeśli gdzieś jest bardzo szybkie tempo narastania osadów, to można nawet śledzić drogę wędrówki bieguna. Ciekawa jest teoria, że bieguny podczas tej wędrówki wybierają drogę odpowiadającą niskim temperaturom lub dużym prędkościom

fal sejsmicznych. Trudno jest jednak spekulować, bowiem dane pochodzące z tomografii sejsmicznej są jak gdyby tylko fotografią z chwili obecnej i nie mamy bezpośrednich danych o tym, jak się to zmieniało w czasie.

[Pytanie o zastosowania praktyczne.]

Jest to głównie nauka podstawowa, która pozwala nam lepiej zrozumieć dynamikę wnętrza Ziemi. Interesującym jest także połączenie jej z polem magnetycznym i przez to zrozumienie zmian w tym polu.

Z zapisu wideo spisał i przetłumaczył
Paweł Wiejacz
Instytut Geofizyki PAN
Warszawa

Femtosekundowe impulsy światła w badaniach przyrody

Czesław Radzewicz

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Warszawski

1. Wstęp

W wykładzie tym przedstawię aktualny stan wiedzy oraz zarysuję perspektywy na najbliższe lata w dziedzinie, której wspólnym mianownikiem jest wykorzystanie femtosekundowych impulsów promieniowania laserowego. Niestety, ograniczony czas wykładu nie pozwala na dokonanie pełnego przeglądu – ograniczę się zatem do zilustrowania najważniejszych tendencji za pomocą wybranych przykładów. Wybór taki jest w pewnej mierze podyktowany moimi upodobaniami i dlatego mój wykład nie może pretendować do miana w pełni obiektywnego przeglądu osiągnięć w omawianej dziedzinie. Optyczne techniki i technologie femtosekundowe zostały wynalezione i rozwinięte przez fizyków niejako „przy okazji" badań nad laserami. Nie powinno zatem budzić zdziwienia, że również pierwsze zastosowania tych technik miały miejsce w fizyce. Ultrakrótkie impulsy laserowe służą tam z jednej strony do badań dynamiki np. różnych procesów w cząsteczkach lub wewnątrzpasmowej relaksacji nośników w ciele stałym, z drugiej zaś po wzmocnieniu mogą być użyte do jonizacji tarcz różnego rodzaju, generacji spójnego promieniowania X czy też zapłonu kontrolowanej syntezy termojądrowej. Wszakże szybko okazało się, że narzędzie wymyślone przez fizyków jest niezwykle użyteczne także w innych dziedzinach nauki i techniki, np. elementarne procesy o fundamentalnym znaczeniu w chemii czy biologii zachodzą w czasach rzędu kilkudziesięciu czy kilkuset femtosekund i ich dynamika może być z powodzeniem badana za pomocą optycznych technik femtosekundowych. W tej chwili zdecydowana większość femtosekundowych układów laserowych instalowana jest w instytucjach badawczych, które niekoniecznie mają wiele wspólnego z fizyką.

Wykład rozpocznę się od krótkiego wprowadzenia do technik wytwarzania i charakteryzacji femtosekundowych impulsów laserowych. Szczególnie w dziedzinie charakteryzacji impulsów postęp w ostatnich latach jest olbrzymi i wymaga krótkiego przynajmniej podsumowania. Następnie przedstawię trzy przykłady zastosowań technik femtosekundowych do badań odpowiednio w fizyce, chemii i biologii. Ze względu na ograniczony czas wykładu niemożliwa jest choćby pobieżna prezentacja innych dziedzin; dlatego np. nie będę mówił o wykorzystaniu ultrakrótkich impulsów laserowych w telekomunikacji optycznej czy też diagnostyce medycznej.

2. Wytwarzanie i diagnostyka femtosekundowych impulsów światła

W ostatnich kilku latach postęp w dziedzinie generacji ultrakrótkich impulsów promieniowania elektromagnetycznego zmierza w dwóch kierunkach. Celem jest, z jednej strony, uzyskanie coraz krótszych impulsów laserowych, z drugiej zaś opanowanie nowych technik wytwarzania ultrakrótkich impulsów w obszarze nadfioletu, podczerwieni i mikrofal. Techniki generacji ultrakrótkich impulsów światła oparte na synchronizacji modów w laserze, generacji wyższych harmonicznych i procesach parametrycznych zostały szczegółowo omówione w artykule przeglądowym w *Postępach Fizyki* [1], do którego odsyłam zainteresowanych Czytelników. Warto tylko dodać, że w minionym roku padł kolejny rekord – wprost z lasera szafirowego uzyskano impulsy o czasie trwania krótszym niż 5 fs [2] (1 fs = 10^{-15} s).

Niezwykle szybki postęp obserwujemy w dziedzinie diagnostyki (charakteryzacji) ultrakrótkich impulsów laserowych. O ile w przeszłości na ogół

wystarczyło wiedzieć, że wytwarzany impuls jest odpowiednio krótki, to współczesne, bardziej wyrafinowane zastosowania wymagają często pełnej charakteryzacji impulsu. W prostszych zastosowaniach femtosekundowych impulsów laserowych ważne jest tylko, by czas trwania impulsu był odpowiednio mały – chcemy mieć bardzo szybką lampę błyskową. Wtedy w zupełności wystarcza standardowa diagnostyka, tzn. pomiar funkcji autokorelacji natężeniowej $A_c(\tau)$ zdefiniowanej przez wyrażenie całkowe:

$$A_c(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)I(t+\tau)\mathrm{d}t, \qquad (1)$$

gdzie $I(t)$ oznacza zależne od czasu natężenie światła w impulsie. Zmierzywszy funkcję autokorelacji natężeniowej, możemy oszacować czas trwania impulsu, który jest rzędu szerokości połówkowej funkcji A_c. Główną wadą tej metody jest to, że aby wyznaczyć czas trwania impulsu (szerokość połówkową $I(t)$), musimy założyć konkretną postać funkcji $I(t)$. Najważniejsza zaleta zaś to bardzo prosta realizacja doświadczalna pomiaru $A_c(\tau)$.

Jednakże w wielu innych zastosowaniach ważna jest struktura impulsu. Jeśli pominiemy efekty kwantowe, to pełna informacja o impulsie światła zawarta jest w funkcji opisującej pole elektryczne fali $E(t)$:

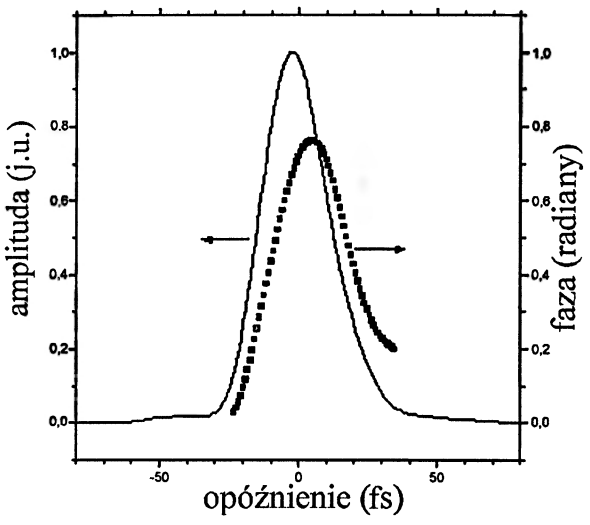
$$E(t) = A(t)\cos(\omega_0 t + \varphi(t)), \qquad (2)$$

gdzie $A(t)$ jest obwiednią impulsu, ω_0 oznacza centralną częstość drgań fali, a $\varphi(t)$ zależną od czasu fazę. Żeby zatem w pełni scharakteryzować impuls, musimy wyznaczyć dwie funkcje: zależną od czasu amplitudę i fazę impulsu. Wykonując transformatę Fouriera funkcji $E(t)$ możemy przejść do dziedziny częstości, w której impuls laserowy opisany jest przez amplitudę spektralną $E(\omega)$ oraz fazę spektralną $\varphi(\omega)$. Oba opisy: w dziedzinie czasowej i w dziedzinie częstości, są w pełni równoważne i zawierają pełną informację o impulsie. Dopiero w latach 90. opracowane zostały dwie metody pozwalające na pełną charakteryzację impulsów: FROG (akronim angielskiego wyrażenia: Frequency Resolved Optical Gating) [3] oraz SPIDER (akronim angielskiego wyrażenia: Spectral Phase Interferometry for Direct Electric-field Reconstruction) [4].

W najprostszej wersji metody FROG, nazywanej „second-harmonic FROG", w doświadczeniu rejestrowany jest tzw. spektrogram $S(\omega,\tau)$, czyli widmo drugiej harmonicznej wytwarzanej z dwóch identycznych replik mierzonego impulsu, opóźnionych względem siebie o τ:

$$S(\omega,\tau) = \left|\int_{-\infty}^{+\infty} E(t)E^*(t+\tau)\mathrm{e}^{-\mathrm{i}\omega t}\mathrm{d}t\right|^2, \qquad (3)$$

gdzie dla wygody zapisu pole elektryczne fali mierzonego impulsu $E(t)$ przedstawiono w postaci zespolonej. Dane doświadczalne poddawane są obróbce numerycznej, w której metodą iteracyjną odtwarzamy $E(t)$, czyli $A(t)$ i $\varphi(t)$. Nie można a priori założyć, że procedura iteracyjna daje poprawne rozwiązania, jednakże kilka lat stosowania tej metody do charakteryzacji femtosekundowych impulsów laserowych zdaje się wskazywać, że metoda działa dobrze nawet wtedy, gdy $A(t)$ i $\varphi(t)$ mają bardzo złożone kształty. Typowy wynik stosowania metody FROG ilustruje rys. 1, na którym pokazano amplitudę i fazę impulsu z femtosekundowego lasera szafirowego wyznaczone w Zakładzie Optyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego. Nie będzie przesadą stwierdzenie, że FROG jest w tej chwili najlepiej ugruntowaną i najszerzej stosowaną metodą charakteryzacji femtosekundowych impulsów laserowych.



Rys. 1. Amplituda i faza femtosekundowego impulsu z lasera szafirowego. Szerokość połówkowa impulsu (mierzona dla natężenia) wynosi ok. 20 fs. Duża zmiana fazy w czasie trwania impulsu oznacza, że nie jest on fourierowsko ograniczony – szerokość widma jest większa niż minimalna szerokość potrzebna do wytworzenia impulsu o takim czasie trwania.

W odróżnieniu od metody FROG, metoda SPIDER jest bardzo nowa i nie była szeroko testowana. Doświadczalnie SPIDER polega na rejestracji tzw. interferogramu, czyli widma pochodzącego od dwóch replik mierzonego impulsu, z których jedna jest opóźniona w czasie o τ i przesunięta w częstości o $\delta\omega$. Interferogram opisany jest wyrażeniem

$$S(\omega) = |E(\omega)|^2 + |E(\omega+\delta\omega)|^2 + \\ + 2|E(\omega)E(\omega+\delta\omega)| \times \\ \times \cos[\varphi(\omega+\delta\omega) - \varphi(\omega) + \omega\tau], \quad (4)$$

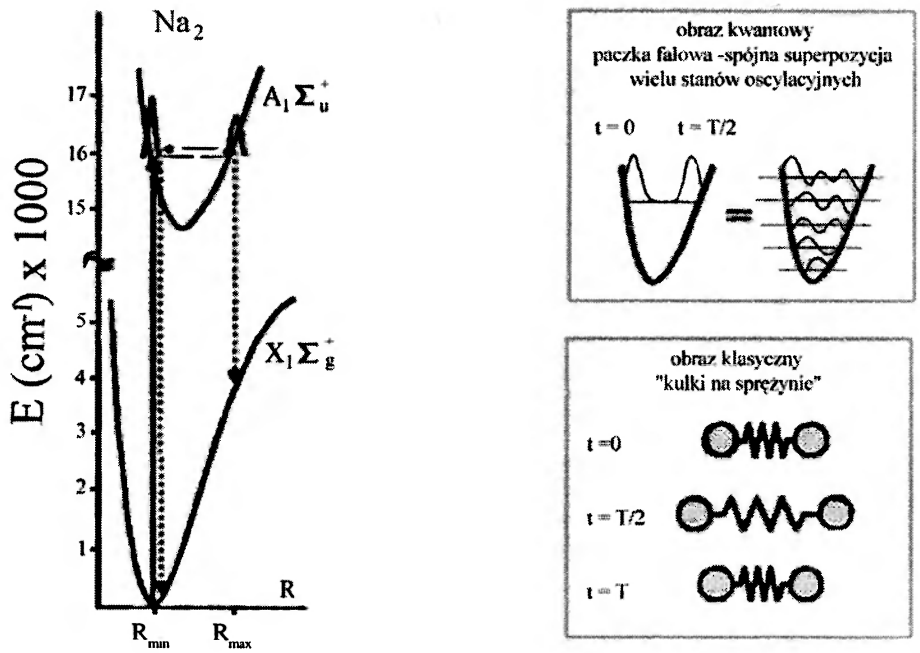
w którym $E(\omega)$ i $\varphi(\omega)$ oznaczają odpowiednio amplitudę i fazę spektralną impulsu. Dysponując zarejestrowanym w doświadczeniu interferogramem, możemy wyznaczyć $E(\omega)$ oraz $\varphi(\omega)$ dla szeregu częstości w widmie impulsu odległych od siebie o $\delta\omega$. Olbrzymią zaletą metody SPIDER jest to, że amplituda i faza spektralna są wyznaczane bezpośrednio z danych doświadczalnych, bez potrzeby odwoływania się do jakichkolwiek procedur iteracyjnych; dzięki temu unikamy potencjalnych niejednoznaczności związanych z takimi procedurami.

3. Zastosowania

3.1. Fizyka

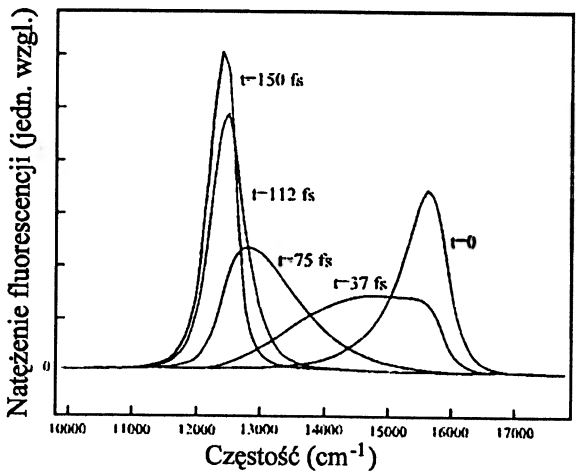
Mechanika kwantowa, opisująca świat w mikroskali, jest prawdopodobnie najlepiej sprawdzoną teorią fizyczną. Jest także, co potwierdzają nie tylko laicy, ale także sami fizycy, teorią zupełnie niezgodną z intuicją, jaką wynosimy z życia codziennego. Dlatego też zawsze duże zainteresowanie budziły doświadczenia, w których można było zmusić obiekty kwantowe do zachowań kwaziklasycznych. Zilustrujmy to zagadnienie na przykładzie dwuatomowej cząsteczki sodu. Załóżmy, że początkowo cząsteczka znajduje na najniższym poziomie oscylacyjnym stanu podstawowego $X_1\Sigma_g^+$ (rys. 2). Ruch jąder atomowych jest wtedy opisany funkcją falową tego poziomu, a kwadrat tej funkcji daje prawdopodobieństwo znalezienia jąder w danej odległości od siebie. Układ jest kwantowy, a zatem skazani jesteśmy na niepewność – nigdy nie wiemy, jaka jest odległość pomiędzy jądrami, a tylko jaki jest rozkład prawdopodobieństwa tej odległości. Wyobraźmy sobie, że potrafimy bardzo szybko (nieskończenie szybko?) wzbudzić cząsteczkę do stanu $A_1\Sigma_u^+$. Jeśli samo wzbudzenie trwa stosownie krótko, to rozsądnym będzie założyć, że w jego trakcie odległość między jądrami nie zmieni się. Zatem w chwilę po wzbudzeniu nasza niepewność co do odległości między jądrami jest taka sama jak w stanie podstawowym, czyli znacznie mniejsza niż dostępny w stanie $A_1\Sigma_u^+$ zakres odległości międzyjądrowej R. W języku mechaniki kwantowej mówimy wtedy o wzbudzeniu spójnej superpozycji wielu poziomów oscylacyjnych w stanie $A_1\Sigma_u^+$. Taką superpozycję nazywamy paczką falową. W chwilę po wzbudzeniu sytuacja jest zdecydowanie niestacjonarna – jądra atomowe są bliżej siebie niż średnia odległość międzyjądrowa dla tego stanu. Wzbudzona przez nas paczka falowa zacznie zatem „staczać się" po krzywej potencjału, co odpowiada zwiększaniu odległości pomiędzy jądrami. Jednakże kiedy paczka falowa osiągnie już położenie odpowiadające minimum energii potencjalnej, jądra zdążą się rozpędzić na tyle, że „z rozpędu" paczka falowa wespnie się na prawą część krzywej, po czy znowu zacznie staczać się w dół itd. – będziemy obserwowali oscylacje paczki falowej. Mamy tu zatem do czynienia z takim stanem kwantowym cząsteczki, dla którego ruch jąder bardzo przypomina klasyczny ruch dwóch mas połączonych sprężyną. Jeśli dysponujemy impulsami femtosekundowymi o stosownej długości fali, to wzbudzenie opisanego wyżej kwaziklasycznego ruchu jąder w cząsteczce sodu nie jest żadnym problemem. Musimy jedynie oświetlić takim impulsem komórkę zawierającą cząsteczki sodu. Chcielibyśmy jednak przekonać się również, czy nasza hipoteza o „dwóch kulkach na sprężynie" jest słuszna.

Można to zrobić w następujący sposób. Zastanówmy się, jak będzie wyglądała fluorescencja dużej liczby cząsteczek wzbudzonych femtosekundowym impulsem laserowym. W chwilę po wzbudzeniu odległość pomiędzy jądrami we wszystkich wzbudzonych cząsteczkach będzie w przybliżeniu równa $R_{\min}$. Emitowane przez te cząsteczki fotony będą zatem miały energię taka samą jak fotony impulsu laserowego. Po połowie klasycznego okresu drgań jąder odległość pomiędzy jądrami będzie w przybliżeniu równa $R_{\max}$ i cząsteczki będą emitowały fotony o mniejszej energii – większej długości fali. Dokładne rachunki [5], wykonane dla tego zagadnienia, dają wynik poka-



Rys. 2. Ilustracja paczek falowych w ruchu oscylacyjnym jąder cząsteczki Na_2.

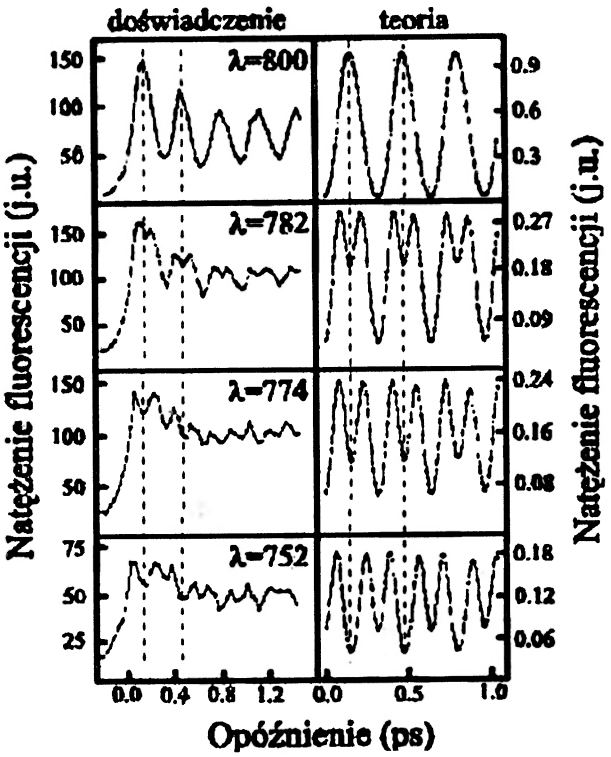
zany na rys. 3. Rzeczywiście widmo fluorescencji dwuatomowej cząsteczki sodu wzbudzonej femtosekundowym impulsem laserowym zależy od tego, w jakim momencie czasu je obserwujemy, i zmienia się cyklicznie wraz z oscylacjami odległości pomiędzy jądrami. Aby taki efekt zaobserwować, po-



Rys. 3. Obliczona fluorescencja cząsteczek Na_2 wzbudzonych impulsem laserowym (długość fali 630 nm, impuls 50 fs), mierzona w różnych czasach po wzbudzeniu. W obliczeniach przyjęto, że bramka czasowa ma również długość 50 fs.

trzebny jest jakiś sposób rejestracji widma świecenia naszej próbki dla różnych czasów po wzbudzeniu. Problem jedynie w tym, że okres drgań jąder w cząsteczce sodu wynosi 300 fs i mamy mało czasu na zmierzenie widma, jeśli nie chcemy uśrednić go po okresie drgań. Można to zrobić w ten sposób, że fluorescencję najpierw przepuszczamy przez bramkę czasową – bardzo szybką migawkę, otwieraną stosownie opóźnionym femtosekundowym impulsem laserowym, a dopiero później mierzymy jej widmo. Z powodów praktycznych znacznie łatwiej jest rejestrować nie widmo fluorescencji dla danego czasu, ale natężenie fluorescencji dla danej długości fali w funkcji opóźnienia pomiędzy impulsem wzbudzającym próbkę a impulsem otwierającym migawkę. Wyniki takich pomiarów [6] pokazane są na rys. 4. Na tym samym rysunku pokazane są także wyniki kwantowych obliczeń dla cząsteczki sodu. Jakkolwiek można mieć zastrzeżenia co do szczegółów, to generalnie zgodność wyników doświadczalnych z oczekiwaniami jest dobra. I tak np. dla długości fali $\lambda = 800$ nm, odpowiadającej odległości pomiędzy jądrami równej R_{max}, w doświadczeniu obserwujemy modulację natężenia z okresem odpowiadającym klasycznemu okresowi drgań jąder w cząsteczce, a pierwsze maksimum pojawia się, zgodnie z oczekiwaniami, po ok. 150 fs. Jeśli natomiast wybierzemy długość fali odpowiadającą odległości międzyjądrowej z obszaru pomiędzy R_{min} i R_{max}, to w jednym okresie drgań zauważamy dwa maksima fluorescencji – jądra dwu-

krotnie znajdują w tej odległości w czasie jednego okresu drgań.

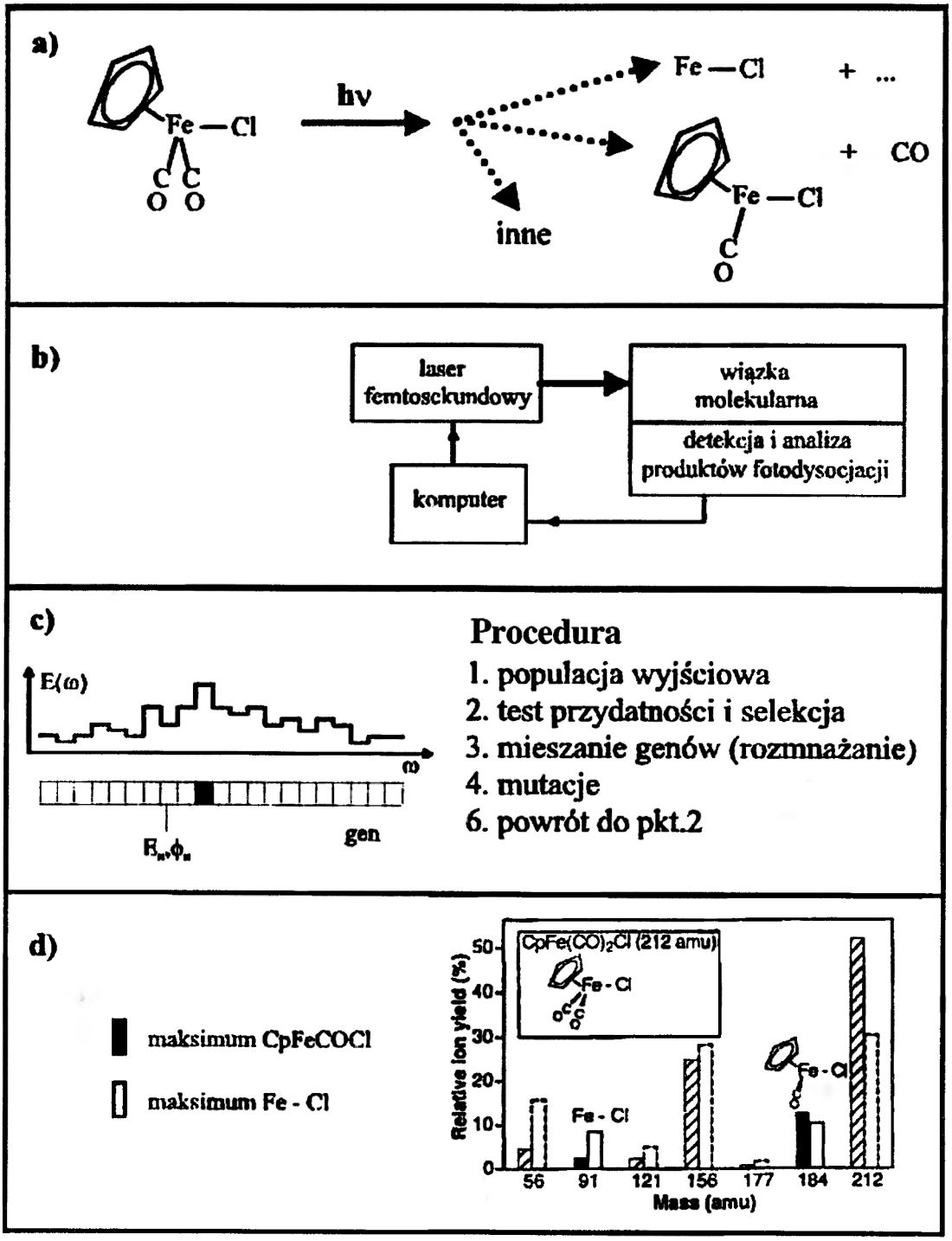


Rys. 4. Zmierzone i obliczone natężenie fluorescencji cząsteczek Na_2 wzbudzanych impulsem laserowym ($\lambda = 630$ nm, $t = 50$ fs). Przed spektrometrem umieszczono bramkę czasową, otwieraną tym samym impulsem laserowym. Opóźnienie oznacza odstęp czasu między impulsem wzbudzającym cząsteczki a impulsem otwierającym bramkę czasową.

3.2. Chemia

Od niepamiętnych czasów ludzie marzyli o tym, by nauczyć się wytwarzać złoto. Jeśli nawet dziś nie do końca podzielamy motywy średniowiecznych alchemików, to warto zauważyć, że we współczesnej nauce istnieje zagadnienie o zbliżonej naturze i równie intrygujące, jak to przed wiekami. Problem alchemii sprowadza się, jak to już wiemy od dość dawna, do znalezienia odpowiedniej reakcji jądrowej, w wyniku której dostaniemy jądra atomów złota z jąder innego, łatwiej dostępnego na Ziemi pierwiastka. Jest to w zasadzie możliwe, tyle tylko, że bardzo kosztowne i zupełnie nieuzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia. Jedno z największych wyzwań współczesnej technologii polega na znalezieniu wydajnych metod wytwarzania nie pierwiastków, a raczej związków chemicznych. Spośród różnych koncepcji w tej dziedzinie należy wymienić z jednej strony biotechnologie, które wykorzystują biologiczne „fabryki chemiczne" do wytwarzania różnych substancji, z drugiej zaś inżynierię chemiczną, w której pożądane związki chemiczne są projektowane, a następnie syntetyzowane przy użyciu różnych technik. Nie mam najmniejszych wątpliwości, że biotechnologie mają przed sobą wspaniałe perspektywy rozwoju; już samo poznanie i zrozumienie niezliczonych mechanizmów, które wypracowała przyroda, to wspaniała przygoda intelektualna. Jako przykład zastosowań biotechnologii można podać np. produkcję leków nowej generacji syntetyzowanych przez rośliny o odpowiednio zmodyfikowanym kodzie genetycznym.

Niejako w cieniu biotechnologii, która od początku stymulowana była zastosowaniami, dokonuje się postęp w innej, pokrewnej dziedzinie – inżynierii chemicznej, czyli poznaniu reakcji chemicznych i sterowaniu nimi. Trzeba tu od razu powiedzieć, że tak rozumiana inżynieria chemiczna ma bardzo niewiele wspólnego z tradycyjną chemią. Sterowanie reakcjami chemicznymi jest szczególnym przypadkiem bardziej ogólnego zagadnienia, nazywanego sterowaniem kwantowym. Zasadniczy problem, rozważany przez ludzi zajmujących się tą dziedziną, można sformułować następująco. Załóżmy, że mamy pewien układ kwantowy w określonym stanie początkowym (surowiec), na który możemy oddziaływać za pomocą fali elektromagnetycznej – impulsu laserowego. Chcemy przeprowadzić ten układ do określonego stanu końcowego (produkt). Pytanie brzmi: jaka powinna być postać impulsu, by uzyskać największą efektywność, czyli wytworzyć możliwie dużą ilość produktu możliwie małym nakładem energii? Tak sformułowane zagadnienie teoretyczne jest całkiem skomplikowane. Po pierwsze, musimy mieć dostatecznie dokładne informacje o naszym układzie kwantowym, a także o jego oddziaływaniu z impulsem laserowym. Wbrew pozorom spełnienie tego wymogu nie jest banalne – dla większości użytecznych układów kwantowych (np. dużych cząsteczek organicznych) nie mamy szans podania dokładnego hamiltonianu, nie wspominając już nawet o znalezieniu poziomów energetycznych itp. Po drugie, nawet jeśli olbrzymim wysiłkiem uda się nam wypracować rozsądny model rozważanego układu, to sama optymalizacja procesu jest również trudna, szczególnie jeśli oddziaływanie ze



Rys. 5. Budowa i wybrane kanały fotorozpadu cząsteczki $CpFe(CO)_2Cl$ (a). Schemat blokowy układu doświadczalnego do kwantowego sterowania rozpadem czasteczki (b). „Genetyczna" reprezentacja impulsu laserowego i opis algorytmu genetycznego (c). Wyniki doświadczalne (d).

światłem nie jest liniowe. W tej sytuacji narzuca się inne podejście do zagadnienia. Opiera się ono na wykorzystaniu sprzężenia zwrotnego – układ doświadczalny uczy się na „własnych błędach". Zilustrujmy to podejście przykładem konkretnych badań, wykonanych przez grupę z Uniwersytetu w Würzburgu w Niemczech [7]. Przedmiotem badań była cząsteczka $CpFe(CO)_2Cl$, która po absorpcji fotonu może rozpadać na kilka różnych sposobów (rys. 5a). Załóżmy, że chcemy zoptymalizować wydajność jednego z kanałów rozpadu, w którym „odrywamy" od cząsteczki jedną grupę

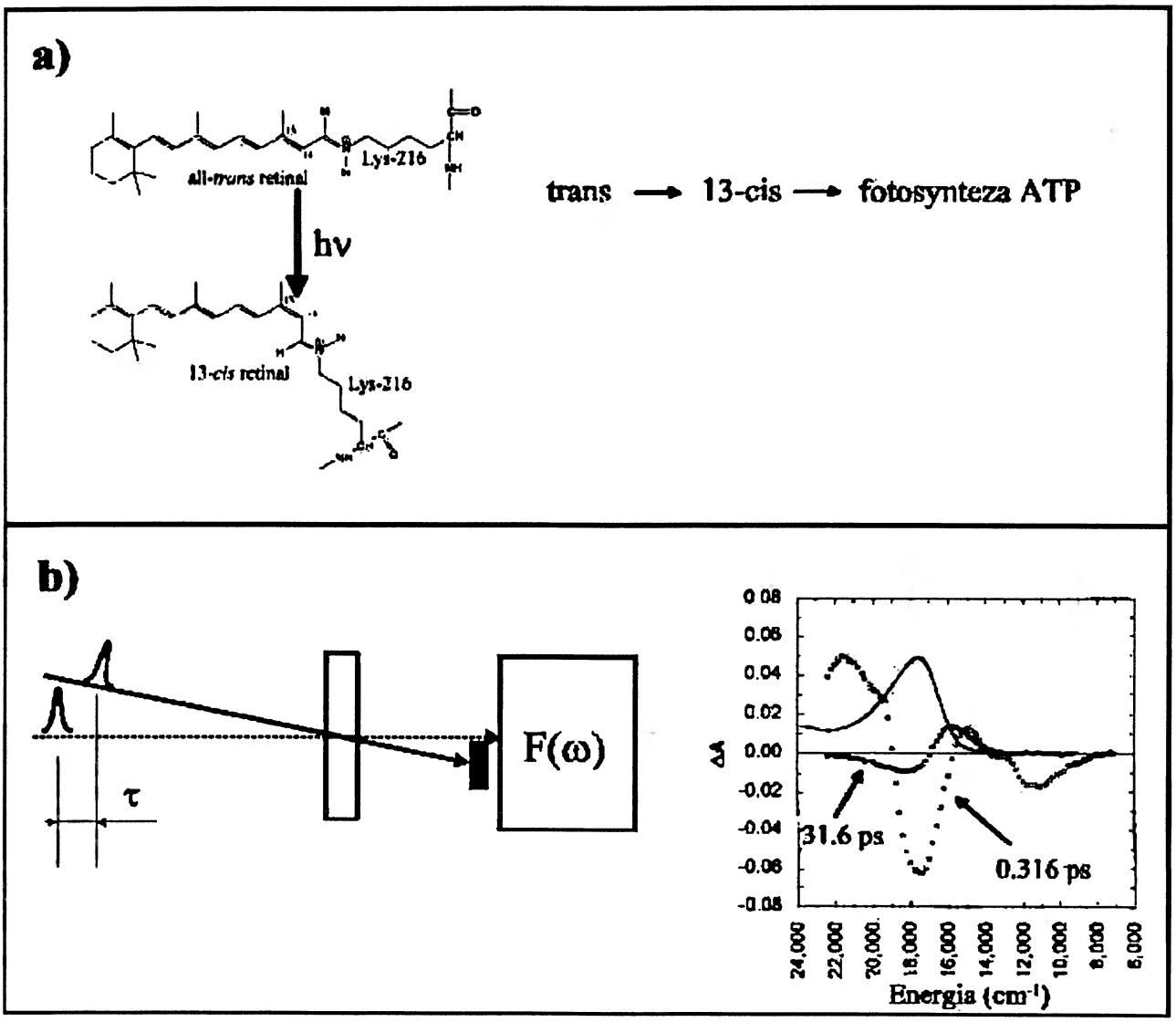
CO oraz atom Cl. Zamiast jednak martwić się o szczegóły budowy cząsteczki i jej oddziaływania z femtosekundowym impulsem laserowym, wkładamy trochę więcej pracy w budowę układu doświadczalnego (rys. 5b). Informacje o wydajności wybranego kanału fotorozpadu, pochodzące ze spektrometru masowego analizującego produkty rozpadu, przesyłane są do komputera, który z kolei sprzężony jest z układem laserowym i może w dość dowolny sposób zmieniać parametry impulsu laserowego ($A(\omega)$ i $\varphi(\omega)$).

Do optymalizacji procesu wykorzystany został algorytm genetyczny [8]. Jego działanie ilustruje rys. 5c. Własności impulsu laserowego zapisane są w postaci „genu" – przedział częstości pokrywany przez widmo laserowe podzielono na szereg odcinków i każdemu z nich przypisano określone wartości amplitudy i fazy spektralnej. Tak skonstruowany „gen" opisuje impuls laserowy o określonych postaciach $A(\omega)$ i $\varphi(\omega)$. Możemy sobie wyobrazić, że jeśli losowo wybierzemy wartości amplitudy i fazy spektralnej dla bardzo dużej liczby „genów", to w ten sposób uzyskamy wszystkie możliwe formy impulsu laserowego. Jednak nie wszystkie geny są równie dobre. Niektóre z nich odpowiadają impulsom laserowym, które dają dobrą wydajność interesującej nas reakcji rozpadu cząsteczki, podczas gdy inne nie spełniają tego warunku. Skoro już jednak zaczęliśmy naśladować naturę, to powinniśmy być konsekwentni! Pozwólmy dobrym genom przetrwać, a złym wyginąć – informacje, potrzebne do podjęcia takich decyzji, mamy ze spektrometru masowego. I to jest właściwie koniec recepty. Kłopot jedynie w tym, że aby mieć pewność, iż znajdziemy optymalny „gen", musimy zacząć od bardzo dużej ich populacji, co nie jest rozwiązaniem bardzo praktycznym. Znacznie prościej jest rozpocząć zabawę z niezbyt dużą populacją genów, pozwolić im na krzyżówki, a na dodatek wprowadzić samoistne mutacje. Gdy wszystkie te elementy zostaną już wbudowane w program komputerowy obsługujący doświadczenie, możemy uruchomić układ doświadczalny, odchylić się w fotelu i obserwować „walkę o przetrwanie". Laser femtosekundowy generuje impulsy odpowiadające poszczególnym „genom", spektrometr masowy ocenia ich przydatność dla wybranego kanału fotorozpadu cząsteczki, a kod komputerowy decyduje o ich przetrwaniu oraz dalszym losie (mutacje i krzyżówki). Jeśli wszystko działa poprawnie, to w kolejnych generacjach genów pozostają tylko te, które optymalizują wybrany przez nas kanał rozpadu. Rysunek 5d pokazuje wynik działania takiego układu. Przeprowadzono dwa doświadczenia: w pierwszym kryterium przetrwania była optymalna produkcja Fe-Cl, a w drugim CpFeCoCl (odpowiednio białe i czarne słupki). Widać, że opisana procedura rzeczywiście działa. Gdy chcemy mieć dużo Fe-Cl w produktach fotorozpadu, to układ doświadczalny sam modyfikuje impulsy laserowe tak, że wydajność tego kanału jest duża. I możemy to osiągnąć, nie wiedząc nic o budowie cząsteczki, jej oddziaływaniu ze światłem laserowym itd.

3.3. Biologia

Na procesy zachodzące w żywych organizmach składa się m.in. olbrzymia liczba reakcji chemicznych katalizowanych odpowiednimi enzymami i zachodzących w fazie skondensowanej. Reakcje te cechuje zdumiewająco wysoka wydajność i selektywność, których ciągle nie potrafimy osiągnąć w przemysłowych procesach chemicznych. Jako przykład może tu posłużyć proces indukowanego światłem przekształcenia izomerycznego cząsteczki rodopsyny – białka, występującego między innymi w niektórych szczepach prymitywnych bakterii. Białko to pochłania światło i syntetyzuje cząsteczki ATP, które są podstawowym nośnikiem energii w organizmach żywych. Początkiem całego skomplikowanego procesu syntezy ATP jest przekształcenie izomeryczne chromoforu wbudowanego w cząsteczkę rodopsyny i pokazanego na rys. 6a.

Chromofor, który pierwotnie jest w formie *trans*, pochłania foton i przechodzi do formy 13-*cis*. Zdumiewająca jest wydajność tego procesu – prawie 70%. Jeśli założyć, że energia wzbudzenia cząsteczki (energia pochłoniętego fotonu) rozkłada się w przybliżeniu równo na wszystkie stopnie swobody (mówimy wtedy o termalizacji energii wzbudzenia), to prawdopodobieństwo transformacji izomerycznej byłoby bliskie zeru. Ponieważ tak nie jest, to można wysunąć hipotezę, zgodnie z którą w stanie wzbudzonym formuje się paczka falowa analogiczna do tej, jaką opisałem dla cząsteczki sodu, i ta paczka „zjeżdża" po wielowymiarowej powierzchni energii potencjalnej do minimum odpowiadającego formie 13-*cis*. Czy można



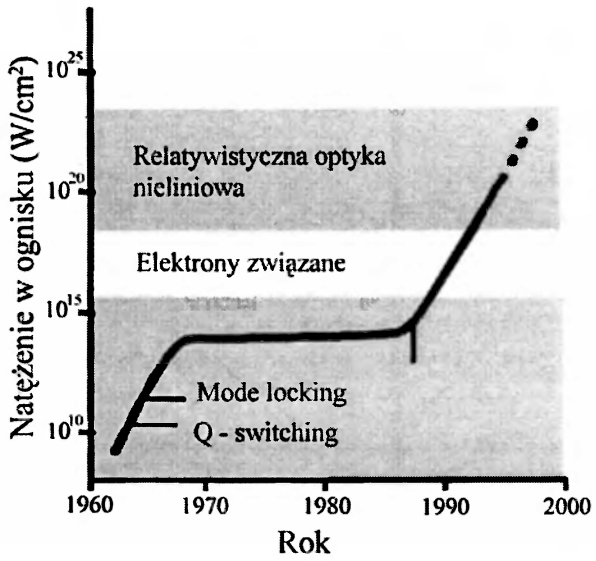
Rys. 6. Wzór strukturalny chromoforu rodopsyny oraz przekształcenie konformacyjne tego chromoforu pod wpływem absorpcji fotonu (a). Schemat układu doświadczalnego i wyniki pomiarów (b). Krzywą ciągłą oznaczono absorpcję próbki wtedy, gdy impuls pompujący jest zablokowany.

udowodnić taką hipotezę? Zrobiła to grupa naukowców z USA [9]. W doświadczeniu przez nich wykonanym próbka zawierająca rodopsynę oświetlana była dwoma femtosekundowymi impulsami światła. Pierwszy impuls, o długości fali dopasowanej do pasma absorpcji rodopsyny, inicjował proces transformacji izomerycznej, natomiast drugi, stosownie opóźniony femtosekundowy impuls o bardzo szerokim widmie służył do pomiaru widma absorpcji próbki w różnych momentach procesu transformacji. Przykładowe zmiany absorpcji próbki dla różnych opóźnień pomiędzy impulsami pokazuje rys. 6b. Analizując wyniki doświadczenia autorzy stwierdzają, że rzeczywiście hipoteza o istnieniu paczki falowej w stanie wzbudzonym jest prawdziwa. Opisane tu badania stanowią tylko jeden z licznych przykładów zastosowania ultrakrótkich impulsów laserowych do badań procesów biologicznych. Piękno takich doświadczeń polega na tym, że pozwalają one obserwować rzeczywistą dynamikę przekazu energii w złożonych cząsteczkach, elementarne procesy tworzenia i rozpadu cząsteczek, procesy przeniesienia elektronu bądź protonu itd.

4. Perspektywy

Technologia femtosekundowa jest w tej chwili dojrzałą dziedziną wiedzy. Czy osiągnęliśmy już wszystko, co było do osiągnięcia? Na pewno nie. Z jednej strony jest całkiem prawdopodobne, że w nadchodzących latach będziemy obserwowali

ciągły, aczkolwiek pewnie wolniejszy niż dotychczas postęp w generacji coraz to krótszych impulsów promieniowania. Dla wielu z nas magiczną barierą jest 1 femtosekunda, poniżej której rozciąga się królestwo impulsów attosekundowych. Nie wiadomo, kiedy nauczymy się wytwarzać impulsy attosekundowe, nikt jednak nie wątpi, że taka chwila nadejdzie. Drugim oczywistym kierunkiem rozwoju technik femtosekundowych jest generacja utrakrótkich impulsów w głębokim nadfiolecie czy wręcz w obszarze promieniowania X. Gdybyśmy dysponowali takimi impulsami, to można by realnie myśleć o śledzeniu dynamiki ruchu jąder atomowych, nie przez obserwację wpływu tego ruchu na elektrony w cząsteczkach, jak to robimy teraz, ale przez bezpośrednie rozpraszanie na jądrach. Wreszcie trzeci, bardzo ważny kierunek rozwoju technik femtosekundowych to wytwarzanie impulsów o coraz większym natężeniu. Historię osiągnięć w tej dziedzinie ilustruje rys. 7. Ostatni okres burzliwego postępu, trwający przez ostatnie 10 lat, związany jest z wykorzystaniem techniki CPA (akronim angielskiej nazwy: Chirped Pulse Amplification). W tej chwili w dużych układach doświadczalnych do badań laserowej syntezy termojądrowej uzyskiwane są moce powyżej 10^{15} W (1 petawat), a w małych (zajmujących powierzchnię rzędu pojedynczych metrów kwadratowych) – moce rzędu 10^{14} W. Ogniskując takie impulsy, możemy dostać imponujące natężenia – aktualny rekord świata w tej kategorii to ok. 10^{21} W/cm^2. Wydaje się, że w ramach obecnie dostępnej technologii można będzie zwiększyć tę wartość o ok. 4 rzędy wielkości, czyli do poziomu 10^{25} W/cm^2. Jednak nawet natężenia dostępne dzisiaj są wystarczająco duże, by przyspieszać elektrony do prędkości relatywistycznych, a także realnie myśleć o konstrukcji akceleratorów cząstek elementarnych opartych na femtosekundowych impulsach światła.



Rys. 7. Historia rekordu natężenia promieniowania laserowego.

Literatura

[1] C. Radzewicz, P. Wiewiór, „Ultrakrótkie impulsy laserowe", *Postępy Fizyki* **49**, 181 (1998).

[2] D.H. Sutter i in., *Opt. Lett.* **24**, 631 (1999).

[3] D.J. Kane, R. Trebino, *IEEE J. Quantum Electron.* **29**, 571 (1993).

[4] C. Iaconis, I.A. Walmsley, *IEEE J. Quantum Electron.* **35**, 501 (1999).

[5] P. Kowalczyk, C. Radzewicz, J. Mostowski, I.A. Walmsley, *Phys. Rev. A* **42**, 5622 (1990).

[6] T.J. Dunn, J.N. Sweetser, I.A. Walmsley, C. Radzewicz, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 3388 (1993).

[7] A. Assion i in., *Nature* **282**, 919 (1998).

[8] R.S. Judson, H. Rabitz, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 1500 (1992).

[9] Feng Gai, K.C. Hasson, J. Cooper McDonald, P.A. Anfinrud, *Science* **279**, 1886 (1998).

Nowe horyzonty fizyki cząstek

Jerome I. Friedman

Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA

Wiek XX był dla fizyki wyjątkowym okresem. W pierwszych 25 latach powstanie szczególnej i ogólnej teorii względności oraz mechaniki kwantowej stworzyło fundamenty współczesnej fizyki. Późniejsze badania doświadczalne i teoretyczne znacznie poszerzyły nasze rozumienie Wszechświata od najmniejszych do kosmologicznych skal odległości. W tym referacie przedstawiony jest przegląd badań w fizyce cząstek, poczynając od 1946 r.: gdzie wtedy byliśmy, gdzie jesteśmy teraz i jakie planujemy kierunki przyszłych badań.

1. Postęp w fizyce cząstek

1.1. Cząstki elementarne

Jakie cząstki znaliśmy w 1946 r.? Znaliśmy elektron (e^-), odkryty w 1897 r. w gazach zjonizowanych, i pozyton (e^+), odkryty w 1932 r. w promieniowaniu kosmicznym. Znaliśmy mion (μ), „ciężki elektron", zaobserwowany w 1936 r. w promieniowaniu kosmicznym. Cząstka ta była bardzo tajemnicza i fizycy nie rozumieli jej roli w przyrodzie. Po jej odkryciu I. Rabi zadał słynne pytanie: „Kto ją zamawiał?" Znaliśmy proton (p) i następnie neutron (n), odkryty w 1932 r. Foton (γ) został zaproponowany przez Einsteina w 1905 r. Neutrino (ν), inna interesująca cząstka, która została przewidziana, aby w rozpadzie β mogła być zachowana energia, została odkryta dopiero w 1956 r. Szukaliśmy nadal pionu (π), przewidzianego przez H. Yukawę w 1935 r., aby wyjaśnić siły krótkozasięgowe między np, pp i nn. Z zasady nieoznaczoności można było ustalić, że masa wymienianej cząstki winna być równa ok. 200 MeV/c^2. Pion został ostatecznie odkryty w 1947 r. w promieniowaniu kosmicznym. Odkrycie cząstki przewidzianej teoretycznie było wielkim triumfem, lecz ten okres rozumienia w fizyce cząstek był bardzo krótkotrwały.

Po odkryciu pionu sprawy się bardzo skomplikowały, gdyż nastąpił okres, w którym odkryto dużą liczbę cząstek. Odkrycia wiązały się z dwoma nowymi osiągnięciami, jakimi były akceleratory wielkich energii (np. synchrotrony), dostarczające dostatecznie dużo energii do kontrolowanej produkcji cząstek, i nowe detektory (zwłaszcza komory pęcherzykowe), w których możliwa była bardzo szczegółowa obserwacja produkcji i rozpadu cząstek. Wykorzystując zasady zachowania pędu, energii i ładunku, można było zrekonstruować obserwowane przypadki i zidentyfikować nowe cząstki. Od 1947 r. odkryto wiele cząstek, które wtedy nazywano elementarnymi. Oczywiście zastanawiano się, czy może istnieć setka różnych cząstek elementarnych, i podejrzewano, że tak być nie musi.

1.2. Model kwarkowy i chromodynamika kwantowa (QCD)

W 1961 r. pogrupowano znane cząstki w multiplety odpowiadające pewnej szczególnej grupie SU(3). Model SU(3) opisywał zarówno cząstki istniejące w przyrodzie, jak i przewidywał cząstki, które powinny istnieć. Był to w zasadzie okresowy układ cząstek. Cząstki zostały pogrupowane w rodziny o tym samym spinie i parzystości. Oktet 0^- zawierał cząstki: K^+, K^0, π^+, π^0, π^-, η, $\bar{K}^0$, $\bar{K}^-$; oktet 1^- – cząstki: K^{*+}, K^{*0}, ρ^+, ρ^0, ρ^-, ω^0, $\bar{K}^{*0}$, $\bar{K}^{*-}$; oktet $\frac{1}{2}^+$ – cząstki: p, n, Σ^+, Σ^0, Σ^-, Λ^0, Ξ^0, Ξ^-, a dekuplet $\frac{3}{2}^+$ – cząstki: Δ^{++}, Δ^+, Δ^0, Δ^-, Σ^{*+}, Σ^{*0}, Σ^{*-}, Ξ^{*0}, Ξ^{*-}, Ω^-. Model przewidywał istnienie i pozwalał ocenić masę hiperonu Ω^-, jeszcze nie odkrytej wówczas cząstki o dziwności -3. Cząstki tej zaczęto poszukiwać w laborato-

riach na całym świecie. W 1964 r. odkryto ją w Laboratorium Narodowym w Brookhaven po przejrzeniu ponad 100 000 zdjęć z komory pęcherzykowej. Był to wielki triumf modelu SU(3) i fizyków pracujących przy komorach pęcherzykowych.

W 1964 r. zaproponowano model kwarkowy. Zgodnie z tym modelem wszystkie cząstki silnie oddziałujące są zbudowane z kwarków (q) 3 typów: górnego (u), dolnego (d) i dziwnego (s). Bariony (protony, neutrony i cięższe cząstki) są zbudowane z 3 kwarków (qqq), a mezony – z pary kwark-antykwark ($q\bar{q}$). Kwarki mają spin 1/2 i ułamkowe ładunki elektryczne: $+(2/3)e$ (u), $-(1/3)e$ (d), $-(1/3)e$ (s). W 1965 r. zaproponowano istnienie kolorowej grupy SU(3), zgodnie z którą kwarki w silnych oddziaływaniach są scharakteryzowane przez 3 efektywne ładunki, zwane kolorami. Pojawił się jednak wielki sceptycyzm w związku z tym modelem. Czy ktoś kiedykolwiek widział cząstki z ułamkowym ładunkiem elektrycznym? Zaczęto ich szukać wszędzie: w doświadczeniach akceleratorowych, promieniowaniu kosmicznym, materii ziemskiej i pozaziemskiej, ale nigdzie nie można było znaleźć swobodnych kwarków. Przez wiele lat ludzie byli bardzo podejrzliwi, jeśli chodzi o prawdziwość tego modelu. Mówiono, że model ten wyjaśnia wprawdzie strukturę cząstek silnie oddziałujących, ale jest może tylko pewnym obrazem matematycznym. Model kwarkowy generował symetrię SU(3), ale istniały ogromne wątpliwości, czy kwarki istnieją w rzeczywistości.

Punktem zwrotnym okazał się rok 1968, kiedy w wyniku analizy nieelastycznego rozpraszania ep w SLAC-u zaobserwowano w protonie punktowe składniki. Eksperyment ten można sobie wyobrażać jako pomiary przy użyciu bardzo potężnego mikroskopu elektronowego. Wiązka elektronów o długości fali 10^{-15} cm oświetla protony o wymiarach rzędu 10^{-13} cm i zdolność rozdzielcza jest wystarczająco duża, aby móc dostrzec strukturę wnętrza protonu. W 1971 r. ta sama grupa wykazała na podstawie szczegółowej analizy rozpraszania do przodu i do tyłu, że składniki wewnątrz protonu mają spin 1/2. W 1972 r. porównanie powyższych wyników rozpraszania elektron-nukleon z rozpraszaniem neutrino-nukleon w CERN-ie wykazało, że punktowe składniki wewnątrz nukleonu mają ułamkowe ładunki elektryczne odpowiadające modelowi kwarkowemu.

W 1973 r. zaproponowano chromodynamikę kwantową (QCD – quantum chromodynamics) jako teorię oddziaływań silnych na poziomie kwarkowym. Wyniki rozpraszania elektronów na nukleonach wykazały, że do rozpraszania głęboko nieelastycznego stosuje się przybliżenie impulsowe, co oznacza, że przy bardzo wielkich energiach stała sprzężenia dla silnych oddziaływań maleje. Fakt ten stanowi doświadczalny dowód swobody asymptotycznej w chromodynamice kwantowej, w której stała sprzężenia ma postać $\alpha_s \propto 1/\ln(q^2/\Lambda^2)$. Z drugiej strony, fakt obserwacji kwarków tylko wewnątrz nukleonów, a nie jako cząstek swobodnych, dał początek idei uwięzienia podczerwonego, czyli całkowitego uwięzienia kwarków. Takie uwięzienie nie zostało dotąd udowodnione matematycznie w chromodynamice kwantowej.

1.3. Unifikacja elektrosłaba

W 1967 r. została sformułowana unifikacja oddziaływań elektromagnetycznych i słabych oparta na symetrii SU(2)×U(1). Główna trudność tej idei polegała na tym, że symetria względem cechowania SU(2)×U(1) prowadziła do 4 bezmasowych bozonów, a bezmasowy winien być tylko jeden – foton. Potrzebny był mechanizm naruszenia symetrii SU(2)×U(1) i „wykreowania" masy. Rozwiązaniem okazał się mechanizm Higgsa spontanicznego naruszenia symetrii, zaproponowany w 1964 r. Przy spontanicznym naruszeniu symetrii podstawowe równania mają symetrię nie obserwowaną w przyrodzie. Oddziaływanie bezmasowych fermionów i bozonów z polem Higgsa nadaje im masę. Kwanty pola Higgsa są skalarnymi cząstkami obojętnymi, cząstkami Higgsa, których masa nie jest wyznaczona przez teorię. Aby zrozumieć mechanizm spontanicznego naruszenia symetrii, można sobie wyobrazić pole sił z symetrycznym potencjałem o dwóch minimach z cząstką w stanie metatrwałym w miejscu maksimum między dwoma minimami. Równowadze trwałej odpowiada cząstka w pobliżu jednego z minimów. Podstawowe prawa opisujące ten układ (lagranżjan i równania ruchu) mają symetrię zwierciadlaną, ale stan równowagi trwałej nie jest symetryczny. Cząstka wybiera jedno z dwóch minimów i symetria zwierciadlana zostaje „spontanicznie naruszona".

W rozważanym modelu unifikacji elektrosłabej foton (γ) pozostaje bezmasowy, a bozony pośredniczące słabych oddziaływań $W^{\pm}$ i Z^0 uzyskują duże masy:

$$M_W^2 = \frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G_\mu \sin^2\theta_W} = \frac{(37{,}2802 \pm 0{,}0004)^2}{\sin^2\theta_W}\,(\mathrm{GeV}/c^2)^2,$$

$$M_Z^2 = \frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G_\mu \sin^2\theta_W \cos^2\theta_W},$$

gdzie α jest stałą struktury subtelnej, G_μ – stałą Fermiego, θ_W – elektrosłabym kątem mieszania, jedynym nowym i nieznanym parametrem. Po wyznaczeniu kąta θ_W z analizy $\frac{\sigma(\nu+N\to\nu+X)}{\sigma(\nu+N\to\mu+X)}$ otrzymano przewidywane wartości mas bozonów pośredniczących słabych oddziaływań.

W 1971 r. udowodniono renormalizowalność teorii elektrosłabej. Przewidywania modelu zostały potwierdzone w CERN-ie w 1973 r. przez odkrycie prądów neutralnych (odpowiadających wymianie Z^0) i w 1983 r. przez odkrycie bozonów W i Z o przewidywanych masach.

2. Stan obecny

2.1. Model Standardowy

Obecnie nasze rozumienie fizyki cząstek jest oparte na Modelu Standardowym, zawierającym chromodynamikę kwantową i teorię elektrosłabą. Podstawowymi składnikami jest 12 podstawowych fermionów (kwarki: u, d, c, s, t, b i leptony: e, μ, τ, ν_e, ν_μ, ν_τ, 4 pola sił z odpowiednimi bozonami pośredniczącymi dla oddziaływań silnych, elektromagnetycznych, słabych i grawitacyjnych (gluonem (g), fotonem (γ), bozonami oddziaływań słabych ($W^{\pm}$, Z^0) i grawitonem) oraz cząstka Higgsa (H). Materia trwała składa się z u, d i e. Podstawowe fermiony należą do 3 rodzin i ich liczba została określona w LEP-ie w wyniku analizy całkowitego przekroju czynnego dla anihilacji e^+e^- w zależności od energii w obszarze rezonansu Z^0. Różnym liczbom neutrin odpowiadają różne krzywe i krzywa z 3 typami neutrin stanowi najlepsze dopasowanie do danych. Nie oznacza to, że nie ma większej liczby rodzin. Jeśli jednak miałaby istnieć czwarta rodzina, to odpowiadające jej nowe neutrino musiałoby mieć masę większą od 45 GeV/c^2. Wszystkie znane neutrina mają masy mniejsze od kilku eV/c^2 i dlatego istnienie czwartej rodziny nie wydaje się naturalne.

Jak wyglądają podstawowe siły? Każdemu typowi sił odpowiada stała sprzężenia mnożąca funkcję opisującą zależność siły od odległości. Oddziaływania silne mają zasięg rzędu 10^{-13} cm, oddziaływania słabe – 10^{-16} cm, a oddziaływania elektromagnetyczne i grawitacyjne maleją z odległością r odwrotnie proporcjonalnie do r^2. Stałe sprzężenia oddziaływań silnych, elektromagnetycznych, słabych i grawitacyjnych wynoszą odpowiednio: 1, 10^{-2}, 10^{-5}, 10^{-38}. Jest ironią losu, że choć oddziaływania grawitacyjne cząstek elementarnych są nadzwyczaj słabe, to największe siły we Wszechświecie, występujące w czarnych dziurach, są siłami grawitacyjnymi.

Model Standardowy z uwzględnieniem poprawek promienistych jest potwierdzony doświadczalnie z dokładnością kilku promili, lecz nie jest w pełni zadowalający z teoretycznego punktu widzenia. Ma on bowiem 19 swobodnych parametrów, które należy wyznaczyć doświadczalnie, i nie ma teorii wyjaśniającej wartości tych parametrów. Nie wiemy także, czy poprawny jest mechanizm Higgsa naruszenia symetrii. Nie znamy przyczyny naruszenia symetrii CP. Potrzebne są doświadczenia przy jeszcze większych energiach, by móc określić mechanizm naruszenia symetrii elektrosłabej i poznać fizykę poza Modelem Standardowym. Obecna teoria nie pozwala na ekstrapolację do obszaru energii 10 razy większej od skali elektrosłabej ($\sim$ 100 GeV), gdyż nie została udowodniona poprawność mechanizmu Higgsa, bo nadal nie ma dowodów istnienia cząstki Higgsa. Wstępne wyniki ze stycznia 1999 r. dają następujące ograniczenia na poziomie ufności 95%:

ALEPH:	$m_H > 90{,}4$ GeV/c^2,
DELPHI:	$m_H > 94{,}1$ GeV/c^2,
L3:	$m_H > 95{,}5$ GeV/c^2,
OPAL:	$m_H > 95{,}2$ GeV/c^2.

Najnowsze ograniczenie (z września 1999 r.) to $m_H > 102{,}6$ GeV/c^2. Pomiary w LEP2 przy energii $\sqrt{s} = 200$ GeV i świetlności $L = 200$ pb^{-1} mogą doprowadzić do odkrycia cząstki Higgsa, jeśli $m_H \leqslant$ ok. 105 GeV/c^2 i wykluczyć ją, jeśli $m_H \leqslant$ ok. 110 GeV/c^2.

2.2. Wielka unifikacja

Przy ekstrapolacji biegnących stałych sprzężenia oddziaływań silnych, elektromagnetycznych

i słabych obserwuje się ich przybliżone zbieganie się i unifikację przy energii $\sim 10^{14}$–10^{15} GeV. Fakt ten wyprowadza nas poza Model Standardowy do teorii wielkiej unifikacji. Takie teorie wyjaśniają kwantyzację ładunku elektrycznego i ułamkowe ładunki kwarków, dostarczają podstaw dla niskoenergetycznej teorii SU(3)×SU(2)×U(1), czyli Modelu Standardowego, przewidują $\sin^2\theta_W$ i m_b/m_τ oraz generują bardzo małe masy neutrin.

2.3. Supersymetria (SUSY)

Supersymetria (SUSY – supersymmetry) jest symetrią, która wprowadza dla każdej cząstki odpowiadającą jej supercząstkę podlegającą przeciwnej statystyce. Każdy fermion ma superpartnera bozonowego i każdy bozon ma superpartnera fermionowego. Supersymetria jest teorią atrakcyjną, gdyż odgrywa ważną, jeśli nie podstawową rolę w kwantowej teorii grawitacji, a zwłaszcza w teorii strun. Rozwiązuje ona inną poważną trudność w teorii cząstek, zwaną problemem hierarchii.

Przy dwóch skalach, skali wielkiej unifikacji przy około 10^{15} GeV i skali elektrosłabej przy 10^2 GeV, trudno jest wyjaśnić istnienie cząstek o małych masach, czyli masach rzędu skali elektrosłabej lub mniejszych. Wynika to stąd, że każda skala wymaga naruszenia symetrii z innymi polami Higgsa przy odpowiedniej skali energii. Pole Higgsa nadaje masy, i poprawki promieniste w takiej teorii przesuwają masy do większej skali. Jedyną drogą utrzymania małych mas w takiej teorii jest dopasowanie parametrów z dokładnością 10^{-28}, co wydaje się całkiem nienaturalne. Supersymetria pozwala wyeliminować tę trudność, gdyż wkłady od pętli fermionowych i bozonowych skracają się nawzajem. Rozwiązanie problemu hierarchii w teorii supersymetrycznej jest piękną ideą, ale dotąd nie zaobserwowano żadnych supercząstek. Masy supercząstek okazują się zbyt duże, aby supercząstki mogły się produkować przy obecnych energiach i świetlnościach. Masy supercząstek nie są równe masom ich zwykłych partnerów, czyli supersymetria jest symetrią naruszoną.

Rozważania teoretyczne sugerują, że skala mas supercząstek jest rzędu TeV/c^2. W Minimalnym Modelu Supersymetrycznym jest 5 różnych cząstek Higgsa.

3. Kierunki przyszłych badań

Głównym kierunkiem natarcia w fizyce cząstek będzie badanie fizyki poza Modelem Standardowym. Musimy określić mechanizm naruszenia symetrii elektrosłabej (mechanizm Higgsa, supersymetryczny mechanizm Higgsa czy jakiś inny mechanizm) i ustalić istnienie supersymetrii. W CERN-ie budowany jest wielki zderzacz hadronowy LHC (Large Hadron Collider), aby przebadać te zagadnienia. Innymi zagadnieniami, które są obecnie badane przy działających akceleratorach w ramach szerokich programów, jest problem, czy naruszenie CP pochodzi tylko z Modelu Standardowego, i czy neutrina mają małe, ale niezerowe masy. Precyzyjne pomiary w LEP-ie w obszarze rezonansu Z^0 wskazują, że cząstka Higgsa z Modelu Standardowego ma masę < 280 GeV/c^2 na poziomie ufności 95%. Lekka cząstka Higgsa może zostać odkryta w Laboratorium Fermiego (po zmodernizowaniu akceleratora) lub przy akceleratorze LEP2, jeśli $m_H < 110$–120 GeV/c^2. Ale jeśli nawet to się zdarzy, to będą potrzebne poszukiwania i pomiary przy akceleratorach o większych energiach (przy LHC i prawdopodobnie przy planowanym obecnie zderzaczu liniowym), aby określić, czy cząstka Higgsa jest cząstką z Modelu Standardowego, czy też cząstką z modelu supersymetrycznego. Supersymetrii towarzyszy bogactwo zjawisk i będzie ona wymagała mnóstwa pomiarów przy wyższych energiach, aby wyznaczyć wiele jej parametrów.

LHC jest zderzaczem proton-proton budowanym obecnie w tunelu LEP-u o obwodzie 26,6 km. Urządzenie to będzie dostarczało energii 14 TeV w układzie środka masy zderzających się protonów i będzie miało świetlność 10^{34} cm^{-2}/s. Jego nadprzewodzące dipole o długości 14,2 m dostarczą pola magnetycznego o indukcji 8,36 T. Ukończenie budowy LHC jest planowane na rok 2005.

Dla potrzeb doświadczeń przy LHC budowane są dwa gigantyczne i skomplikowane detektory: CMS i ATLAS. Składają się one z wielu różnych elementów: obszaru z polem magnetycznym i komorami śladowymi, kalorymetru elektromagnetycznego, kalorymetru hadronowego, komór mionowych, i będą mogły wykryć elektrony, miony, fotony i hadrony (protony, piony, kaony). Neutrina będą wykrywane przez obserwację niezachowania pędu poprzecznego. Detektory wierz-

chołkowe będą poszukiwać szybkich rozpadów ciężkich kwarków.

Cząstka Higgsa z Modelu Standardowego będzie poszukiwana w następujących procesach:

$H \to \gamma\gamma$ dla $80 < m_H < 140$ GeV/c^2,
$H \to b\bar{b}$ dla $m_H \sim 100$ GeV/c^2,
$H \to ZZ^* \to 4l^{\pm}$ dla $130 < m_H < 200$ GeV/c^2,
$H \to ZZ \to 4l^{\pm}$ dla $200 < m_H < 750$ GeV/c^2,
$H \to ZZ \to 2l^{\pm}$ dla $0{,}5 < m_H < 1$ TeV/c^2,
$H \to WW$ dla $m_H \sim 1$ TeV/c^2,
$H \to ZZ$ dla $m_H \sim 1$ TeV/c^2.

Fizyka będzie wymagać dużej świetlności dla LHC. Przy poszukiwaniu cząstki Higgsa o masie 80 GeV/$c^2 < m_H < 800$ GeV/c^2 istnieje metoda jej wykrycia, która wymaga stosunku sygnału do tła > 5 dla $L = 105$ pb^{-1}. Przy poszukiwaniu supersymetrii większość obszaru m_A i $1 \leqslant \mathrm{tg}\,\beta \leqslant 50$ będzie dostępna przy $L = 3{\times}10^5$ pb^{-1}, a obcięcie w brakującej energii $E_T > 300$ GeV przy $L = 10^5$ pb^{-1} pozwoli zaobserwować skwarki i gluina o masach do $m \approx 1{,}5$ TeV/c^2.

Podsumowując, celami badań przy LHC i ewentualnym zderzaczu liniowym są:

— zbadanie przyrody przy skali energii rzędu TeV (naruszenia symetrii elektrosłabej, poszukiwanie cząstek supersymetrycznych itd.),

— wszechstronne przebadanie zjawisk wskazujących na fizykę poza Modelem Standardowym – być może dostarczających informacji o wielkiej unifikacji,

— poszukiwanie nieoczekiwanych zjawisk: złożoności cząstek podstawowych, nowych bozonów pośredniczących, nowych rodzin itd.

Jest to bardzo interesujący program przyszłych badań.

Z zapisu wideo spisał i przetłumaczył
Zygmunt Ajduk
Instytut Fizyki Teoretycznej UW
Warszawa

Fizyka w Polsce wczoraj, dziś i jutro

Andrzej Kajetan Wróblewski

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Warszawski

W artykule podaję krótką charakterystykę fizyki w Polsce od początku obecnego stulecia. Ocena stanu fizyki w Polsce w ostatnim okresie została oparta głównie o wskaźniki bibliometryczne. Podaję jednak także liczby dotyczące stopni i tytułów naukowych oraz liczby studentów fizyki.

1. Początek stulecia

Na początku obecnego stulecia Polska była podzielona między trzy zabory i nie istniała jako niepodległe państwo. W Krakowie, Lwowie i Warszawie działali jednak polscy fizycy.

Książka adresowa fizyków z 1905 roku [1] zawiera 7 nazwisk polskich fizyków z istniejących wówczas wyższych uczelni.

Są to z Krakowa: Ludwik Birkenmajer, Władysław Natanson, August Witkowski (dwaj pierwsi są określani jako profesorowie fizyki matematycznej, a Witkowski – jako profesor fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim). Ze Lwowa: Kazimierz Olearski – profesor fizyki na Politechnice Lwowskiej, Marian Smoluchowski i Ignacy Zakrzewski – profesorowie fizyki na Uniwersytecie Cesarza Franciszka I. Z Warszawy: Wiktor Biernacki, docent fizyki w Instytucie Politechnicznym; są ponadto wymienieni dwaj Rosjanie: Piotr Aleksiejewicz Silow (profesor Cesarskiego Uniwersytetu Warszawskiego) i Boris Wiaczesławowicz Stankiewicz (prof. fizyki w szkole rolniczej).

Od 1898 roku zaczęto wydawać *Science Abstracts*, które potem (w 1941 r.) przekształciło się w wychodzące do dziś *Physics Abstracts*. Redaktorzy tego przeglądowego wydawnictwa zbierali dane o publikacjach z ok. 150 czasopism, wśród których jest wymieniony *Biuletyn Akademii Umiejętności* w Krakowie (*Bull. Acad. Crac.*).

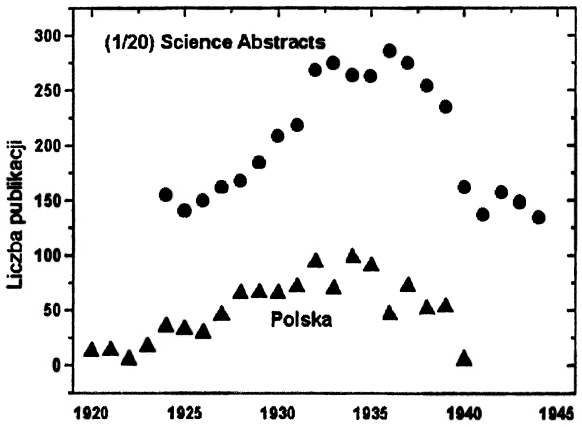
Przegląd *Science Abstracts* z lat 1900 i 1901 wykazuje, że polscy fizycy byli wówczas autorami drobnego ułamka procenta wszystkich wymienionych tam publikacji.

2. Okres międzywojenny

Po odzyskaniu niepodległości fizyka w Polsce zaczęła się rozwijać. Powstało Polskie Towarzystwo Fizyczne, które zaczęło wydawać *Sprawozdania i Prace PTF*, przekształcone następnie w *Acta Physica Polonica*. Utworzono zakłady fizyczne w nowych uczelniach: odrodzonym Uniwersytecie Warszawskim, Uniwersytecie Stefana Batorego w Wilnie, Uniwersytecie Poznańskim, Akademii Górniczej w Krakowie, Wolnej Wszechnicy Polskiej. Rozbudowano też zakłady fizyczne w Uniwersytecie Jagiellońskim, Uniwersytecie Jana Kazimierza, Politechnice Lwowskiej i Politechnice Warszawskiej.

Ciekawe dane liczbowe dotyczące roku 1930 zawiera *Spis pracowników uczelni RP* [2]. Wymienione są tam 24 nazwiska profesorów i docentów fizyki. Okazuje się także, że we wszystkich uczelniach w Polsce było wtedy łącznie 6 stanowisk adiunkta, 19 – starszego asystenta i 27 – asystenta i zastępcy asystenta, 10 pracowników technicznych i obsługi oraz 15 nieetatowych asystentów i zastępców asystenta. Jedynym instytutem fizycznym poza wyższymi uczelniami była wówczas Pracownia Radiologiczna Towarzystwa Naukowego Warszawskiego [4], której kierownik, prof. Ludwik Wertenstein, był także profesorem w Wolnej Wszechnicy Polskiej. Pracą naukową zajmowali się też nieliczni fizycy wykładający w gimnazjach (np. Leopold Infeld i Arkadiusz Piekara w Rydzynie) lub pracujący dorywczo w innych instytucjach (np. Myron Mathisson w Warszawie).

Ta nieliczna społeczność fizyków polskich zaznaczała jednak już wyraźnie swą obecność w literaturze światowej. *Acta Physica Polonica* oraz *Biuletyn Polskiej Akademii Umiejętności* znajdowały się wśród najważniejszych czasopism, z których prace były rejestrowane w *Science Abstracts*. Z zamieszczanych tam danych wynika [5], że fizycy polscy byli wówczas autorami około 1,5% wszystkich publikacji z fizyki w statystyce światowej (rys. 1).



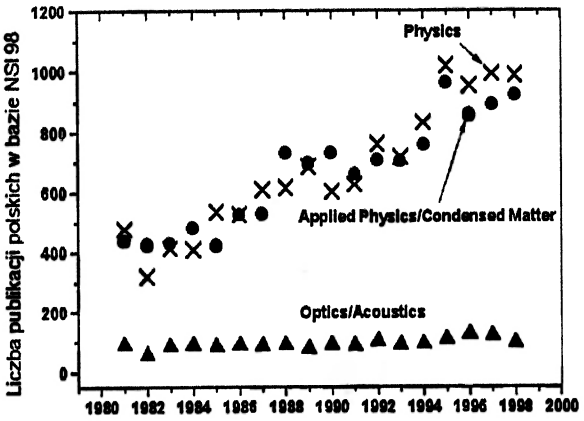
Rys. 1.

Polscy fizycy publikowali prace na ogół w rodzimych periodykach, *Acta Physica Polonica* i *Biuletynie PAU*. Zwraca jednak uwagę znaczna liczba prac opublikowanych wówczas w *Zeitschrift für Physik*, chyba najbardziej prestiżowym z ówczesnych czasopism, jak również w *Comptes Rendus* Akademii Nauk w Paryżu, *Journal de Physique et le Radium* oraz *Physikalische Zeitschrift*. W końcowych latach okresu międzywojennego coraz częściej publikowano także w *Nature* (rys. 2).

Najsilniejszym ośrodkiem fizyki w Polsce była wówczas Warszawa. Ze znajdujących się tam instytucji (Uniwersytet Warszawski, Politechnika Warszawska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wolna Wszechnica Polska, Pracownia Radiologiczna TNW) pochodziło aż 63% wszystkich polskich publikacji z fizyki (z czego prawie 60% przypadało na fizyków z Hożej) (rys. 3). Ośrodki w Krakowie i Lwowie dały w sumie po 11% publikacji, Poznań – 6%, Wilno – 4%. Zdumiewająca była aktywność Arkadiusza Piekary, który w gimnazjum w Rydzynie stworzył ważny ośrodek badawczy, z którego wyszło aż 5% wszystkich publikacji z fizyki w Polsce, a więc więcej niż z całego ośrodka wileńskiego.

Rys. 2.

Więcej szczegółów o historii fizyki w Polsce w okresie międzywojennym można znaleźć w artykułach [6–11].



Rys. 3.

Inwentarz fizyki w Polsce w 1930 r. [2]

Kraków

Uniwersytet Jagielloński

Wydział Filozoficzny, Zakład Fizyczny: kier. prof. Konstanty Zakrzewski, wymieniony także prof. Władysław Natanson, 1 ad., 4 as., 1 mechanik, 3 osoby służby niższej, budżet 8000 zł.

Akademia Górnicza

Wydział Hutniczy, Zakład Fizyki: kier. prof. Mieczysław Jeżewski, 1 st. as., 2 zast. as., 1 mechanik, budżet 4985 zł.

Lwów

Uniwersytet Jana Kazimierza
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Instytut Fizyki Doświadczalnej: kier. prof. Stanisław Loria , 1 st. as., 2 mł. as., 2 dem.; Instytut Fizyki Teoretycznej: kier. vacat, 1 st. as.

Politechnika Lwowska
Wydział Inżynierii Lądowej i Wodnej, Zakład Fizyki: kier. prof. Zygmunt Klemensiewicz, 1 ad., 1 st. as., 2 mł. as.
Wydział Chemiczny, II Zakład Fizyki: kier. prof. Czesław Reczyński, 1 ad., 2 st. as., 2 mł. as., budżet 8500 zł.
Wydział Rolniczo-Lasowy, III Zakład Fizyki: kier. prof. Tadeusz Malarski, 3 zast. as.
Wydział Ogólny, Zakład Fizyki Teoretycznej: kier. prof. Wojciech Rubinowicz, 1 st. as., budżet ok. 800 zł. Wymieniony także wykładowca Michał Halaunbrenner (ćwiczenia fizyczne).

Poznań

Uniwersytet Poznański
Wydział Lekarski, Zakład Fizyki: kier. prof. Stanisław Kalandyk, 1 st. as., 2 zast. mł. as., budżet 3000 zł.
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Zakład Fizyki Doświadczalnej: kier. prof. Alfred Denizot, 1 ad., 1 st. as., 1 zast. st. as., budżet 2000 zł; Zakład Fizyki Teoretycznej: kier. prof. Tadeusz Pęczalski, 1 st. as., budżet 1800 zł.

Wymieniony także wykładowca dydaktyki fizyki Jan Kilarski.

Warszawa

Uniwersytet Warszawski
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Zakład Fizyki Doświadczalnej: kier. prof. Stefan Pieńkowski, 1 ad., 3 st. as., 1 as., 6 as. nieet., 1 elektrotechnik, 1 mechanik. (Skład Uniwersytetu i Spis Wykładów na rok akademicki 1930–1931 [3] wymienia nazwiska: adiunkt: dr Andrzej Sołtan, starsi asystenci: dr Irena Bobrówna, dr Władysław Kapuściński, dr Witold Majewski, asystent: Aleksander Jabłoński, asystenci nieetatowi: Witold Bernhardt, Henryk Jeżewski, Witold Kessel, Maria Majewska, Jerzy Starkiewicz, Zdzisław Zając); Zakład Fizyki Teoretycznej: kier. prof. Czesław Białobrzeski, 1 as. nieet. (według [3] był to Włodzimierz Ścisłowski).

Wśród wykładowców wymieniony także prof. fizyki matematycznej Witold Pogorzelski (zatrudniony jako profesor matematyki na Politechnice Warszawskiej). Ponadto w spisie jest Zakład Mechaniki Teoretycznej, kier. prof. Antoni Przeborski, 1 as. nieet.

Politechnika Warszawska
Wydział Elektryczny, Zakład Fizyczny I: kier. prof. Mieczysław Wolfke, 1 ad., 3 st. as., 6 nieet. zast. as., 1 mechanik, budżet 15 000 zł.
Wydział Chemiczny, II Zakład Fizyki: kier. prof. Stanisław Kalinowski, 1 st. as., 2 mł. as.

Wśród docentów wykładających fizykę są wymienieni ponadto dr Feliks Joachim Wiśniewski i dr Wacław Werner.

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Leśny, Zakład Fizyki: kier. dr Stanisław Landau-Ziemecki, 1 as. nieet.

Wolna Wszechnica Polska
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Pracownia Fizyki Doświadczalnej: kier. prof. Marian Grotowski, 2 mł. as. Wśród wykładających fizykę wymienieni także prof. Ludwik Wertenstein i prof. Feliks Joachim Wiśniewski (wymieniony wyżej przy Politechnice Warszawskiej).

Wilno

Uniwersytet Stefana Batorego
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Zakłady Fizyki I i II: kierownicy prof. Wacław Dziewulski i prof. Józef Patkowski, w każdym zakładzie 1 st. as i 2 mł. as., budżet 3000 zł; Zakład Fizyki Teoretycznej: kier. prof. Jan Weyssenhoff, budżet 720 zł.

3. Upadek i odbudowa

Wybuch drugiej wojny światowej zatrzymał dobrze zapowiadający się rozwój fizyki w Polsce. Zamknięcie wyższych uczelni i instytutów naukowych podczas okupacji zostało połączone z zakazem zajmowania się nauką w ogóle. Część fizyków polskich zginęła podczas działań wojennych i późniejszych prześladowań [12]. Przekreśliło to dorobek dwudziestolecia i spowodowało, że należało niemal wszystko zaczynać od początku. Dzięki trosce władz i znacznym nakładom szybko odbudowano instytuty w zniszczonej Warszawie, a wychowankowie Hożej tworzyli i wzmacniali inne ośrodki fizyki [7]. Bardzo poszerzyła się tematyka badań [13,14].

Mimo przynajmniej dziesięcioletniego opóźnienia w stosunku do innych krajów fizyka polska szybko osiągnęła i przekroczyła poziom przedwojenny. Okazuje się, że w latach 1961–64 polscy fizycy dostarczali aż 1,1–1,5% publikacji rejestrowanych w *Physics Abstracts*, co dawało wtedy Polsce 10 miejsce w świecie [15,16].

4. Fizyka w Polsce dziś

Szczegółowe przedstawienie obecnego stanu badań w różnych działach fizyki i różnych ośrodkach w Polsce zostało niedawno opublikowane w materiałach sesji naukowej z okazji stulecia urodzin Aleksandra Jabłońskiego [17]. Nie powtarzając zawartych tam informacji ograniczę się tu tylko do przedstawienia danych statystycznych dotyczących wyników badań i rozwoju kadr.

Obecnie najbardziej znanym i najczęściej używanym sposobem oceny stanu nauki jest wykorzystywanie międzynarodowych baz danych o publikacjach prac naukowych i ich cytowaniach przez innych autorów. Dane te traktuje się jako obiektywne wskaźniki, istotne dla kryteriów oceny poszczególnych dyscyplin naukowych i jednostek badawczych, a więc dla polityki naukowej państwa.

Bazy danych o publikacjach i ich cytowaniach przygotowuje od ponad 30 lat mieszczący się w Filadelfii Instytut Informacji Naukowej (Institute of Scientific Information – ISI) założony przez Eugene'a Garfielda. Najpowszechniej znaną bazą danych dla nauk przyrodniczych jest Indeks Cytowań Naukowych (Science Citation Index – SCI). Ta baza danych jest tworzona na podstawie rejestrowania zawartości najważniejszych czasopism naukowych. Obecnie lista czasopism ISI – tak zwana lista filadelfijska – liczy około 7700 czasopism (w tym 5100 z nauk matematyczno-przyrodniczych, 1500 z nauk społecznych i 1100 z humanistyki). Ogromna większość czasopism naukowych na świecie ma znikome znaczenie ze względu na niski poziom lub niewielki, lokalny zasięg (np. zeszyty naukowe i biuletyny prowincjonalnych uczelni i instytutów); prace publikowane w tych mniej znanych czasopismach przechodzą bez echa.

Wymieniona wyżej baza SCI jest użyteczna dla oceny wkładu poszczególnych uczonych, natomiast bardzo źle nadaje się do oceny i porównywania instytutów, dziedzin nauki czy całych krajów. Dlatego też ISI przygotowuje specjalne bazy danych: Narodowe Wskaźniki Cytowań (National Science Indicators – NSI) oraz Narodowy Raport Cytowań (National Citation Report – NCR).

Baza NSI pozwala na szybkie ustalanie wkładu poszczególnych krajów do danej dziedziny, porównywanie z sobą różnych państw pod względem wkładu do nauki światowej, a także ustalanie silniejszych i słabszych dziedzin w danym kraju. Baza NCR pozwala na porównywanie aktywności naukowej poszczególnych krajowych jednostek naukowych w danej dziedzinie. To ostatnie zastrzeżenie jest istotne, ponieważ parametry dotyczące publikacji i cytowań w różnych dziedzinach różnią się bardzo znacznie.

Baza NSI jest publikowana corocznie, natomiast bazę NCR przygotowuje ISI dopiero na specjalne zamówienie z danego kraju. Ostatnia zakupiona w Filadelfii przez KBN baza NCR dla Polski obejmuje dane za lata 1981–97.

Natomiast najnowsza baza NSI obejmuje publikacje i cytowania za okres 1981–98. Ta najnowsza baza zawiera obecnie ponad 100 milionów cytowań i ponad 10 milionów publikacji. Publikacje i cytowania są przyporządkowane poszczególnym krajom (na podstawie afiliacji autorów, wymienionej przy tytule pracy).

Publikacje i cytowania w bazie NSI zostały przydzielone do 33 głównych dziedzin, zależnie od czasopisma; ostatnia, 34. dziedzina to badania multidyscyplinarne, których nie dało się inaczej sklasyfikować. Istnieje jeszcze specjalna wersja NSI, w której występuje podział na drobniejsze działy (w sumie 105). Podkreślmy, że podział na dziedziny i nazwy tych dziedzin pochodzą od ekspertów ISI i są zawarte w samej bazie danych, tak że nie są możliwe żadne ich modyfikacje.

Lista czasopism uwzględnianych w bazie NSI zawiera w sumie 236 czasopism w dziedzinie określonej przez autorów bazy jako „Physics" (specjalnie podaję nazwy oryginalne). W bardziej szczegółowym podziale dziedzina „Physics" dzieli się na trzy działy nazwane: „Applied Physics/Condensed Matter" (127 czasopism), „Physics" (105 czasopism) i „Optics/Acoustics" (43 czasopisma). Jak widać, suma trzech powyższych liczb jest większa od 236, co wynika z pewnego przekrywania się czasopism między działami fizyki. Z polskich periodyków fizycznych w bazie NSI uwzględniane są tylko obie serie *Acta Physica Polonica*, *Optica Applicata* oraz od niedawna także *Reports on Mathematical Physics*.

Dział „Applied Physics/Condensed Matter" obejmuje na przykład czasopisma: *Appl. Optics*; *Appl. Phys.*; *Ferroelectrics*; *J. Appl. Phys.*; *J. Magn. Magn.*; *J. Physics D*; *J. Physique III*; *J. Phys. – Cond. Matter*; *Phys. Rev. B*; *Phys. Stat. Sol. A, B*; *Physica B, C*; *Vacuum*; *Z. Physik B*.

Dział „Physics" obejmuje np.: *Acta Phys. Pol. A, B*; *Phys. Rev. A, C, D, E*; *Phys. Rev. Lett.*; *Phys. Lett.*; *Physica A, D*; *J. Physics A, B, G, I*; *J. Physique IV*; *Nucl. Phys. A, B*; *Z. Physik A, C, D*; *J. Math. Phys.*; *Nuovo Cim. A, B, D*.

Dział „Optics/Acoustics" obejmuje np. *Opt. Applicata*; *Acoustica*; *Imaging Syst. J.*; *J. Laser Appl.*; *J. Mod. Opt.*; *J. Opt. Soc. Amer. A, B*; *Laser Phys.*

Poza tym fizycy publikują prace także w czasopismach zaliczonych do działów: „Spectroscopy/Instrumentation/Analysis", „Nuclear Engineering" i „Materials Science".

Pod względem łącznej liczby publikacji we wszystkich dziedzinach pozycja Polski w rankingu państw jest niestety coraz słabsza. W 1981 roku Polska zajmowała 15 miejsce w świecie pod względem liczby publikacji i od tego czasu stale spadamy. W 1985 r. zajmowaliśmy 17 miejsce, w 1990 – 18, w 1996 – 19, w 1997 – 20, a w 1999 r. spadliśmy na miejsce 21. Polskę wyprzedziły w ostatnich latach Tajwan, Korea Południowa i Brazylia. Polsce grozi w najbliższych latach dalszy spadek, ponieważ tuż za nami są Dania i Finlandia, w których nauka szybko się rozwija, podczas gdy w Polsce się cofamy. Obecnie z Polski pochodzi zaledwie około 0,9% publikacji naukowych na świecie.

Nieco lepiej jest w fizyce (tab. 1), w której dopiero ostatnio zanotowaliśmy znaczący spadek, wywołany niewątpliwie stale zmniejszającymi się środkami, jakie na badania naukowe przeznacza rząd. Fizycy polscy dostarczają znacznie ponad 2 procent całej światowej produkcji w dziedzinie „Physics".

Z danych w tab. 2 wynika, że najgorzej rozwija się u nas dział „Optics/Acoustics", w której

Tabela 1. Miejsce fizyki polskiej na podstawie danych w bazie National Science Indicators 1999

Rok	Procent polskich prac w dziedzinie Physics	Miejsce Polski w świecie
1981	2,15	11
1982	1,65	12
1983	1,93	11
1984	2,06	11
1985	2,00	11
1986	2,12	10
1987	2,28	11
1988	2,26	11
1989	2,30	11
1990	2,14	12
1991	2,02	12
1992	2,08	12
1993	2,04	13
1994	2,10	13
1995	2,53	11
1996	2,33	13
1997	2,31	14
1998	2,26	14

Tabela 2. Miejsce Polski w świecie pod względem liczby publikacji na podstawie danych w bazie National Science Indicators 1998

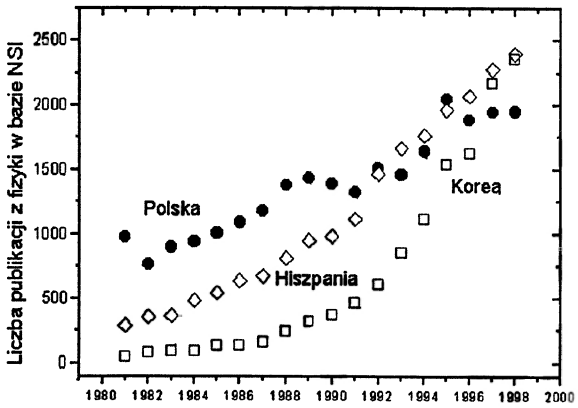
Rok	Applied Physics Condensed Matter	Optics Acoustics	Physics
1981	9	9	11
1982	10	12	12
1983	10	10	11
1984	10	9	11
1985	11	10	11
1986	10	11	11
1987	11	12	11
1988	11	13	12
1989	11	13	12
1990	12	12	12
1991	12	14	12
1992	14	13	12
1993	15	16	12
1994	16	17	12
1995	14	17	11
1996	15	16	12
1997	16	17	12
1998	15	19	12

stale spadamy (z miejsca 9 w 1981 r. na 16–17 miejsce obecnie). Słabnie także pozycja Polski w dziale „Applied Physics/Condensed Matter", mimo stałego wzrostu liczby publikacji (rys. 4). Po prostu inne państwa w tym dziale rozwijają się szybciej. Najlepiej przedstawia się sprawa w dziale „Physics", w którym zajmujemy stabilne 11–12 miejsce. Jak wynika z listy czasopism definiujących ten dział, dotyczy to fizyki teoretycznej, fizyki jądrowej i fizyki cząstek elementarnych.

Bardzo pesymistycznie nastraja porównanie rozwoju fizyki w Polsce i w innych krajach. Na przykład, Hiszpania w 1981 r. startowała z pozycji znacznie gorszej od nas, ale wyprzedziła nas w 1993 r. Obecnie Polskę wyprzedza Korea, która startowała 20 lat temu z pozycji zupełnego kopciuszka (rys. 4). Słabym pocieszeniem jest to, że w innych dziedzinach nauki, zwłaszcza biologiczno-medycznych, jest jeszcze gorzej.

Optymizm budzi natomiast to, że fizycy polscy publikują swe prace w czołowych czasopismach światowych. Wprawdzie znaczna część publikacji polskich autorów przypada wciąż na obie serie *Acta Physica Polonica*, ale z czasopism zagranicznych na pierwszym miejscu jest prestiżowe *Physical Review* (rys. 5). Duża liczba prac uka-

zuje się jednak nadal w periodykach spoza listy filadelfijskiej, np. *Proceedings of the SPIE*; nie są one uwzględniane w bazach danych ISI.

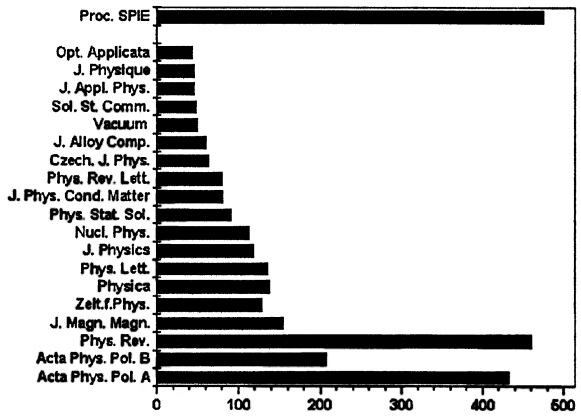


Rys. 4.

Na podstawie danych z bazy NCR można porównać udział poszczególnych ośrodków pod względem liczby publikacji rejestrowanych w czasopismach z „listy filadelfijskiej". Jak widać z tab. 3, dominującym ośrodkiem badań fizycznych w Polsce pozostaje Warszawa, z której pochodzi 38% publikacji, niemal tyle, co z trzech następnych w kolejności ośrodków – Krakowa, Wrocławia i Poznania – razem wziętych.

Tabela 3. Procentowy udział ośrodków w liczbie publikacji z fizyki w 1997 r. na podstawie bazy National Citation Report 1998

Ośrodek	Procentowy udział
Warszawa	38,1
Kraków	18,5
Wrocław	12,2
Poznań	9,7
Katowice-Gliwice	5,7
Łódź	2,7
Gdańsk	2,6
Lublin	2,2
Toruń	2,0
Częstochowa	1,35
Białystok	1,05
Rzeszów	1,0
Szczecin	0,7
Kielce	0,55
Opole	0,35
Bydgoszcz	0,2
Radom	0,2
Olsztyn	0,15
Słupsk	0,1



Rys. 5.

Według statystyki dla lat 1981–85 [18], z Warszawy pochodziło 35,8% polskich publikacji z fizyki. Następne w kolejności były wtedy ośrodki: Kraków (18,2%), Wrocław (17,2%), Poznań (6,8%), Katowice-Gliwice (5,1%), Gdańsk (4,0%) i Łódź (3,6%). Jak widać z porównania tych liczb z danymi w tab. 3, największy spadek do 1997 r. zanotowały Wrocław, Gdańsk i Łódź, najbardziej zaś zyskał ośrodek poznański. Bliższa analiza wykazuje, że nastąpiło wyraźne osłabienie działalności (mierzonej liczbą publikacji) w Politechnice Wrocławskiej i Politechnice Gdańskiej. W latach 1981–85 Politechnika Wrocławska zajmowała w kraju drugie miejsce pod względem liczby publikacji, po Uniwersytecie Warszawskim, a przed Uniwersytetem Jagiellońskim. Wzrost znaczenia Poznania dokonał się głównie za sprawą Instytutu Fizyki Molekularnej PAN.

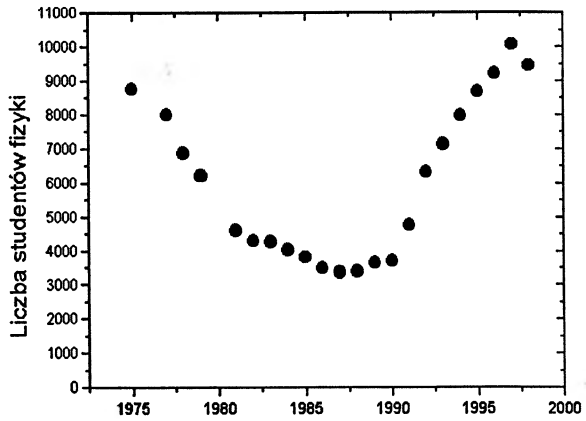
Według Andrzeja Hrynkiewicza [19], który przeanalizował rozmieszczenie fizyków uczestniczących w badaniach, w Polsce jest obecnie 2320 fizyków posiadających co najmniej stopień doktora. Z tej liczby 26,7% jest w Warszawie, 22,9% w Krakowie, 10,3% w Poznaniu, 9,9% we Wrocławiu, a 30,2% w pozostałych ośrodkach. Porównanie tych liczb z danymi w tab. 3 pokazuje, że stosunkowo najwięcej publikacji pochodzi od fizyków warszawskich i wrocławskich.

5. Stopnie i tytuły naukowe

O stanie obecnym i przyszłości fizyki w Polsce będzie decydować liczba wykwalifikowanych kadr. Przytaczam tu zestawienia opracowane na podstawie *Roczników statystycznych GUS* oraz *Infor-*

matorów Ministerstwa Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki (potem Ministerstwa Edukacji Narodowej) z lat 1975–98.

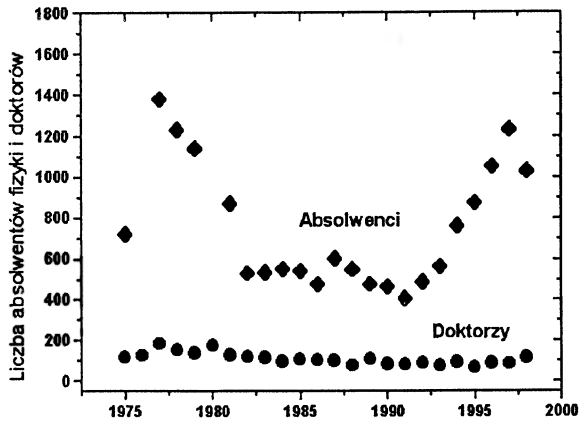
Liczba studentów fizyki, dość wysoka w latach 1970., zaczęła następnie bardzo szybko spadać i osiągnęła minimum w 1987 r., kiedy we wszystkich uczelniach polskich (uniwersytetach, politechnikach, wyższych szkołach pedagogicznych) kształciło się niewiele ponad 3000 studentów. Na szczęście sytuacja uległa radykalnej zmianie i obecnie fizykę studiuje już około 10 000 młodych ludzi (rys. 6). Analogicznym wahaniom podlegała także (rys. 7) liczba absolwentów fizyki (mowa tu łącznie o specjalizacji fizyka i fizyka techniczna).



Rys. 6.

Niepokojąco wygląda natomiast sprawa stopni naukowych. Liczba nadawanych rocznie doktoratów nauk fizycznych osiągnęła maksimum w końcu lat 1970. i od tego czasu wykazuje tendencję spadkową. Obecnie nadawanych jest rocznie dwukrotnie mniej doktoratów niż 20 lat temu. W porównaniu z innymi krajami sytuacja w Polsce jest bardzo zła. Na przykład, w RFN liczba doktoratów z fizyki stale rośnie i obecnie wynosi około 1500 rocznie, co w przeliczeniu na głowę ludności jest liczbą ponadsiedmiokrotnie większą niż w Polsce (rys. 8). Być może znaczny rozrost studiów doktoranckich w ostatnich latach zmieni radykalnie tę sytuację.

Liczba habilitacji w naukach fizycznych wyraźnie wzrosła w początku lat 1990. Należy przypuszczać, że jest to wzrost przejściowy, będący odbiciem maksimum liczby nadanych doktoratów w latach 1975–80. Już jednak daje się zauważyć zmniejszenie liczby habilitacji, wynikające ze zubożenia kadry doktorów (patrz rys. 9).



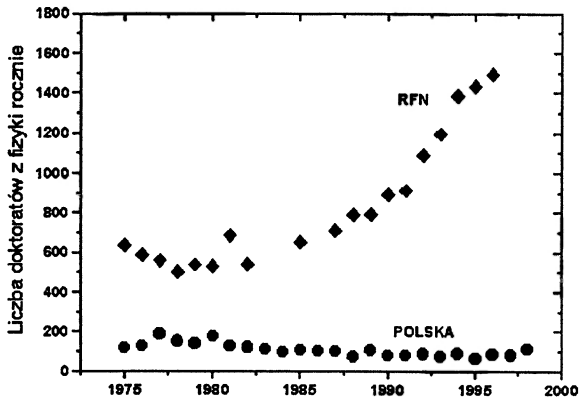
Rys. 7.

W dniu 31 grudnia 1996 r. było w Polsce 421 profesorów tytularnych nauk fizycznych (Informacja z Centralnej Komisji ds. Stopni Naukowych i Tytułu Naukowego). Dane o liczbie przyznanych corocznie tytułów (dawniej profesora nadzwyczajnego, obecnie – profesora) są zestawione w tab. 4. W ostatnich latach obserwuje się zwiększenie liczby nowych profesorów, ale ogólna liczba fizyków z tytułem profesora zmienia się bardzo nieznacznie ze względu na starzenie się kadry. Według niepełnego spisu fizyków polskich [20] około 45% fizyków z tytułem profesora lub stopniem doktora habilitowanego ma obecnie ponad

Tabela 4. Tytuły profesora (prof. nadzwyczajnego) nauk fizycznych

1960	3	1979	7
1961	1	1980	16
1962	9	1981	5
1963	3	1982	11
1964	7	1983	9
1965	3	1984	7
1966	5	1985	4
1967	7	1986	9
1968	1	1987	7
1969	4	1988	17
1970	4	1989	27
1971	17	1990	29
1972	9	1991	21
1973	12	1992	36
1974	13	1993	31
1975	8	1994	22
1976	11	1995	15
1977	16	1996	32
1978	13	1997	28

60 lat. W najbliższych latach czeka nas więc poważna wymiana kadry. Powstaje pytanie, czy będzie w Polsce dostatecznie dużo wykwalifikowanych ludzi, którzy będą chcieli poświęcić się karierze naukowej, aby zastąpić odchodzących fizyków.



Rys. 8.

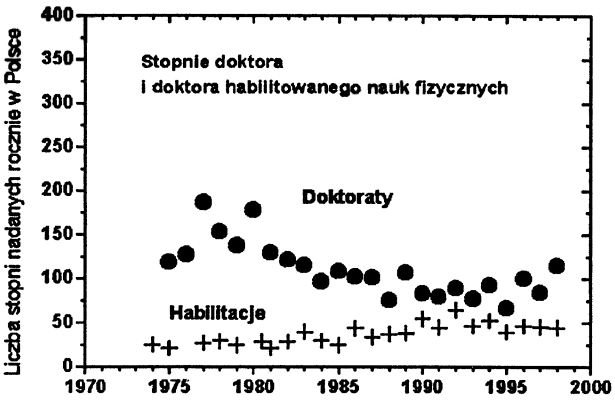
6. Wkład Polaków do fizyki

Na użytek obecnego podsumowania wymyśliłem podział fizyków na cztery grupy.

Do grupy I zaliczam laureatów Nagród Nobla z fizyki.

Do grupy II fizyków, którzy wprawdzie Nagrody Nobla nie otrzymali, ale których osiągnięcia były „na miarę" Nagrody Nobla. Jak wiadomo, Nagroda Nobla jest przyznawana za konkretne osiągnięcie, a nie za tzw. całokształt.

Najtrudniej jest zdefiniować przynależność do grupy III; tu zaliczam fizyków, którzy wnieśli bardzo poważny wkład do rozwoju fizyki i w pewnym okresie należeli do liderów światowej fizyki, oraz fizyków, których nazwiska zostały skojarzone z jakąś teorią, odkryciem, równaniem, wzorem lub wielkością fizyczną. Innym warunkiem zaliczenia do grupy III jest wymienianie nazwisk tych fizyków w syntetycznych obcojęzycznych opracowaniach historycznych[1].



Rys. 9.

Do grupy IV zaliczam pozostałych fizyków.

Jeżeli chodzi o Polskę w XX wieku, to w grupie I nie mieliśmy nikogo. Zwrócę tu uwagę na to, że Maria Skłodowska-Curie, mimo polskiego pochodzenia i związków z krajem, była obywatelką francuską i we wszystkich zestawieniach światowych figuruje jako uczona francuska.

Jeśli chodzi o grupę II, to na pewno można do niej zaliczyć Mariana Smoluchowskiego (1872–1917) [23] oraz Mariana Danysza (1909–1983) [24] i Jerzego Pniewskiego (1913–1989) [25]. Marian Smoluchowski wniósł tak wielki wkład do fizyki statystycznej, że gdyby nie przedwczesna śmierć na pewno byłby murowanym kandydatem do Nagrody Nobla. Z kolei za odkrycie hiperjąder w 1952 r. Marian Danysz i Jerzy Pniewski byli wielokrotnie, niestety bez powodzenia, wysuwani do Nagrody Nobla.

Czwartym uczonym w tej grupie jest Karol Olszewski (1846–1915). Czytelnikom, którzy mogą się dziwić temu wyborowi, warto wyjaśnić, że Olszewski jest wymieniany w słownikach i encyklopediach jako chemik i fizyk oraz był dwukrotnie (1904 i 1913 r.) proponowany do Nagrody Nobla z fizyki [26].

Osiągnięcia na miarę Nagrody Nobla z fizyki miał też na pewno Jan Kazimierz Danysz (1884–1914), syn polskiego emigranta do Francji, biologa Jana Danysza, ojciec Mariana, twórca pierw-

[1] W biograficznym słowniku fizyków Chramowa [21] zostały zamieszczone następujące biogramy polskich uczonych XX wieku: C. Białobrzeski, M. Danysz, J. Groszkowski, L. Infeld, A. Jabłoński, S. Kaliski, S. Loria, M. Mięsowicz, W. Natanson, H. Niewodniczański, K. Olszewski, J. Pniewski, A. Piekara, S. Pieńkowski, W. Rubinowicz, M. Smoluchowski, M. Wolfke. Wymienienie Sylwestra Kaliskiego nastąpiło niewątpliwie ze względów czysto politycznych, natomiast Janusz Groszkowski był elektronikiem i zajmował się technologią próżni. W niedawno wydanej historii fizyki XX wieku [22] wymienieni są Karol Olszewski, Marian Smoluchowski, Wojciech Rubinowicz i Mieczysław Wolfke. Jako ciekawostkę można podać, że Smoluchowski wymieniony jest dwukrotnie, raz jako von Smoluchowski (w tomie 1), a potem jako Smoluchowski (w tomie 3)!

szego spektrometru beta; jego prace z 1913 r. są do dziś cytowane i wspominane w opracowaniach historycznych. Ale Jan Kazimierz Danysz był obywatelem francuskim, zginął na froncie jako żołnierz francuski i w wydawnictwach obcojęzycznych jest zawsze wymieniany jako Jean Danysz. Gdyby nie jego przedwczesna śmierć, może przeniósłby się do Polski i już jako obywatel polski rozwijał spektroskopię beta, dziedzinę, w której przyznano kilka Nagród Nobla.

W grupie III według mnie powinni się znaleźć następujący fizycy: Czesław Białobrzeski (1878–1953) [27], Tadeusz Godlewski (1878–1921) [28], Leopold Infeld (1898–1968) [29], Aleksander Jabłoński (1898–1980) [30], Mieczysław Jeżewski (1890–1971) [31], Marian Mięsowicz (1907–1992) [32], Władysław Natanson (1864–1937) [33], Henryk Niewodniczański (1900–1968) [34], Arkadiusz Piekara (1904–1989) [35], Stefan Pieńkowski (1883–1953) [36], Wojciech Rubinowicz (1889–1974) [37], Andrzej Sołtan (1897–1959) [38], Leonard Sosnowski (1911–1986) [39], Zdzisław Szymański (1927–1999), Ludwik Wertenstein (1887–1945) [40], August Witkowski (1854–1913), Mieczysław Wolfke (1883–1947) [41] i Konstanty Zakrzewski (1876–1948) [42].

Jednym z najczęściej obecnie pamiętanych uczonych z Polski jest Jan Czochralski (1885–1953), profesor Politechniki Warszawskiej, twórca metody wzrostu kryształów [43]. Był on jednak metalurgiem, a nie fizykiem. Gdybym go zaliczył do grupy III, to musiałbym także wymienić w niej innego metalurga, Witolda Broniewskiego (1880–1939), także profesora Politechniki Warszawskiej. Broniewski uzyskał doktorat z fizyki na Sorbonie, zajmował się fizyką metali i stopów i był w latach międzywojennych tak znany, że jako jedyny Polak został zaproszony do udziału w sławnych zjazdach najwybitniejszych uczonych świata, jakimi były Kongresy Solvaya (uczestniczył w IV Kongresie w Brukseli w 1924 r.) [44].

Rozważałem ponadto zaliczenie do grupy III Czesława Reczyńskiego (1878–1936) [45] i Stanisława Kielicha (1925–1993) [46].

Podsumowanie wkładu Polaków do fizyki w XX wieku nie wygląda więc zbyt imponująco.

7. Kilka uwag o przyszłości

Cała nauka w Polsce przeżywa obecnie kryzys związany ze zmniejszającym się finansowaniem badań i starzeniem się kadry. Przetrwanie fizyki w Polsce na niezłym poziomie jest jednak możliwe przy spełnieniu kilku warunków.

Po pierwsze, skoro dostępne środki na badania są ograniczone, powinno się je rozdzielać tak, aby najmniejszy uszczerbek poniosły ośrodki najlepsze. Powinniśmy uzgodnić między sobą, że decydujemy się na ochronę tych centrów doskonałości. Ich liczba, przy rozsądnej gospodarce środkami, może nawet wzrastać.

Po drugie, powinniśmy podtrzymywać i rozwijać współpracę międzynarodową. To dzięki niej przecież fizyka w Polsce utrzymała w latach powojennych dość wysoki poziom. Ewolucja fizyki narzuca obecnie jeszcze inny powód: otóż coraz częściej do badań potrzebne są wielkie i drogie urządzenia, na których kupno lub budowę nie stać nie tylko Polski, ale także wielu innych państw. Rozwiązaniem jest właśnie współpraca międzynarodowa, tworzenie międzynarodowych ośrodków, w których można prowadzić badania gdzie indziej niedostępne.

Po trzecie, powinniśmy skupić wysiłki w celu jak najszybszej odnowy najwyżej wykwalifikowanej kadry fizyków. Zadaniem na najbliższe lata jest znaczny wzrost liczby doktoratów z fizyki.

Last but not least, powinniśmy dbać o jedność naszego środowiska. Wszelkie swary i kłótnie, czy to między poszczególnymi specjalnościami, czy między instytutami uczelnianymi i pozauczelnianymi, tylko osłabiają nas w stosunku do przedstawicieli innych dziedzin. Obecna niepokojąca sytuacja jest dostrzegana przez innych. Jak zauważył Kazimierz Grotowski [47]: „Można wyczuć objawy dezintegracji środowiska naukowego fizyków, wyrażające się współzawodnictwem różnych działów fizyki. W sytuacji kryzysowej nie jest to pomyślny objaw. Powinniśmy pamiętać, że fizyka jest jedną nauką".

W utrzymywaniu jedności naszego środowiska ważną rolę może odegrać przede wszystkim Polskie Towarzystwo Fizyczne oraz Komitet Fizyki PAN, skupiający przedstawicieli wszystkich ośrodków i działów fizyki.

Literatura

[1] *Adressbuch der lebenden Physiker, Mathematiker und Astronomen*, zusammengestellt von Friedrich Strobel (Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1905).

[2] *Szkoły Wyższe Rzeczypospolitej Polskiej* (Wyd. Kasy im. Mianowskiego, Warszawa 1930).

[3] *Skład Uniwersytetu i Spis Wykładów na rok akademicki 1930–1931* (Warszawa 1930).

[4] J. Hurwic, „Pracownia Radiologiczna im. Mirosława Kernbauma przy Towarzystwie Naukowym Warszawskim. W 40 rocznicę śmierci Ludwika Wertensteina", *Postępy Fizyki* **37**, 151 (1986).

[5] A.K. Wróblewski, „Kartki z historii fizyki w Polsce w okresie międzywojennym", referat na XXXIII Zjeździe Fizyków Polskich we Wrocławiu (1995).

[6] B. Średniawa, „Szkic historii fizyki polskiej w okresie międzywojennym 1918–1939", w: *Studia poświęcone Marii Skłodowskiej-Curie i Marianowi Smoluchowskiemu*, red. A. Teske (Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków 1968).

[7] A.K. Wróblewski, „Zarys dziejów uniwersyteckiego ośrodka fizyki na Hożej", w: *75 lat fizyki na Hożej*, red. M. Kicińska-Habior, A.K. Wróblewski (Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1996).

[8] W. Zych, „100 lat fizyki na Politechnice Warszawskiej", w: *100 lat fizyki na Politechnice Warszawskiej*, red. W. Bogusz, S. Ćwiok, J. Jasiński (Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999).

[9] A. Hrynkiewicz, „Fizyka w Uniwersytecie Wileńskim – w czterechsetną rocznicę założenia tego Uniwersytetu", *Postępy Fizyki* **31**, 65 (1980).

[10] J. Jóźwiak, F. Kaczmarek, „Fizyka i astronomia", w: *Matematyka, fizyka i chemia na Uniwersytecie Poznańskim. Studia i prace z dziejów Uniwersytetu*, nr 9 (Wydawnictwo UAM, Poznań 1971).

[11] T. Piech, „Zarys historii katedr fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego", w: *Studia z dziejów Katedr Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego*, red. S. Gołąb (Wydawnictwo UJ, Kraków 1964).

[12] K. Zakrzewski, „After six years of war", *Acta Phys. Pol.* **9**, 1 (1947).

[13] L. Sosnowski, „Fizyka polska w okresie międzywojennym i stan jej odbudowy w latach 1945–1950", *Postępy Fizyki* **2**, 79 (1951).

[14] S. Szczeniowski, H. Niewodniczański, „Fizyka polska w pierwszym dziesięcioleciu Polski Ludowej", *Postępy Fizyki* **6**, 3 (1955).

[15] L.J. Anthony, H. East, M.J. Slater, „The growth of the literature of physics", *Rep. Prog. Phys.* **32**, 709 (1969).

[16] R. Gilpin, *France in the age of the scientific state* (Princeton University Press, Princeton 1968), s. 33.

[17] *Fizyka polska u progu trzeciego tysiąclecia*, red. J. Szudy (Wydawnictwo UMK, Toruń 1998).

[18] A.K. Wróblewski, „Stan obecny i perspektywy rozwoju fizyki w Polsce", [17], s. 21.

[19] A. Hrynkiewicz, „Wprowadzenie do dyskusji", [17], s. 15.

[20] *Who is who in Physics. Poland 1997*, red. J. Stankowski, J. Malecki, A. Wójtowicz (Committee of Physics, Polish Academy of Sciences, Warszawa 1996).

[21] Yu. Chramov, *Fiziki. Biograficzeskij słowar* (Nauka, Moskwa 1983).

[22] *Twentieth Century Physics*, red. L.M. Brown, A. Pais, B. Pippard (Institute of Physics Publishing, Boston and Philadelphia, and American Institute of Physics Press, New York 1995).

[23] A. Teske, *Marian Smoluchowski, życie i twórczość* (PWN, Warszawa 1955).

[24] J.A. Zakrzewski, „Wspomnienie o Marianie Danyszu", *Postępy Fizyki* **38**, 59 (1987).

[25] J.A. Zakrzewski, „Wspomnienie o Jerzym Pniewskim", *Postępy Fizyki* **43**, 279 (1992).

[26] E. Crawford, J.L. Heilbron, R. Ulrich, *The Nobel population 1901–1937* (Berkeley-Uppsala 1987).

[27] J. Hurwic, „Czesław Białobrzeski (1878–1953)", *Postępy Fizyki* **38**, 225 (1987).

[28] L. Wertenstein, „Tadeusz Godlewski", *Sprawozdania i Prace Polskiego Towarzystwa Fizycznego* **I**, 1 (1923).

[29] A. Trautman, „Wspomnienie o Leopoldzie Infeldzie", *Postępy Fizyki* **19**, 147 (1968); J. Werle, „Wspomnienie o Leopoldzie Infeldzie", *Postępy Fizyki* **29**, 367 (1978).

[30] T. Skaliński, J. Szudy, „Aleksander Jabłoński (1898–1980)", *Postępy Fizyki* **33**, 61 (1982).

[31] J. Kalisz, „Profesor dr Mieczysław Jeżewski", *Postępy Fizyki* **23**, 221 (1972).

[32] A. Oleś, „Marian Mięsowicz – członek honorowy PTF", *Postępy Fizyki* **39**, 141 (1988).

[33] J. Weyssenhoff, „Władysław Natanson", *Acta Phys. Pol.* **6**, 289 (1937); J. Weyssenhoff, „Działalność naukowa profesora W. Natansona", *Postępy Fizyki* **9**, 120 (1958).

[34] A. Jabłoński, „Henryk Niewodniczański jako optyk atomowy", *Postępy Fizyki* **20**, 129 (1969); A. Hrynkiewicz, „Henryk Niewodniczański jako fizyk jądrowy", *Postępy Fizyki* **20**, 135 (1969).

[35] W. Nawrocik, „Arkadiusz Henryk Piekara 1904–1989", *Postępy Fizyki* **41**, 375 (1990).

[36] W. Kapuściński, „Stefan Pieńkowski 28.VII.1883–20.XI.1953", *Postępy Fizyki* **14**, 615 (1963); T. Skaliński, „Stefan Pieńkowski, uczony i organizator badań", *Postępy Fizyki* **20**, 643 (1969); L. Sosnowski, „W stulecie urodzin Stefana Pieńkowskiego", *Postępy Fizyki* **35**, 161 (1984).

[37] J. Dąbrowski, „Wojciech Rubinowicz 1889–1974", *Acta Phys. Pol. A* **46**, 649 (1974).

[38] H. Niewodniczański, „Andrzej Sołtan (1897–1959)", *Postępy Fizyki* **11**, 3 (1960); Z. Wilhelmi, „Życie i dzieło Andrzeja Sołtana w dwudziestą rocznicę śmierci", *Postępy Fizyki* **31**, 379 (1980).

[39] J. Langer, J. Baranowski, „Leonard Sosnowski (1911–1986)", *Postępy Fizyki* **38**, 187 (1987).

[40] J. Rotblat, „Ludwik Wertenstein", *Postępy Fizyki* **16**, 633 (1965); W. Billig, „W dwudziestą rocznicę śmierci Ludwika Wertensteina", *Postępy Fizyki* **16**,

627 (1965); M. Danysz, „Wspomnienie o Ludwiku Wertensteinie", *Postępy Fizyki* **16**, 631 (1965).

[41] M. Suffczyński, „Mieczysław Wolfke (w 25 rocznicę śmierci)", *Postępy Fizyki* **23**, 599 (1972); K. Wolfke, „Wspomnienie o Ojcu, Mieczysławie Wolfke", *Postępy Fizyki* **31**, 551 (1980).

[42] T. Piech, „W 10 rocznicę śmierci profesora Konstantego Zakrzewskiego", *Postępy Fizyki* **9**, 371 (1958).

[43] P. Tomaszewski, „70 lat metody Czochralskiego hodowli kryształów", *Postępy Fizyki* **38**, 547 (1987).

[44] J. Mehra, *The Solvay Conferences on Physics* (D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Boston 1975).

[45] Z. Klemensiewicz, „Czesław Reczyński", *Acta Phys. Pol.* **6**, 1 (1937); J. Nikliborc, „Wspomnienie o Czesławie Reczyńskim w 50-lecie wynalezienia lampy kwarcowej", *Postępy Fizyki* **9**, 137 (1958).

[46] R. Tanaś, „Stanisław Kielich (1925–1993)", *Postępy Fizyki* **45**, 202 (1994).

[47] K. Grotowski, „Głos w dyskusji na temat stanu i przyszłości fizyki polskiej", [17], s. 96.

Pochodzenie promieni kosmicznych*

A.D. Erlykin [a,b], **A.W. Wolfendale** [b]

[a] *Instytut Fizyki im. P.N. Lebiediewa, Moskwa, Rosja*

[b] *Physics Department, University of Durham, Durham, Wielka Brytania*

1. Wstęp

Promienie kosmiczne odkrył Victor Hess w 1912 roku. Dzisiaj, w 87 lat później, można powiedzieć, że pochodzenie całego promieniowania, za wyjątkiem jego najmniej energetycznej części, lub, bardziej precyzyjnie, sposób i miejsce, w którym cząstki są przyspieszane, nadal w znacznej mierze pozostaje w sferze spekulacji. Celem niniejszej pracy jest próba przygotowania gruntu do dyskusji poprzez krótki opis astrofizycznych aspektów promieni kosmicznych – rodzaju cząstek, energii itp., oraz – po dokonaniu przeglądu możliwych źródeł promieniowania – przedstawienie własnych przewidywań autorów.

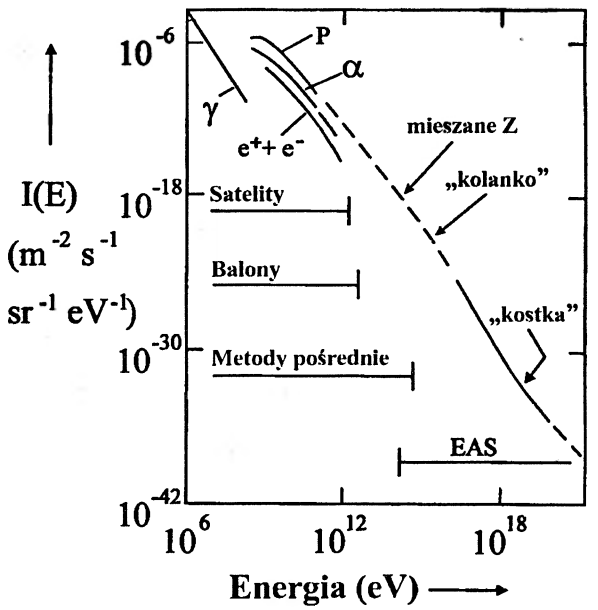
Na samym początku należy stwierdzić, że promieniowanie kosmiczne nie jest drobnym zjawiskiem w skali kosmicznej; gęstość energii w pierwotnym promieniowaniu powyżej ziemskiej atmosfery jest mniej więcej taka sama jak gęstość energii w świetle słonecznym (oraz, jak zobaczymy, w innych procesach astronomicznych). Na raczej ograniczonym poziomie oddziaływania z ludzkimi organizmami można zauważyć, że w ciągu sekundy mniej więcej pięć wtórnych promieni (najczęściej mionów) przelatuje przez głowę każdego z nas. Naprawdę chcielibyśmy wiedzieć, skąd te cząstki pochodzą.

2. Własności pierwotnych promieni kosmicznych

2.1. Widmo energii i skład masowy

Chociaż pochodzenie promieni kosmicznych jest niejasne, ich własności są dość dobrze znane; rozpoczniemy od ich opisu.

Widma energetyczne głównych składników promieniowania kosmicznego są przedstawione na rys. 1. Nie jest zaskoczeniem, że wśród jąder atomowych dominującą rolę odgrywają protony i jądra helu, wykryto też wiele innych jąder, dających mniejsze natężenie (o tym później). Kształt widma energetycznego zawiera informację o spo-



Rys. 1. Widma energetyczne głównych składników promieniowania kosmicznego. Skład masowy w częściach oznaczonych linią przerywaną jest niepewny. Od 10^{17} eV do 3×10^{18} eV powszechnie występują jądra żelaza pochodzenia galaktycznego, przy jeszcze wyższych energiach zaczynają dominować cząstki pozagalaktyczne. Wśród cząstek pozagalaktycznych silna jest prawdopodobnie składowa protonowa, chociaż mogą występować również cięższe jądra [1]. Na rysunku zaznaczono metody badawcze (EAS – obserwacje dużych pęków atmosferycznych).

*Artykuł, opublikowany w *European Journal of Physics* **20**, 409 (1999), Internet: www.iop.org/Journals/ej, został przetłumaczony za zgodą Autorów i Wydawcy [Translated with permission. Copyright ©1999 by IOP Publishing Ltd.]. Jego treść była podstawą wykładu zjazdowego prof. Wolfendale'a (przyp. Red.).

sobie tworzenia cząstek i ich rozchodzeniu się. Zaczynając od najniższych energii, widzimy „zakrzywienie" poniżej 10^{10} eV/nukleon, związane z modulacyjnym wpływem wiatru słonecznego; natężenie w tej części widma jest czułe na stan aktywności słonecznej. Przy wyższych energiach mamy dowody wskazujące na zależność potęgową ze stałym wykładnikiem ($N(E)\mathrm{d}E \propto E^{-\gamma}\mathrm{d}E$, gdzie $\gamma \approx 2{,}65$) aż do energii ok. 10^{15} eV/nukleon, powyżej której γ wzrasta do ok. 3,15. W końcu mamy nieźle udokumentowane, znaczące spłaszczenie widma powyżej ok. 10^{19} eV.

Skład masowy jest znany dość dobrze poniżej kilkudziesięciu GeV/nukleon oraz, z mniejszą dokładnością, do ok. 1 TeV. Na rysunku 2 przedstawiono porównanie rozpowszechnienia pierwiastków w promieniowaniu kosmicznym z rozpowszechnieniem dla „Układu Słonecznego" czy też „uniwersalnym". Można dostrzec znaczne podobieństwa, zwłaszcza gdy weźmie się pod uwagę, że duży nadmiar po stronie promieniowania kosmicznego w obszarze Li, Be, B i Sc, Ti i V (oraz w kilku innych miejscach) może być łatwo wyjaśniony jako skutek rozpadu pobliskich, cięższych jąder podczas przejścia przez ośrodek międzygwiazdowy (patrz p. 2.2). Występuje jednak dziwny, trudny do zrozumienia niedobór H i He.

Jeśli chodzi o elektrony, rejestruje się zarówno cząstki, jak i antycząstki; w rzeczywistości obserwowano także antyprotony, wytworzone w oddziaływaniach promieniowania kosmicznego z ośrodkiem międzygwiazdowym.

Promieniowanie gamma zarejestrowano zarówno w formie ogólnego kontinuum, jak i w postaci strumieni z poszczególnych, dyskretnych źródeł. Warto przypomnieć, że początkowo przyjmowano, iż „promieniowanie" jest utworzone z jakiejś formy ultra-promieniowania γ (stąd nazwa promieniowanie kosmiczne), chociaż w rzeczywistości w obszarze do kilku GeV (gdzie skupiona jest większa część energii) stosunek natężenia γ do natężenia cząstek wynosi zaledwie ok. 10^{-6}. Pomimo niewielkiego natężenia, promieniowanie γ może nam wiele powiedzieć na temat „problemu źródeł".

2.2. Zasięg przestrzenny promieni kosmicznych: oddziaływanie z ośrodkiem międzygwiazdowym

Pytanie o oddziaływania promieni kosmicznych z ośrodkiem międzygwiazdowym i ich wpływ na własności rejestrowanych cząstek można sprowadzić do podstawowego problemu: czy promienie kosmiczne są lokalnym zjawiskiem wewnątrz Galaktyki?

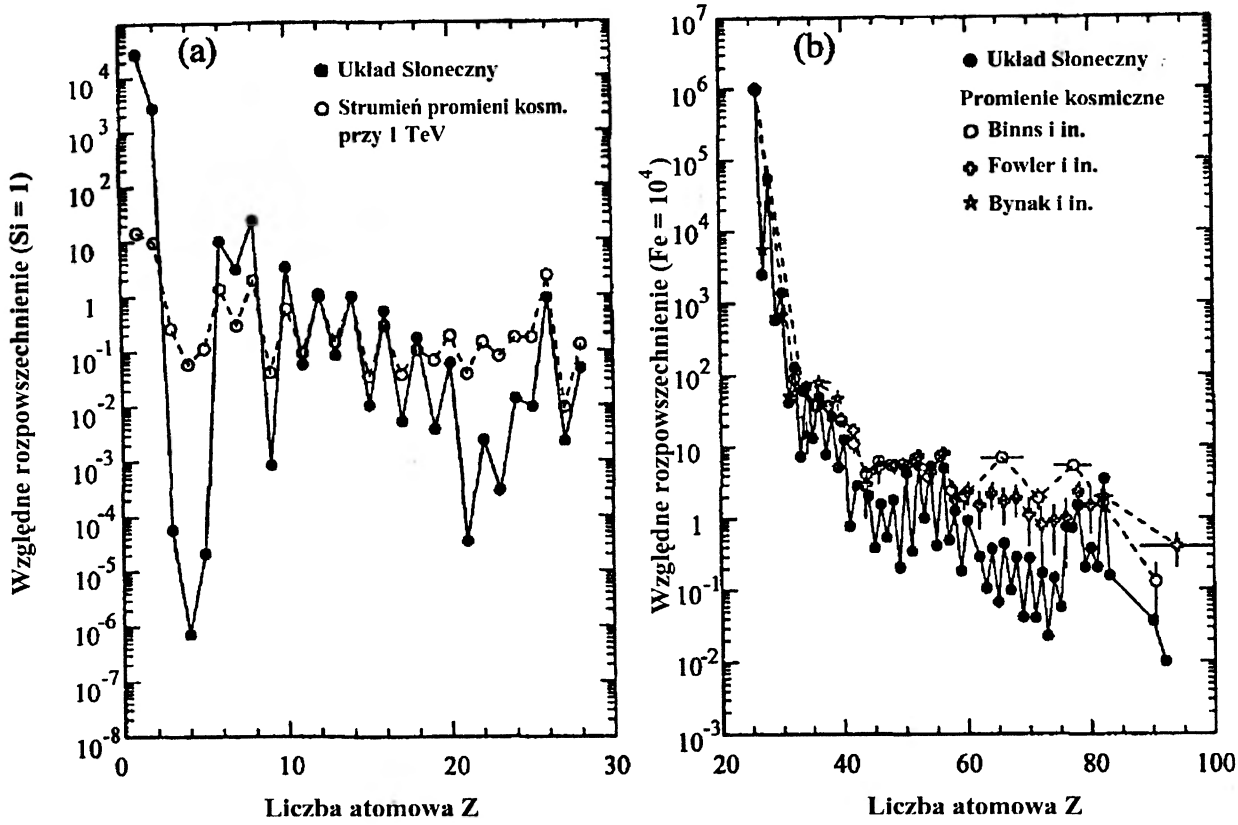
W wypadku składowej elektronowej natychmiastowa odpowiedź brzmi: nie, ponieważ dominuje rozkład radiowego kontinuum, prawie na pewno związanego z promieniowaniem synchrotronowym kosmicznych elektronów poruszających się spiralnie w polu magnetycznym Galaktyki. W rzeczy samej, obserwacje radiowe wskazują na wytwarzanie elektronów w poszczególnych źródłach w różnych częściach Galaktyki; zaobserwowano oczywiście emisję także z innych galaktyk.

Sytuacja z dominującą składową jądrową (p, α, ...) jest bardziej złożona, a odpowiedź na postawione pytanie ściśle wiąże się z ogólnym problemem źródeł promieniowania. Uczynimy w tym miejscu kilka wstępnych uwag. Skalę odległości w Galaktyce z punktu widzenia promieniowania kosmicznego określa promień Larmora (ρ [cm] = pc [eV]/(300 H [G] Z)), a ponieważ typowe pole w ośrodku międzygwiazdowym wynosi ok. 3 μG, więc $\rho \approx p$ [10^{15} eV/c]/3Z parseków (1 parsek (pc) = 3×10^{18} cm $\approx$ 3 lata świetlne). Obserwacje cząstek o pędach sięgających 10^{20} eV/c wskazują, że przynajmniej te cząstki mogą być rozłożone w dużym obszarze ($\rho \sim 1$ kpc, nawet przy $Z \gg 1$) i wypełniać Galaktykę. Tę argumentację można rozciągnąć na niższe energie, być może do ok. 10^{16} eV, jednak w ważnym obszarze 10^9–10^{10} eV, gdzie $\rho \sim 10^{-6}$ pc (dla protonów), przestaje ona oczywiście obowiązywać i mogłoby się okazać, że cząstki te są tworzone lokalnie. Można jednak wymienić szereg argumentów na rzecz przeciwnego punktu widzenia:

1) Promieniowanie w długich okresach jest niemal stałe (np. zmiana o mniej niż ok. 2 w czasie 10^9 lat, w którym Układ Słoneczny pokonał mniej więcej czwartą część orbity wokół Galaktyki względem ogólnej populacji gwiazdowej).

2) Niewykluczone, że źródła jąder mają podobny rozkład co źródła elektronów, nawet jeśli same źródła nie są identyczne.

3) Wiele cech promieniowania można wyjaśnić za pomocą oddziaływania jąder promieniowania kosmicznego z jądrami ośrodka międzygwiazdowego podczas długich ($\sim 10^7$ lat) przelotów przez rozrzedzony gaz.



Rys. 2. Rozpowszechnienie pierwiastków w promieniowaniu kosmicznym (otwarte kółka) porównane z rozpowszechnieniem w Układzie Słonecznym (punkty połączone ciągłymi liniami) [2]. (a) Promienie kosmiczne przy 1 TeV: wyniki przy niższych energiach są zbliżone, chociaż dokładniejsze; poniżej 1 GeV mamy dużo informacji o izotopach. (b) Promienie kosmiczne powyżej 1,5 GeV na nukleon dla $Z \geqslant 26$. Zauważalny nadmiar w niektórych przypadkach po stronie promieniowania kosmicznego można wyjaśnić jako efekt rozpadu cięższych jąder podczas zderzeń z jądrami gazu w ośrodku międzygwiazdowym.

3. Pochodzenie cząstek niskoenergetycznych

3.1. Galaktyczne czy pozagalaktyczne?

Zjawisko, o którym wspomnieliśmy pod koniec poprzedniego rozdziału – oddziaływanie promieni kosmicznych z gazem w ośrodku międzygwiazdowym, doprowadziło do wyjaśnienia pochodzenia najmniej energetycznej części promieniowania ($E < 10^{10}$ eV), a przynajmniej do rozróżnienia między cząstkami pochodzenia galaktycznego i pozagalaktycznego.

Co do hipotezy pozagalaktycznej, to chociaż wymagania energetyczne są duże, nie ma zasadniczo przeszkód, aby protony promieniowania kosmicznego wypełniały Wszechświat w miarę jednorodnie. Nie można tego powiedzieć o pozagalaktycznych elektronach, które ulegają absorpcji w odwrotnych oddziaływaniach komptonowskich z mikrofalowym promieniowaniem tła.

Grupa z Durham stwierdziła istnienie radialnego gradientu protonów promieniowania kosmicznego w Galaktyce (zanik natężenia przy wzroście odległości od centrum Galaktyki) za pomocą „techniki promieni gamma" [3]. Istota tej metody polega na podzieleniu natężenia promieniowania gamma zmierzonego w wybranym kierunku przez gęstość kolumnową gazu wzdłuż tej linii. Ponieważ wiele promieni gamma powstaje w wyniku oddziaływania kosmicznych protonów z gazem, wynikiem jest średnie natężenie protonów promieniowania kosmicznego wzdłuż danej linii. Po początkowym okresie sceptycyzmu obecnie wielu badaczy zgadza się z tymi wnioskami (np. [4]).

Inną metodę zaproponował Ginzburg [5]; zmierzała ona do określenia średniego natężenia protonów w Wielkim Obłoku Magellana (LMC) za pomocą techniki gamma i porównania tej wielkości z lokalnym natężeniem promieniowania ko-

smicznego. Równość wskazywałaby na pochodzenie pozagalaktyczne, gdyby natomiast natężenie w LMC było znacznie mniejsze, wnioskowalibyśmy o galaktycznym pochodzeniu lokalnych protonów promieniowania kosmicznego.

Do niedawna nie były dostępne satelitarne dane o wystarczarczającej czułości, jednak dzięki Compton Gamma Ray Observatory (CGRO), a zwłaszcza umieszczonemu na nim detektorowi EGRET ([6] i późniejsze prace), można obecnie przeprowadzić porównanie obu hipotez. Pierwsze opracowanie [7] wskazywało na równe natężenie w Galaktyce i LMC, jednak Chi i Wolfendale [8] znaleźli wyraźną różnicę: natężenie protonów w LMC okazało się dużo mniejsze niż lokalnie. Przyczyna tej niezgodności nie jest w pełni wyjaśniona. Ulgę przynosi fakt, że obie grupy są zgodne w tym, że natężenie promieni kosmicznych w Małym Obłoku Magellana (SMC) jest dużo mniejsze niż lokalnie. Galaktyczne pochodzenie większości promieni jest zatem potwierdzone. Wyniki naszej najnowszej analizy przedstawia rys. 3.

3.2. Natura źródeł

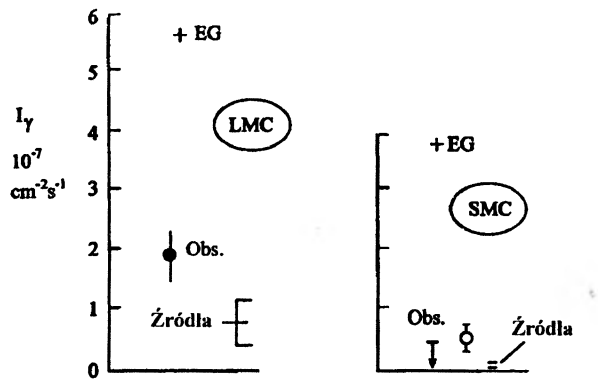
Chociaż przedstawiliśmy już dowody na to, że pozostałości po supernowych są odpowiedzialne za niskoenergetyczne promieniowanie kosmiczne (np. [10,11]), sytuacja nadal nie jest całkiem jasna. Potrzebna jest kolejna generacja detektorów gamma (satelitarnych), które jednoznacznie potwierdziłyby istnienie rozbłysków gamma w otoczkach znanych pozostałości po supernowych.

3.3. Obszar TeV

Chociaż obszar TeV (1 TeV = 10^{12} eV) nie leży tak naprawdę w niskoenergetycznej części widma, jednak pokrótce go tutaj omówimy. Do przełomu w tej dziedzinie doprowadziło użycie detektorów czułych na promieniowanie Czerenkowa, emitowane przez te spośród wtórnych elektronów w górnych warstwach atmosfery, które poruszają się szybciej niż prędkość światła w powietrzu. Technika ta pozwala na określenie źródeł promieni gamma o energiach z obszaru TeV. Do tej pory zidentyfikowano cztery pozostałości po supernowych (SN1006, Vela, Krab i PSR 1706-44 – bez modulacji).

Zanim wysuniemy wniosek, że promienie gamma są wtórne w stosunku do protonów (i innych jąder) przyspieszanych w źródłach, musimy zaznaczyć, że energetyczne elektrony również mogą wytwarzać promienie gamma poprzez promieniowanie synchrotronowe, i wcale nie jest jasne, który mechanizm wchodzi tu w rachubę.

W gruncie rzeczy całą astronomię w dziedzinie gamma obciąża niepewny wkład elektronów, wytwarzających promieniowanie gamma w rozmaitych procesach. W pewnym sensie podobny problem dotyczy promieni kosmicznych w innych galaktykach – wiemy, że nadchodzi z tych galaktyk sygnał radiowy, jednak z pewnością jest on związany z elektronami. Nie ma bezpośrednich danych o jądrach promieniowania kosmicznego w innych galaktykach (w opisanym wcześniej przypadku Obłoków Magellana dysponujemy górnym ograniczeniem na strumień protonów).



Rys. 3. Strumień promieni gamma z Wielkiego Obłoku Magellana (LMC) i Małego Obłoku Magellana (SMC), porównany ze strumieniem oczekiwanym w wypadku, gdyby natężenie cząstek w promieniowaniu kosmicznym było takie samo w obu przypadkach, czyli gdyby promienie kosmiczne były pochodzenia pozagalaktycznego (EG). Wyniki pokazują, że natężenie w Obłokach jest dużo mniejsze niż na Ziemi, a zatem większość rejestrowanego przez nas promieniowania kosmicznego pochodzi ze źródeł w Galaktyce, a nie z Wszechświata. Obserwowano promienie gamma powyżej 100 MeV. Dane pochodzą z Compton Gamma Ray Observatory; analizę przeprowadzili Chi i in. [9]. Wkład od dyskretnych źródeł, oznaczony „Źródła", jest bardzo niepewny.

Wracając do promieni gamma, jedynie w obszarze 10^8–10^9 eV możemy obserwować charakterystyczny sygnał związany z protonami, dający się odróżnić od elektronów (tzw. pik mezonów π). Przy wyższych energiach niejednoznaczność pozostaje.

4. Pochodzenie promieni kosmicznych w obszarze 10^{15}–10^{16} eV

4.1. Problem

Na rysunku 1 widać „kolanko" w pierwotnym widmie energetycznym, które, rzecz jasna, ma nam coś do powiedzenia na temat pochodzenia – lub propagacji – cząstek o tych energiach.

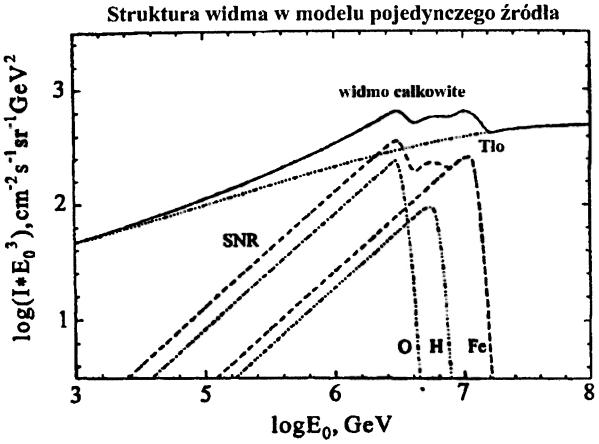
„Kolanko" jest znane od ponad 40 lat, odkąd Kulikov i Khristiansen [12] zauważyli je w rozkładach rozmiarów dużych pęków atmosferycznych (pośredni sposób określenia energii pierwotnej). Większość badaczy uważała, że jest to efekt propagacyjny; wyjaśniano go, przyjmując widmo produkcji cząstek zgodne z prostym prawem potęgowym, w połączeniu z coraz większą utratą cząstek pochodzących z Galaktyki, w miarę jak galaktyczne pole magnetyczne traci własności pułapkujące. My natomiast ([13] i kilka innych prac) zdecydowanie opowiadaliśmy się przeciwko temu stanowisku, na rzecz tezy, że kolanko jest oznaką innej składowej promieniowania kosmicznego, która przebija się przez gładko opadające „widmo tła". Ponieważ niniejsza praca jest poświęcona nie rozwiązanym problemom, musimy uwzględnić to zagadnienie – kierując się wyraźnym (jak dotąd) brakiem akceptacji naszej hipotezy.

4.2. Model pojedynczego źródła Erlykina–Wolfendale'a

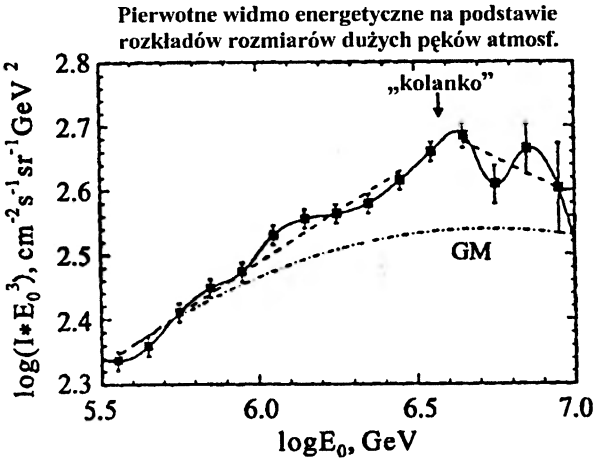
Rysunek 4 pokazuje, w jaki sposób „wyjaśniamy kolanko". Idea polega na tym, że cząstki są przyspieszane przez pobliską, pojedynczą pozostałość po supernowej, a kształt widma tłumaczą charakterystyczne, ostro „wypikowane" (przy sposobie, w jakim je wykreśliliśmy, używając wielkości $E^3I(E)$) widma istotnych pierwiastków: tlenu i żelaza (za samo kolanko w dużej mierze odpowiedzialny jest właśnie tlen).

W tej pięknej teorii, która naszym zdaniem tłumaczy wiele danych dotyczących promieniowania kosmicznego, kryje się pewien problem. Brzmi on: gdzie w rzeczywistości jest ta supernowa? Jest niewielu kandydatów do tej roli, ale jak dotąd zidentyfikowanie właściwego nie było możliwe.

„Dymiący rewolwer" wciąż nie został odkryty. Pomimo to wytrwale analizujemy wszelkie dane na temat promieniowania kosmicznego w tym przedziale energii, gdy tylko staną się publicznie dostępne. Rysunek 5 pochodzi z naszej najnowszej pracy [14]; naszym zdaniem wyraźnie ukazuje on pik powyżej przewidywań tradycyjnego modelu modulacji galaktycznej.



Rys. 4. Widma energetyczne promieniowania kosmicznego od „pojedynczego źródła", zaproponowane przez Erlykina i Wolfendale'a [13]. Uwaga: na osi rzędnych jest logarytm natężenia $I(E)$, pomnożonego przez E^3; w rzeczywistości natężenie opada przy wzroście energii. „SNR" oznacza wkład od pojedynczej pozostałości po supernowej, „Tło" jest wolno zmieniającym się widmem od licznych, nieznanych źródeł.



Rys. 5. Przykład najnowszych danych, potwierdzających model Erlykina i Wolfendale'a [14]. Przedstawione tutaj dane pochodzą z naszej analizy wyników podanych przez Arquerosa i in. [15], opartych na pomiarach promieniowania Czerenkowa w La Palma (detektor HEGRA). „GM" oznacza widmo oczekiwane w oparciu o tradycyjny model (modulacji galaktycznej), w którym pole magnetyczne Galaktyki przestaje efektywnie pułapkować cząstki po osiągnięciu przez nie określonej energii; jest jasne, że to widmo nie zgadza się z obserwacjami.

Jeśli nasz model jest poprawny, to możliwe, że w przyszłości natężenie promieniowania kosmicznego będzie rosło w miarę przybliżania się otoczki supernowej, o ile rzeczywiście jesteśmy po jej zewnętrznej stronie.

5. Promienie kosmiczne o najwyższych energiach

5.1. Problem anizotropii

Gdyby wszystkie promienie kosmiczne docierały ze źródeł w naszej Galaktyce, wówczas anizotropia (czyli niejednorodny rozkład kierunków przychodzących promieni) znacznie przewyższałaby obserwowaną – przynajmniej w obszarze powyżej 10^{19} eV – bez względu na naturę samych cząstek. Wobec tego wydaje się bardzo prawdopodobne, że te cząstki o ultrawysokiej energii, sięgającej 3×10^{20} eV [15], a być może jeszcze dalej, pochodzą ze źródeł pozagalaktycznych. Poważne wątpliwości dotyczą samej natury tych źródeł.

Możemy wyróżnić dwa mechanizmy przyspieszania cząstek: wstępujący lub zstępujący. Pierwszy dotyczy cząstek, które w jakiś sposób zostały przyspieszone od niskich energii – na podobnej zasadzie, jak w obszarze niskoenergetycznym działają pozostałości po supernowych. W modelu zstępującym postuluje się, że jakieś egzotyczne, masywne cząstki ulegają rozpadowi, dając w wyniku cząstki ultraenergetyczne. Po kolei rozważymy obie możliwości, po zbadaniu efektu wszechobecnego tła mikrofalowego, które jest reliktem Wielkiego Wybuchu.

5.2. Mikrofalowe obcięcie

Obecność kosmicznego tła mikrofalowego o temperaturze 2,7 K jest przyczyną bardzo interesującego zjawiska: gdyby promienie kosmiczne o ultrawysokich energiach pochodziły ze Wszechświata, wówczas ich zmierzone natężenie powinno gwałtownie maleć przy energii ok. 6×10^{19} eV, gdzie oddziaływanie protonów z mikrofalowym tłem staje się duże. W rzeczywistości nie ma żadnych dowodów na istnienie tego zaniku; przy tej energii natężenie (rys. 1) maleje wolniej niż by się tego oczekiwało. Wspomniane oddziaływania powodują utratę energii, która może zostać przekształcona na promieniowanie gamma. Zatem rejestrowane w rzeczywistości cząstki o wyższej energii muszą pochodzić ze źródeł odległych o mniej niż kilkadziesiąt Mpc. Podobna sytuacja dotyczy ciężkich jąder, które rozpadają się na zbliżonej odległości.

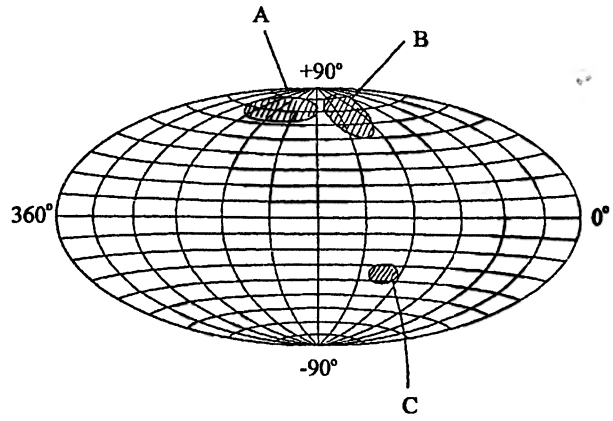
Fakt, że źródła powinny być „lokalne" (jeśli są dyskretne) oznacza, że zasadniczo jest większa szansa na ich wykrycie, co wynika z niewątpliwej obecności pozagalaktycznego pola magnetycznego, które przypadkowo zmienia kierunki bardziej odległych źródeł.

Przedstawimy teraz postępy w poszukiwaniu lokalnych źródeł promieniowania.

5.3. Dowody istnienia konkretnych źródeł pozagalaktycznych: zderzenia galaktyk?

Konsekwencją mechanizmu wstępującego byłoby zapewne umiejscowienie widomych „źródeł" cząstek pozagalaktycznych w dość szczególnych miejscach kosmosu (galaktyki określonych typów itp.).

Poszukiwanie źródeł pozagalaktycznych ma zagmatwaną historię, a najlepszym jej podsumowaniem byłoby zdanie: „dziś tu, jutro tam". Wielu specjalistów w tej dziedzinie nie miałoby zapewne zastrzeżeń wobec rys. 6 [17], gdzie oznaczone są



Rys. 6. Mapa Galaktyki. Linia od długości 0° do 360° odpowiada płaszczyźnie Drogi Mlecznej. Szerokość +90° oznacza północny biegun galaktyczny, szerokość −90° biegun południowy. Części nieba, na których może występować niewielki nadmiar strumieni promieniowania kosmicznego o ultrawysokich energiach, są zacieniowane: A, B i C. Analiza, wykonana przez Al-Dargazellego i in. [17], oparta była na wcześniejszych pracach: [9,18,19] i innych. Wyniki te przybliżają nas najbardziej do określenia regionów ze źródłami ultraenergetycznych promieni kosmicznych. Według zgodnej opinii są one słabo udokumentowane.

te części nieba, z których, jak się wydaje, dociera nieco więcej promieni niż by to wynikało

z czysto jednorodnego, czyli izotropowego rozkładu. Pamiętamy, że przy tych energiach (ponad 10^{19} eV) zmiany kierunku wewnątrz Galaktyki i w przestrzeni pozagalaktycznej do odległości 20 Mpc, czyli ok. 0,4% „promienia" Wszechświata, powinny być niewielkie.

Gdy już rozpoznaliśmy (być może) kierunki do domniemanych źródeł, stajemy przed pytaniem – czym są te źródła? W dopuszczalnych granicach błędu leży wiele galaktyk, dlatego powinniśmy być konkretni i szukać możliwych do wyobrażenia, choć rzadkich obiektów. Do odległości 20 Mpc najlepszym, co możemy wymyślić, są „zderzające się galaktyki". Do 10 Mpc jest dziewięć takich par galaktyk, z czego trzy leżą w obszarach A, B i C (po jednej w każdym z obszarów). W zakresie 10–20 Mpc znaleziono 10 kolejnych, z których pięć leży w obszarach A lub B. Statystycznie rzecz biorąc, wygląda to znakomicie.

Jest jednak pewien problem: „na czym polega mechanizm?" Możliwe, że związane z galaktykami pole magnetyczne działa podczas zderzeń „aż do skutku". W szczególności, wchodzi tu w rachubę tzw. proces rekoneksji (reconnection), występujący zapewne na Słońcu, oczywiście przy znacznie niższych energiach. Kłopot w tym, jaka jest prawdopodobna wielkość pola magnetycznego i rozmiary układu, przy których pole jest spójne. Za pomocą równania podanego w p. 2.2: $\rho = p\,[10^{15}\ \mathrm{eV}/c]/3Z$ parseków, otrzymujemy, że $p\,[10^{20}\ \mathrm{eV}/c] = 0{,}3\,Z\rho$ [Mpc]. Równanie to jest zapisane dla 3 μG. Gdy pole wynosi 0,3 μG (wielkość bardziej prawdopodobna), to po zamianie pędu na energię mamy $E\ [10^{20}\ \mathrm{eV}] = 3\,Z\rho$ [Mpc]. Dla największego wchodzącego w grę ładunku, żelaza, $Z = 26$, przy $\rho = 10$ kpc (czyli ρ [Mpc] = 0,01) wartość E (w jednostkach 10^{20} eV) jest równa jedności. Oznacza to, że cząstka o takiej energii miałaby promień krzywizny równy 10 kpc, co jest przypuszczalnie największą odległością, na jakiej pole magnetyczne może być spójne. Mechanizm przyspieszający mógłby przypuszczalnie osiągnąć taką energię, chociaż wydaje się to wątpliwe (zauważmy, że w wypadku przyspieszania przez pozostałości po supernowych maksymalna energia jest wyraźnie mniejsza niż można oszacować za pomocą prostej teorii tego typu).

Mimo tych wszystkich uwag, pomysł ze zderzającymi się galaktykami jest najlepszym, jaki możemy zaproponować.

Inni badacze wysuwali hipotezę, że za największe energie odpowiedzialne są „aktywne jądra galaktyk" (np. [2]), jednak również w tym przypadku jakościowe oszacowanie spodziewanej energii cząstek jest trudne. Co więcej, „w okolicy" jest tak wiele aktywnych jąder galaktyk, że wykrycie prawdziwych koincydencji byłoby kłopotliwe. W rozpatrywanym obszarze (do kilkudziesięciu Mpc) nie ma narzucających się, superenergetycznych obiektów. Poszukiwania trwają.

5.4. Mechanizm zstępujący

5.4.1. Struny kosmiczne

Zaproponowano kilka egzotycznych mechanizmów, które w zasadzie mogłyby być odpowiedzialne za promienie kosmiczne o ultrawysokich energiach. Najpierw omówimy „struny kosmiczne". Topologiczne defekty struktury Wszechświata mogą istnieć i przejawiać się jako struny kosmiczne, na co zwrócił uwagę Vilenkin [20] i inni.

Bhattarjee i Rana [21] i inni wysunęli hipotezę, że struny zawierają niezwykle zagęszczone obszary „cząstek X" o masach $\sim 10^{15}$ GeV (skala energii odpowiadająca Teorii Wielkiej Unifikacji). Cząstki X mogą zostać „wytrząśnięte", gdy struny się przecinają lub zapadają.

Cząstki X, które uprzednio były stabilne w studni potencjału związanej z ich ogromną gęstością masy ($\sim 10^{22}$ g cm^{-1}), mogą wówczas rozpaść się na szereg cząstek, w tym na protony. Możliwe, że będą miały odpowiednie widmo energetyczne, a maksymalna energia protonów z pewnością będzie wystarczająco duża, żeby wytłumaczyć obserwacje.

Jest jednak pewien problem, związany ze schematem rozpadu cząstek X. Wydaje się, że podczas rozpadu w znacznych ilościach powinny być produkowane promienie gamma, w szczególności stosunek liczby promieni gamma do protonów wynosiłby ok. 30 (patrz [22]). Promienie gamma powinny rozprzestrzenić się po Wszechświecie i dać się zarejestrować; w rzeczywistości jest inaczej. Możemy uniknąć tej trudności zakładając, że ultraenergetyczne promienie kosmiczne nie są protonami (lub jądrami), lecz właśnie promieniami gamma! Możliwość taka, chociaż nie jest wykluczona, wydaje się bardzo mało prawdopodobna.

5.4.2. Ciemna materia: „kryptony"

W astronomii jest regułą, że gdy wszystko inne zawodzi, przywołuje się czarne dziury lub ciemną materię – albo jedno i drugie! Nie inaczej jest w tym przypadku. Zaproponowano, że „ciemna materia" otaczająca Galaktykę zawiera „kryptony" [23,24]. Przypuszcza się, że kryptony mają masę $\sim 10^{12}$ GeV i czas życia $\geqslant 10^{16}$ lat (czyli więcej niż „wiek" Wszechświata). One również mogą rozpadać się na protony i tłumaczyć, przynajmniej w zasadzie, istnienie ultraenergetycznych promieni kosmicznych.

Tę piękną ideę wciąż podzielają niektórzy badacze, autorzy niniejszej pracy nie są jednak do niej przekonani. Problem dotyczy oczekiwanej anizotropii promieniowania. Gdyby halo było odpowiednio duże – wielokrotnie większe od „promienia" Galaktyki – przewidywana anizotropia byłaby mała i do przyjęcia, jednak wydaje się, że jest inaczej. W związku z tym Benson i in. [25] wysnuli wniosek, że nawet przy energii 10^{20} eV mechanizm ten może dawać jedynie 10% ultraenergetycznych promieni kosmicznych.

6. Wnioski

Z przedstawionej tu dyskusji wynika, że nasza znajomość pochodzenia promieni kosmicznych jest zaskakująco słaba.

Promienie kosmiczne odkryto w 1912 r. i od tego czasu intensywnie je badano, jednak umiarkowane powodzenie odnieśliśmy tylko do ok. 10^{16} eV, czyli brakuje siedmiu rzędów wielkości do osiągnięcia wszystkich 12 (przyjmowany obecnie zakres „promieni kosmicznych" wynosi 10^9–10^{21} eV). Nawet w obszarze poniżej 10^{16} eV dowody są rzeczywiście niepodważalne jedynie do ok. 10^{11} eV. My (autorzy) jesteśmy raczej pewni aż do 10^{16} eV, ale większość innych badaczy nie jest! Jednak wszyscy są zgodni, że model pozostałości po supernowych sam w sobie jest niezły w tym zakresie energii, brakuje jedynie jego mocnego potwierdzenia.

Poważne kłopoty zaczynają się powyżej 10^{16} eV. Można powiedzieć, że gdyby nie odkryto żadnych cząstek o takich energiach, nikt by się ich nie spodziewał!

Większość badaczy zgadza się, że źródła galaktyczne jakiegoś rodzaju – wiele z nich produkuje jądra żelaza – dominują do nieco ponad 10^{18} eV.

Powyżej 10^{19} eV większą część stanowią niemal na pewno cząstki pozagalaktyczne. Jakie są ich źródła i w jaki sposób cząstki są w nich przyspieszane, tego po prostu nie wiemy.

Tłumaczył *Maciej Piętka*
Instytut Fizyki UwB
Białystok

Literatura

[1] T. Wibig, A.W. Wolfendale, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **25**, 1099 (1999).
[2] B. Wiebel-Sooth, P.L. Biermann, *Astronomy and Astrophysics – ISM, Galaxy, Universe*, Landolt-Börnstein, Group VI, t. 3, sub-vol C (Springer, Berlin 1999), s. 37.
[3] D. Dodds, A.W. Strong, A.W. Wolfendale, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **171**, 569 (1975).
[4] A.W. Strong, J.R. Mattox, *Astron. Astrophys.* **308**, L21 (1996).
[5] V.L. Ginzburg, *Nature (Phys. Sci. Suppl.)* **239**, 8 (1972).
[6] C.E. Fichtel, NASA Technical Memo No. 83957 (1982).
[7] P. Sreekumar i in., *Astrophys. J.* **400**, L67 (1992).
[8] X. Chi, A.W. Wolfendale, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **19**, 795 (1993).
[9] X. Chi i in., *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **18**, 539 (1992).
[10] C.L. Bhat i in., *Nature* **314**, 515 (1985).
[11] J.L. Osborne, A.W. Wolfendale, L. Zhang, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **21**, 429 (1995).
[12] G.V. Kulikov, G.B. Khristiansen, *Sov. Phys. JETP* **35**, 635 (1958).
[13] A.D. Erlykin, A.W. Wolfendale, *Astropart. Phys.* **8**, 265 (1998).
[14] A.D. Erlykin, A.W. Wolfendale, *Astron. Astrophys.*, w druku (1999).
[15] F. Arqueros i in., *Astron. Astrophys.*, w druku (1999).
[16] D.J. Bird i in., Preprint *Astrophys. J.* **441**, 144 (1995).
[17] S.S. Al-Dargazelli i in., *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **22**, 1825 (1996).
[18] T. Stanev i in., *Phys. Rev. Lett.* **75**, 3056 (1995).
[19] N. Hayashida i in., *Phys. Rev.* **77**, 1000 (1996).
[20] A. Vilenkin, *Phys. Rep.* **121**, 263 (1985).
[21] P. Bhattacharjee, N.C. Rana, *Phys. Lett. B* **246**, 365 (1990).
[22] X. Chi i in., *Astropart. Phys.* **1**, 239 (1993).
[23] V. Berezinsky, B. Pasquale, A. Vilenkin, Preprint astro-ph/980327, v. 2, 8 maja 1998.
[24] M. Birkel, S. Sarkar, hep/ph 9804285, v. 2 (1998).
[25] A. Benson, A. Smialkowski, A.W. Wolfendale, *Astropart. Phys.* **10**, 313 (1999).

Uwagi na temat fizyki stosowanej

Andrzej Oleś

Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

1. Podsumowanie sesji S1B

W czasie Sesji zostały przedstawione trzy oryginalne prace, które stanowią próbkę danych na temat osiągnięć polskiej fizyki stosowanej. Dotyczyły one teksturowania i odkształceń plastycznych, tzn. zagadnień bardzo ważnych dla współczesnej metalurgii; omawiane były ciekawe, nowe tendencje w zagadnieniu detektorów promieniowania elektromagnetycznego; akceptację przemysłową zyskały zaproponowane zastosowania cienkich warstw.

Były to przykłady osiągnięć ważnych dla praktyki, bądź też wręcz stymulujące produkcję. Zobaczmy, jak ten wycinek polskiej fizyki stosowanej plasuje się w ogólnoświatowych osiągnięciach z tej dziedziny. W tym celu sięgnijmy do tematyki prezentowanej w czołowym czasopiśmie z tego zakresu, jakim jest *J. Appl. Phys.* Redakcja tego czasopisma podaje następujący wykaz tematyczny prac tam publikowanych, a ważnych dla tzw. hi-tech industries. Oto ten wykaz: Semiconductors, Superconductivity, Materials, Nanostructures, Electrical and Magnetic Properties of Materials, Surfaces, Interfaces, Thin Films, Crystalline and Amorphous States, Defects and Crystals, Optics and Lasers, Plasma and Gas Discharges, Applied Biophysics.

Jak widać, nawet ten wąski wycinek polskiej fizyki stosowanej dobrze odpowiada głównemu, światowemu nurtowi. Dodajmy, że we wszystkich wymienionych w *J. Appl. Phys.* zagadnieniach pracują polscy fizycy.

2. Światowa fizyka stosowana

Wręcz zaskakujące są osiągnięcia fizyki na rzecz współczesnych technologii przemysłowych. Aby to unaocznić, parę przykładów z zakresu elektroniki. Wybór tej dyscypliny naukowej podyktowany jest faktem, że przecież stanowi ona bardzo ważny element naszej współczesnej cywilizacji.

a) Zaadaptowane na skalę przemysłową metody fizyczne przy produkcji mikroelementów elektronicznych:

— metody otrzymywania cienkich warstw (Molecular Beam Epitaxy, Chemical Vapour Deposition);

— pompy próżniowe zapewniające czystość powierzchni (jonowe, dyfuzyjne, turbomolekularne, sorpcyjne, kriogeniczne i inne);

— wynikająca z postępującej miniaturyzacji – litografia wiązką nadfioletu lub elektronów (m.in. stosowane synchrotrony);

— metoda badania, w czasie kontroli produkcji, topografii mikroelementów (AFM + interferencja światła);

— określanie poprawności składu chemicznego mikroelementów – powszechnie stosowana mikroskopia Auger;

— kontrola grubości mikroelementu – elipsometria;

— epitaksjalność wprowadzonych warstw – metoda kanałowania;

— sprawdzanie struktury wewnętrznej mikroelementów metodą mikroskopii akustycznej.

b) Nowe materiały o parametrach ważnych dla elektroniki.

— cienkie warstwy diamentu (10 μm) otrzymywane tanią metodą CVD, zastosowania: mikroelementy odporne na zmiany temperatury, detektory promieniowania jądrowego i in.;

— nanorurki – układy węglowe, których punktem wyjścia są fullereny – ich struktura decyduje o własnościach metalicznych, izolacyjnych lub nadprzewodzących;

— krzem porowaty otrzymywany elektrolitycznie – promieniowanie luminescencji o dowolnej częstości z zakresu widma widzialnego;

— ferroelektryki – elementy pamięciowe (czas przerzutu 1 ns), możliwe komputery bezdyskowe (bariera antydyfuzyjna już znana!);

— gigantyczny magnetoopór – czujniki pola magnetycznego, czytniki;

— przewodzące polimery – m.in. ekrany telewizyjne o grubości 2 mm;

— ciekłe kryształy – dotychczas znaczniki, obecnie też wyświetlacze;

— superstruktury – studnie kwantowe – elementy elektroniczne o nowych własnościach, np. strained lasers, czytniki i in.;

— kropki kwantowe – być może nowa generacja mikroelementów, a raczej nanoelementów elektronicznych;

— układy oparte na wykorzystaniu złącza Josephsona – ogromna szybkość reakcji (2 rzędy wielkości lepiej niż obecnie).

3. Porównanie możliwości fizyki stosowanej w Polsce i Europie Zachodniej

Działając w Advisory Committee of Applied Physics and Physics in Industry of European Physical Society miałem sposobność rozeznania sytuacji. Za granicą istnieje znacznie ściślejszy kontakt fizyki z przemysłem. Przyczyn jest wiele. Ale chyba najważniejsze są trudności tkwiące w naszym nadal dość zacofanym i teraz preferującym licencje przemyśle oraz obserwowane do niedawna lekceważenie przez fizyków omawianego działu fizyki. Tu trzeba powiedzieć, że obserwuje się już pozytywne objawy np. poważni fizycy nie wahają się publikować w serii „Fizyka dla przemysłu", wydawanej przez WNT. Również fizyka europejska wymusza przychylne nastawienie do bardziej przyziemnych zagadnień (wymagania grantów brukselskich).

Ważne jest również nastawienie środowiska technicznego. Dlatego przy każdej sposobności powinniśmy powtarzać kolegom inżynierom, podając konkretne przykłady, tę oczywistą prawdę: nauka dzisiejszych laboratoriów fizycznych – techniką jutra!

Współczesne sterowanie eksperymentem fizycznym na podstawie wykorzystania programu LabView

Wojciech Dobrogowski, Józef Świekło

Instytut Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku

1. Wprowadzenie

Współczesny eksperyment fizyczny wykonywany jest najczęściej przy komputerowym wspomaganiu. Dotyczy to zarówno eksperymentów wykonywanych w pracowniach naukowych, jak też laboratoriach studenckich czy nawet szkolnych. Podczas eksperymentu komputer może pełnić dwie główne funkcje: urządzenia do akwizycji danych pomiarowych i/albo do sterowania aparaturą pomiarową. Te dwa procesy odbywają się w czasie rzeczywistym, zatem mamy określone wymagania w stosunku do komputera i wykorzystywanego oprogramowania pod względem szybkości działania. Aparatura pomiarowa może być podłączana bezpośrednio do komputera sterującego eksperymentem lub może znajdować się w dużej odległości od niego. Dobrym przykładem jest sterowanie urządzeń w kosmosie, jak w przypadku teleskopu Hubble'a [1], gdzie całe urządzenie pomiarowe znajduje się na orbicie ziemskiej, daleko od centrum sterowania. Ten przypadek zdalnego sterowania przez komputer nabiera coraz większej wagi w miarę rozwoju globalnych sieci komputerowych, takich jak Internet.

Istotna jest szybkość działania programu oraz czas, który trzeba poświęcić na oprogramowanie eksperymentu. Te warunki są najczęściej sprzeczne, bo jak wiadomo najszybszymi są programy napisane w języku asemblera konkretnego procesora (co wymaga dużych nakładów czasowych), a najszybciej pisze się programy w językach wysokiego poziomu, wykorzystujące specjalistyczne biblioteki i funkcje zaawansowanych systemów operacyjnych (z natury rzeczy programy te wykonywane są wolniej niż asemblerowe). Z dylematem tym wiąże się występowania bardzo szerokiej oferty na rynku oprogramowania.

W referacie przedstawiono przykłady wykorzystania języka wysokiego poziomu (LabView firmy National Instruments), przeznaczonego do programowania eksperymentów fizycznych na różnych poziomach – od pracowni studenckiej do pracowni naukowej.

2. Porównanie tekstowych i graficznych języków programowania

Tradycyjne języki programowania opierają się na tekście programów zawartych w plikach tekstowych.

Programista jest w tym przypadku wspomagany przez edytory tekstu, które oprócz standardowej funkcji mogą mieć dodatkowe możliwości, ułatwiające napisanie programu, np. sprawdzanie składni konkretnego języka, zaznaczenie na kolorowo słów kluczowych itp. Często język programowania występuje w postaci zintegrowanego środowiska, łączącego: edytor, kompilator, linker i debugger. Jednym naciśnięciem klawisza można natychmiast po napisaniu tekstu programu wywołać go (oczywiście w przypadku bezbłędnego jego napisania). Wykonując program krok po kroku, można śledzić jego przebieg i – kontrolując pośrednie wartości zmiennych – starać się usunąć ewentualne błędy. Gorzej jest z napisaniem dużych programów, wykorzystujących szerokie możliwości sprzętowe i programowe współczesnych komputerów (np. grafikę, dźwięk, wielozadaniowość). Wtedy program rozrasta się od jednego pliku do projektu zawierającego zbiór plików z powiązaniami do różnych bibliotek. W takim przypadku poprawny plik programu może zawierać błędy logiczne lub błędy związane z niepoprawnym wykorzystaniem funkcji bibliotecznych lub przekazywania danych. W sumie czas wykrywania i usuwania usterek może znacznie przekraczać czas napisania programu jako systemu plików tekstowych.

Rozwój technik komputerowych daje nam możliwość korzystania z coraz większych zasobów sprzętowych. W wyniku tego rozwoju (i znacznego spadku cen sprzętu) powstały bardzo popularne graficzne systemy operacyjne, służące za platformy dla programów aplikacyjnych. Środowisko graficzne jest bardziej naturalne dla przeciętnego użytkownika, co znacznie skraca czas uczenia się. Duża liczba parametrów jest ustalana domyślnie, a użycie myszy w interfejsie graficznym zwiększa wydajność pracy.

Graficzny język programowania jest podobny do rysowania schematów elektronicznych. Poszczególne funkcje są przedstawione w postaci elementów funkcyjnych (prostokąty). Liczba i typ końcówek („pinów") wejścia/wyjścia odpowiada liczbie i typowi otrzymywanych/przesyłanych danych. Elementy te łączone są pomiędzy sobą w programie (schemacie) „przewodami", których kolor odpowiada typowi przekazywanych danych, a grubość – wymiarowi przekazywanej tablicy. Bezpośrednio pomiędzy sobą można łączyć tylko piny tego samego typu. Są pewne elementy, które dopuszczają polimorfizm, polegający np. na tym, że ten sam element może być użyty zarówno do dodawania liczb całkowitych, jak i liczb rzeczywistych. Wykonywanie programu odpowiada przepływowi strumienia danych; funkcja jest wykonywana tylko wtedy, gdy ma ona wszystkie niezbędne argumenty. Prócz tego istnieje możliwość ręcznego ustawienia warunków synchronizacji poszczególnych części w programie.

Programowanie graficzne istotnie zmienia sposób pisania programów przeznaczonych do sterowania urządzeń pomiarowych. Przede wszystkim chodzi tu o prędkość napisania poprawnie działającego programu.

Obecnie głównymi producentami graficznych języków programowania dla sterowania eksperymentem fizycznym są dwie firmy: Hewlett-Packard – program HPVEE i National Instruments – program LabView. Według szacowań, przeprowadzonych w roku 1998 przez czasopismo *Personal Engineering and Instrumentation News*, najczęściej wykorzystywany do programowania układów obsługujących akwizycje i analizę danych był program LabView [2]. Komercyjnie sprzedawany LabView jest dostępny na sześciu platformach (Win16, Win32, Mac, HP-UX, Sun, Concurrent PowerMAX), zapewnia możliwość akwizycji, analizy i prezentacji danych, ma dużą bibliotekę sterowników różnego typu zewnętrznych urządzeń pomiarowych wraz z przykładami, może być stosowany do wszystkich kart pomiarowych, produkowanych przez National Instruments i większości popularnych urządzeń pomiarowych. Jest to program ciągle rozwijany i udoskonalany.

Zgodnie z koncepcją National Instruments, program ten jest wirtualnym instrumentem (skąd pochodzi rozszerzenie roboczych plików *.vi), wykonującym odpowiednie funkcje. Każdy program w LabView składa się z dwóch części, umieszczonych w jednym pliku: 1) panelu programu (urządzenia), który jest widoczny na ekranie komputera podczas pracy; 2) schematu (diagram) programu, składającego się z poszczególnych funkcji i połączeń, wykorzystanych w danym programie.

Niżej są przedstawione różne przykłady stosowania LabView dla sterowania eksperymentem fizycznym.

3.1. Pomiar zależności $B(H)$ dla materiałów ferromagnetycznych z wykorzystaniem płyty pomiarowej sterowanej odrębnym procesorem

Pomiar z bezpośrednim wykorzystaniem PC sterowanego systemem operacyjnym Windows obarczony jest błędem oznaczenia czasu, związanym z wielozadaniowością systemu operacyjnego (na podstawie przeprowadzonych testów oszacowano błąd określenia czasu na około 1 ms). W celu wykonywania pomiarów z większą dokładnością czasową skonstruowano płytę pomiarową z 8-bitowym procesorem PIC17C756 (częstotliwość zegara 11 MHz; procesor ma wewnętrzny przetwornik ADC) i połączoną z komputerem PC przez port szeregowy. Przy pomiarach praca procesora PIC17C756 nie jest zakłócana przez niekontrolowane przerwania i odbywa się z dokładnością do jednego taktu zegara procesora; po zakończeniu akwizycji danych następuje przekazywanie ich do PC (transmisja odbywa się we własnym tempie). Program sterujący współpracą PC z PIC17C756 był napisany w języku LabView. Zestaw ten jest wykorzystany w studenckim laboratorium komputerowym na przykład do pomiarów $B(H)$.

Pomiar zależności $B(H)$ dla materiałów ferromagnetycznych jest wykonywany z wykorzystaniem prostego układu składającego się z dwóch cewek: magnesującej – do wytworzenia sinusoidalnie zmiennego zewnętrznego pola magnetycznego i detekcyjnej – do pomiaru zmiany indukcji magnetycznej dB/dt próbki. Prąd I w cewce magnesującej wytwarzany był za pomocą transformatora podłączonego do sieci $f = 50$ Hz. W czasie jednego okresu zmiany napięcia wykonano 100 pomiarów par wartości I i dB/dt. Wystarczyło to do odtworzenia zależności $B(H)$. Układ ten jest znacznie łatwiejszy do zestawienia od klasycznego [3], gdyż nie wymaga zastosowania generatora akustycznego i wzmacniacza mocy.

3.2. Wykorzystanie LabView do sterowania mikroskopem sił magnetycznych

Mikroskop sił atomowych (AFM) służy dla wizualizacji powierzchni materiałów. Zasada jego działania polega na utrzymywaniu stałej siły (rzędu 1 nN) pomiędzy wierzchołkiem cienkiej sondy zamocowanej na sprężystej dźwigni i powierzchnią próbki (promień krzywizny wierzchołka sondy jest rzędu 10 nm). Podczas pracy mikroskopu próbka jest skanowana w płaszczyźnie XY za pomocą przesuwów piezoelektrycznych, natomiast system sterowania dąży do utrzymania stałej wartości siły oddziaływania na ustalonym poziomie poprzez regulację napięcia podawanego na przesuw Z. Rejestrując napięcie na przesuwie Z w funkcji położenia X, Y uzyskuje się kształt badanej powierzchni.

Mikroskop sił magnetycznych (MFM) służy dla wizualizacji rozkładu pól magnetycznych przy powierzchni próbki z rozdzielczością poprzeczną mniejszą od 1 μm. Sonda z magnetycznym wierzchołkiem przesuwa się w płaszczyźnie XY nad powierzchnią próbki (optymalna odległości próbka-sonda wynosi ok. 50 nm). Mierzona jest siła oddziaływania próbki na sondę.

Mikroskopy skaningowe stanowią przykład urządzenia ściśle współpracującego z komputerem. W pierwszych mikroskopach skaningowych, przy niewielkiej liczbie linii skanowania [4], rejestrowano obrazy powierzchni za pomocą rejestratora. Zastosowanie komputera stało się konieczne w miarę szybkiego rozwoju tej techniki, wzrostu ilości przekazywanej informacji, zmniejszenia czasu próbkowania, komplikacji algorytmów pomiaru. Przy większych polach skanowania (> 10 μm), szybkość skanowania jest definiowana nie tyle szybkością przekazywania danych, ile procesem oddziaływania sonda-powierzchnia. W takich przypadkach szybkość działania PC/Windows/LabView jest wystarczająca duża i do sterowania mikroskopem nie jest konieczne stosowanie specjalistycznego procesora.

W przypadku naszego mikroskopu AFM METRIS-2000 firmy Burleigh producent przewidział możliwość rejestracji siły oddziaływania sonda-powierzchnia, ale tylko przy stałej wartości Z. W konsekwencji pomiar rozkładu pól magnetycznych był niemożliwy bez dodatkowych przeróbek sprzętu ze względu na nierówności i nachylenie powierzchni badanej próbki w stosunku do płaszczyzny skanowania. Adaptacja AFM do pomiarów MFM wymagała: 1) zastosowania przetwornika cyfrowo-analogowego DAC (w naszym przypadku PCL-812) do kompensacji nierówności/nachylenia próbki (przetwornik dodawał odpowiednie napięcie do napięcia sterującego przesuwem Z), 2) zainstalowania magnetycznej sondy. Posiadane przez nas standardowe programy producenta do sterowania pracą mikroskopu AFM nie nadawały się do pomiarów MFM. W celu szybkiego oprogramowania trybu pracy MFM wykorzystano LabView. Zrealizowany algorytm pomiaru MFM składał się z dwóch części: 1) rejestracji kształtu powierzchni z wykorzystaniem klasycznego modu AFM; 2) pomiaru MFM z korektą odległości próbka-sonda w każdym punkcie w oparciu o dane z uzyskanych poprzednio pomiarów AFM. W rezultacie otrzymano w pełni zadowalające obrazy przestrzennych rozkładów magnetyzacji [5].

3.3. Zdalne sterowanie eksperymentem

Problem zdalnego sterowania eksperymentem sprowadza się najczęściej do współpracy dwóch komputerów, z których pierwszy, tzw. „klient", jest komputerem eksperymentatora, natomiast drugi, tzw. „serwer", bezpośrednio obsługuje zestaw pomiarowy. Połączenie komputerów nie daje możliwości klientowi bezpośredniego dostępu (zapisywania/odczytywania) do portów serwera. Przyczyna tego kryje się w niekontrolowanych opóźnieniach, które mogą ewentualnie zaistnieć przy zdalnej komunikacji. Operacje zapisywania/odczytywania z portów powinny być ściśle zsynchronizowane. Rozwiązanie tego problemu polega na zainstalowaniu w serwerze takiego programu, który udostępnia już nie oddzielne polecenia niskiego poziomu, ale większe funkcje współpracy z urządzeniami, podłączonymi do tego komputera. Te funkcje już nie są czułe na opóźnienia czasowe. Istnieje szereg ogólnie dostępnych przez Internet układów pomiarowych, np. układ do badań ciekłych kryształów na Uniwersytecie w Kent [6].

W czasie trwania Zjazdu uruchomiono [7] w Białymstoku serwer, obsługujący układ pomiarowy do badania struktury domenowej i procesów magnesowania w cienkiej magnetycznej warstwie granatu. W komputerze bezpośrednio podłączonym do układu pomiarowego działał serwer HTTP jako część środowiska LabView. Umożliwiało to uruchamianie programów LabView jako części skryptów CGI i generowanie stron w zależności od potrzeb klienta. Za pomocą zwykłej przeglądarki WWW każdy użytkownik Internetu mógł: 1) ustawić natężenie stałego pola magnetycznego H przyłożonego do próbki lub przyłożyć do próbki zmienne (piłokształtne) pole H o ustalanych parametrach; 2) zarejestrować obraz magnetycznej struktury domenowej przy wykorzystaniu kamery CCD; 3) zarejestrować krzywą magnesowania z wyko-

rzystaniem detektora światła; 4) „podglądnąć" układ pomiarowy dodatkową kamerą. Internetowy eksperymentator mógł ściągnąć do swego komputera-klienta zarejestrowane wyniki w postaci obrazków i plików danych.

Autorzy dziękują Komitetowi Badań Naukowych za finansowe wsparcie rozwoju mikroskopii skaningowej AFM i MFM w ramach projektu PO3B 065 15 oraz Fundacji Polsko-Niemieckiej za finansowe wsparcie rozwoju Laboratorium. Dziękujemy firmie Janbit za bezpłatne przekazanie nam oprogramowania LabView. Dziękujemy profesorowi Reinerowi Linckemu z Uniwersytetu w Kilonii za zapoznanie jednego z nas (WD) ze swoimi rozwiązaniami komputerowo wspomaganych eksperymentów oraz za inspirację budowy w Białymstoku interfejsu mikroprocesorowego i wykorzystania programu LabView w laboratorium studenckim.

Literatura

[1] Strona internetowa: hubble.nasa.gov.

[2] *Measurement and automation catalogue* (National Instruments, 1999), s. 49.

[3] *Pomiary fizyczne za pomocą komputera*, red. H. Szydłowski (Wyd. UAM, Poznań 1999).

[4] G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, W. Weibel, *Phys. Rev. Lett.* **49**, 57 (1982).

[5] J. Świekło, W. Dobrogowski, M. Kisielewski, A. Maziewski, *Acta Phys. Polon. A*, w druku.

[6] Strona internetowa Liquid Crystal Institute at Kent State University: olbers.kent.edu/alcomed/Experiment/eo.html.

[7] Strona internetowa XXXV Zjazdu Fizyków Polskich: physics.uwb.edu.pl/ptf/imprezy-popularnonaukowe.html#Eksperyment.

Przyszłościowe koncepcje energetyki jądrowej

Stefan Taczanowski

Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Trwający już od kilku dekad obecny kryzys zaufania do energetyki jądrowej stanowi bodziec do projektowania generacji reaktorów, które byłyby w stanie sprostać stawianym im najwyższym wymaganiom. Bezapelacyjnie głównym problemem jest całokształt zagrożeń, jakie stanowi elektrownia jądrowa w społecznym odczuciu, a w drugiej kolejności – jej wysoki koszt inwestycyjny. Stąd przed światowym przemysłem jądrowym pojawiają się następujące cele: 1) podniesienie bezpieczeństwa, 2) obniżenie kosztów.

Najbardziej rozpowszechnione w świecie (blisko 90% mocy zainstalowanej) są reaktory na neutronach termicznych, w których jednocześnie chłodziwem i moderatorem neutronów jest woda (niemal zawsze lekka – rzadko D_2O) pod ciśnieniem dopuszczającym (lub nieco częściej – nie) do jej wrzenia (reaktory wodne ciśnieniowe i wodne wrzące). Wszystkie reaktory tego typu cechuje niezawodny (jako wynikający z działania praw fizyki, a nie jakiegoś urządzenia) fenomen ujemnego sprzężenia zwrotnego. Efekt ten zilustrować można obrazując skutki malenia gęstości moderatora (np. wrzenie), towarzyszącego wzrostowi temperatury bądź spadkowi ciśnienia (np. w razie awarii). Następujące w tych warunkach osłabienie procesu spowalniania neutronów, a zatem wzrost ich strat (tj. wychwytów rezonansowych w materiałach nierozszczepialnych i ucieczek), pociąga za sobą obniżenie strumienia neutronów termicznych i ostatecznie zmniejszanie intensywności rozszczepień. Reakcja łańcuchowa musi więc natychmiast ustać w razie podniesienia się temperatury w reaktorze np. skutkiem utraty chłodziwa lub tylko jego przepływu itp. Eksplozja z wydzieleniem znacznej ilości energii jest fizycznie niemożliwa, wobec czego źródłem największego zagrożenia pozostaje eksploatowane paliwo o skrajnie wysokiej radiotoksyczności. Wydziela ono ciepło (z rozpadów β i γ fragmentów rozszczepień) także po wyłączeniu reaktora, w ilości – gdy jest nie odprowadzone – grożącej zniszczeniem rdzenia reaktora. W tych warunkach naczelną przesłanką ulepszeń staje się minimalizacja prawdopodobieństwa takich awarii, a ich skutków – przez zapewnienie maksymalnego odizolowania używanego paliwa jądrowego od otoczenia.

Innymi słowy, energetyka jądrowa nowej generacji staje przed wyzwaniem: *to be perfect or not to be*. Drogą do osiągnięcia postawionych wyżej celów jest:

Ad 1. Ogólnie: „zwiększenie pasywności" układów bezpieczeństwa, a w szczególności:

— upraszczanie konstrukcji (redukcja liczby rurociągów ciśnieniowych, pomp i zaworów);

— upraszczanie obsługi (eliminacja możliwości błędów ludzkich);

— zmniejszenie ilości i toksyczności odpadów;

— zamknięcie cyklu paliwowego (transmutacje odpadów).

Ad 2.

— upraszczanie budowy oraz standaryzacja i modularyzacja;

— krótszy czas budowy – do 60 miesięcy (sprawny proces licencyjny);

— dłuższy czas eksploatacji elektrowni – 60 lat;

— rzadsza wymiana paliwa (krótsze przerwy w produkcji energii elektrycznej);

— podniesienie stopnia wypalenia paliwa (> 50 MWd/kg – 5–6 lat eksploatacji);

— ew. mniejsza moc (większy rynek).

Nowe koncepcje elektrowni jądrowych pojawiły się w postaci projektów szeregu firm znanych na całym świecie, wyspecjalizowanych w najbardziej zaawansowanych technologiach. Wymienimy tu jedynie kilka najważniejszych: APWR – (Westinghouse, USA), EPR – (Framatome i Siemens, Francja/Niemcy), ABWR (GE, Hitachi i Toshiba, USA/Japonia), PIUS – (ABB Atom, Szwecja) i in.

Sposoby realizacji powyższych postulatów najlepiej omówić na przykładzie. Jest nim oferta Westinghouse'a – elektrowni na bazie reaktora AP-600, który po 6-letnim procesie licencjonowania uzyskał aprobatę amerykańskiej komisji dozoru jądrowego (Nuclear Regulatory Commission, NRC) we wrześniu 1998 r. Schemat budynku reaktora tej elektrowni przedstawia rys. 1 [1].

Bezpośrednim skutkiem Maksymalnej Awarii Projektowej (MAP) – np. skądinąd wielce nieprawdopodobnego rozerwania głównego rurociągu chłodzącego – byłby gwałtowny wzrost ciśnienia w wypełnionej wówczas parą obudowie bezpieczeństwa. Po-

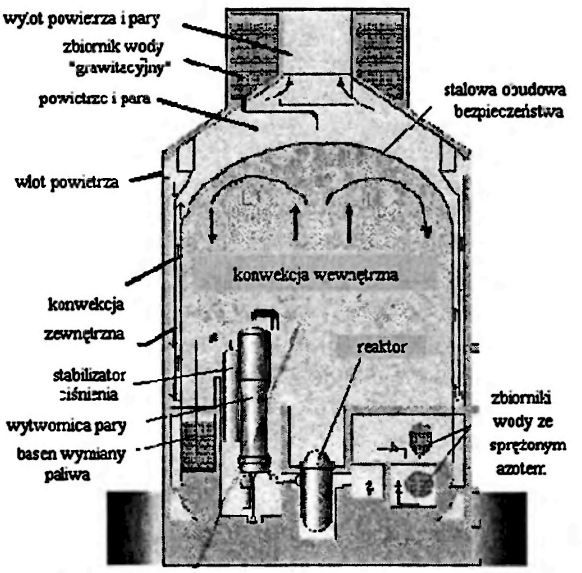
nieważ na dalszą metę mogłoby to zagrażać wydostaniem się silnie aktywnych substancji promieniotwórczych na zewnątrz, wysiłki projektantów koncentrują się na ograniczaniu tego wzrostu, a następnie szybkiej redukcji ciśnienia, oraz na zapobieganiu istotnym termicznym uszkodzeniom paliwa.

Jest to do osiągnięcia drogą możliwie najskuteczniejszego schładzania zarówno rdzenia reaktora, jak i całego wnętrza obudowy bezpieczeństwa. Dlatego przewidziano tam umieszczenie ogółem trzech układów awaryjnego chłodzenia: wysoko-, średnio- i niskociśnieniowego (rys. 1). Spełnianie stawianego im zadania, polegającego na dostarczeniu wody chłodzącej do rdzenia, nie jest uwarunkowane działaniem żadnego urządzenia. Pod ciśnieniem sprężonego gazu woda będzie wpływać do reaktora przez zawór utrzymywany dotąd w stanie zamknięcia przez ciśnienie panujące w reaktorze w czasie jego normalnej pracy. Dalszy spadek ciśnienia uruchamia wypływ wody z podobnych zbiorników średniociśnieniowych. Ostatni w kolejności wykorzystany byłby znajdujący się także wewnątrz obudowy basen wymiany paliwa – jako układ niskociśnieniowy. Ponieważ jest on umieszczony powyżej reaktora, woda wypływać będzie z niego grawitacyjnie. W końcu woda z pary skraplającej się na wewnętrznej powierzchni obudowy spływać będzie również ku reaktorowi, znajdującemu się w dolnej części wolnej przestrzeni wnętrza obudowy (rys. 1).

W perspektywie długotrwałego chłodzenia przewidziano także specjalny odbiór ciepła z zewnątrz obudowy. Do tego celu służyć ma umieszczony u szczytu budynku elektrowni zbiornik z wodą wypływającą z niego bez użycia pomp pod własnym ciężarem w ilości zapewniającej spryskiwanie obudowy w ciągu 3 dni. W razie braku uzupełniania tego zapasu obudowa pozostaje nadal chłodzona konwekcyjnie powietrzem atmosferycznym (rys. 1), co zapewnia utrzymanie ciśnienia wewnątrz obudowy w granicach 90% wartości dopuszczanej w projekcie, o maksimum osiąganym po dopiero dwóch tygodniach.

Podsumowując: postęp w dziedzinie bezpieczeństwa zasadniczo polega na przejęciu istotnych funkcji od urządzeń przez podstawowe efekty fizyczne: grawitację, konwekcję, ciśnienie gazu. W odniesieniu do pozostałych czynników bezpieczeństwa – w projekcie elektrowni z reaktorem AP 600 – 5-krotnie zmniejszono liczbę rurociągów ciśnieniowych, o połowę liczbę zaworów, 3-krotnie – kabli itp. Maleje więc prawdopodobieństwo awarii. W związku z odpadami należy podkreślić – szczególnie wyraźną we Francji – tendencję do stopniowo coraz pełniejszej recyklizacji zużytego paliwa (powszechne stosowanie paliwa MOX (UO_2 + PuO_2), a także opracowanie paliwa z domieszką ^{237}Np) [2]. W ten sposób w istotnym stopniu zahamowano wzrost ilości gromadzonego plutonu, a także łącznego wolumenu odpadów.

Elektrownia jądrowa
z reaktorem AP 600 (Westinghouse)



Rys. 1. Przykładowa elektrownia jądrowa nowej generacji (AP-600 Westinghouse).

Odnośnie do aspektów ekonomicznych energii jądrowej – na uwagę zasługuje, dokonane 4 lata temu w Szwecji – po 20 latach użytkowania licencjonowanie reaktora wodnego wrzącego na dalsze 40 lat. Biorąc pod uwagę nieunikniony wzrost kosztów paliw organicznych w czasie 60 lat, w zestawieniu z nikłym udziałem ceny surowca (uranu) w kosztach energii elektrycznej z elektrowni jądrowych – ich konkurencyjność nie może budzić poważniejszych wątpliwości.

Opracowanie wykonane przy wsparciu KBN.

Literatura

[1] www.ap600.westinghouse.com.

[2] S.Taczanowski, „Transmutacje, układy podkrytyczne i energia", *Postępy Fizyki* **50**, zeszyt dodatkowy, 28 (1999) – streszczenie; *Postępy Fizyki*, w przygotowaniu – pełny tekst.

Skażenia promieniotwórcze środowiska i człowieka w Polsce

Zofia Pietrzak-Flis

Zakład Higieny Radiacyjnej, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa

1. Wstęp

Radionuklidy obecne w środowisku są źródłem zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej ekspozycji na promieniowanie jonizujące wszystkich żywych organizmów: roślin, zwierząt i człowieka. Z roślinami i artykułami pochodzenia zwierzęcego oraz z wodą radionuklidy dostają się do człowieka i mogą być inkorporowane w tkankach. Poza nielicznymi wyjątkami, łańcuchy pokarmowe są główną drogą przechodzenia radionuklidów do człowieka. Do wyjątków tych należy pluton i gazy promieniotwórcze, takie jak radon i toron, dla których główną drogą jest droga inhalacyjna. Stopień inkorporacji w tkankach i narządach zależy od rodzaju radionuklidu, właściwości chemicznych i na ogół jest różny w różnych tkankach.

Poziom izotopów promieniotwórczych naturalnych w danym rejonie jest na ogół stały, chociaż może ulegać pewnym wahaniom wynikającym z działalności człowieka, takich jak przemysł wydobywczy, spalanie kopalin, stosowanie nawozów fosfatowych, odprowadzanie wód kopalnianych do zbiorników wodnych.

Izotopy pochodzenia sztucznego wprowadzone zostały do środowiska głównie na skutek próbnych wyników jądrowych, które zakończyły się na dużą skalę na początku lat sześćdziesiątych, oraz w wyniku awarii jądrowych, z których najpoważniejszą była awaria czarnobylska w 1986 roku. Poziom tych radionuklidów w środowisku ulega zmniejszaniu w miarę upływu czasu od ich uwolnienia do atmosfery, co wiąże się z ich rozpadem.

W niniejszym referacie omówiono ważniejsze izotopy naturalne (^{238}U, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{210}Po, ^{232}Th i ^{228}Th) i dwa izotopy pochodzenia sztucznego (^{137}Cs, ^{134}Cs).

2. Skażenia gleby

Stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych w glebach polskich jest dość zróżnicowane, ale nie odbiega od poziomów „normalnych". Stężenie ^{226}Ra na większości obszaru Polski jest mniejsze od 20 Bq/kg gleby. Najniższe stężenie tego radionuklidu wynosi 4,2 Bq/kg, a najwyższe 124 Bq/kg i jest zlokalizowane w rejonie jeleniogórskim. Stężenia ^{210}Pb w glebach Polski mieszczą się w zakresie 7,9–91,2 Bq/kg, natomiast stężenia ^{228}Ac – 3,7–86 Bq/kg [1].

Średnie skażenie ^{137}Cs gleby w Polsce, określone w 1990 r. w warstwie 0–10 cm, wynosiło średnio 4,72 kBq/m^2 i mieściło się w granicach 0,76–54,5 kBq/m^2, w 1996 roku średnie skażenie gleby tym radionuklidem było niższe (3,65 kBq/m^2); spadek skażenia spowodowany był rozpadem promieniotwórczym ^{137}Cs i w pewnym stopniu jego migracją do głębszych warstw. Średnie skażenie ^{134}Cs gleby w 1990 r. wynosiło 0,51 kBq/m^2, z zakresem 0,02–6,82 kBq/m^2, natomiast w 1996 r. poziom tego radionuklidu w glebie niewiele przekraczał tło [2].

3. Wody powierzchniowe

Od roku 1994 prowadzone są w Polsce oznaczenia ^{226}Ra, ^{3}H i ^{137}Cs w wodach powierzchniowych oraz ^{226}Ra i ^{137}Cs w osadach dennych [3]. Próbki pochodzą z dorzecza Wisły i Odry, z rzek Przymorza oraz kilku jezior. Poziom ^{137}Cs w wodzie wykazuje niewielką tendencją malejącą, lecz nadal jest wyższy niż przed awarią czarnobylską. Stężenie tego radionuklidu w osadach dennych jest wyższe w rejonach, w których obserwowano wyższą depozycję tego radionuklidu po awarii czarnobylskiej. Pomiary stężeń Ra-226 w komponentach środowiska wodnego Wisły i Odry wskazują, że górna Wisła oraz środkowa Odra, a także Nysa Łużycka cechują się podwyższonymi stężeniami tego radionuklidu. W przypadku Wisły jest to wynik działalności przemysłu wydobycia węgla kamiennego na Górnym Śląsku, a w przypadku Nysy Łużyckiej i Odry – prawdopodobnie przemysłu miedziowego. W Wiśle stężenie Ra-226 maleje wzdłuż jej biegu.

Poziom zawartości trytu w wodach powierzchniowych jest dość stały; w roku 1998 średnie stężenie wynosiło 1,5 Bq/L i było ok. 3 razy wyższe od poziomu przed próbnymi wybuchami jądrowymi.

4. Przyziemna warstwa powietrza atmosferycznego

Wyniki pomiarów radioaktywności przyziemnej warstwy powietrza atmosferycznego, prowadzonych

w sieci stacji ASS-500, wskazują, że w roku 1997 średnie roczne stężenie ^{226}Ra wynosiło 10,1 μBq/m^3, ^{210}Pb – 430 μBq/m^3, a średnie stężenie ^{137}Cs – 1,6 μBq/m^3. Poziom izotopów naturalnych w warstwie przyziemnej powietrza atmosferycznego był na ogół stały, natomiast stężenie ^{137}Cs zmniejszało się w kolejnych latach po awarii czarnobylskiej [4].

5. Naturalne i sztuczne izotopy w pożywieniu ludności Polski

Znajomość zawartości radionuklidów w pożywieniu umożliwia ocenę wielkości ich dziennego i rocznego wchłonięcia, a zatem ocenę skażeń wewnętrznych i wielkość pochłoniętych dawek. Wielkość wchłonięć określano z analizy całodziennego pożywienia, pobieranego zazwyczaj w miejscach zbiorowego żywienia, oraz na podstawie oznaczenia stężeń radionuklidów w poszczególnych artykułach żywnościowych i statystycznych danych o spożyciu [5,6].

Na podstawie otrzymanych danych obliczono średnie roczne wchłonięcia izotopów uranu, toru, ^{226}Ra, ^{210}Pb i ^{210}Po przez dorosłych mieszkańców Polski [7] (tab. 1). Roczne wchłonięcia badanych izotopów w Polsce na ogół nie odbiegają od wchłonięć obserwowanych w innych krajach. Wyjątek stanowią ^{210}Pb i ^{210}Po, które w Japonii i Portugalii wchłaniane są w znacznie większych ilościach, co wiąże się z dużym spożyciem artykułów pochodzenia morskiego w tych krajach. Udział poszczególnych artykułów jako źródła izotopów w całodziennym pożywieniu jest różny, w przypadku uranu decydujące znaczenie ma woda (ok. 60% całkowitego wchłonięcia), a w przypadku ^{210}Po – ryby (ponad 30%).

Tabela 1. Średnie roczne wchłonięcia z pożywieniem naturalnych izotopów promieniotwórczych (Bq).

Izotop	Roczne wchłonięcie
^{238}U	6,12 ± 0,53
^{234}U	8,37 ± 2,34
^{232}Th	1,09 ± 0,13
^{230}Th	1,74 ± 0,34
^{228}Th	4,92 ± 1,12
^{226}Ra	18,6 ± 1,48
^{210}Pb	43,4 ± 7,81
^{210}Po	44,0 ± 11,3

Po awarii czarnobylskiej szczególną uwagę zwrócono na izotopy promieniotwórcze cezu. W pierwszym roku po awarii w rejonie północno-wschodniej Polski roczne wchłonięcie ^{137}Cs ocenione na podstawie analizy produktów żywnościowych wynosiło ok. 8000 Bq, natomiast ^{134}Cs – ok. 3000 Bq. Badania kontynuowano do roku 1992. W tym czasie wchłonięcia zmniejszały się wykładniczo; półokres dla ^{137}Cs wynosił 1,72 lat, a dla ^{134}Cs 0,97 lat [8]. Według ocen przeprowadzonych w roku 1993 średnia roczna podaż ^{137}Cs wynosiła 518 Bq i pozostawała na podobnym poziomie do 1998 roku [9].

6. Dawki skuteczne od izotopów promieniotwórczych w pożywieniu

Na podstawie średnich rocznych wchłonięć izotopów naturalnych przez dorosłych mieszkańców Polski, obliczono roczne dawki skuteczne. Do obliczeń zastosowano współczynniki konwersji, określające dawkę pochodzącą od jednostkowego wchłonięcia radionuklidu drogą pokarmową podaną w Publikacji 67 ICRP (1994) oraz w Publikacji 69 ICRP (1995) – tab. 2. Roczna dawka skuteczna od omawianych naturalnych izotopów promieniotwórczych wynosi 90,0 μSv. Dawka ta jest prawie dwukrotnie niższa od dawki od ^{40}K obecnego w ciele osób dorosłych (165 μSv) i jest porównywalna z dawką od ^{134,137}Cs w pierwszym roku po awarii czarnobylskiej [8].

Tabela 2. Średnie roczne dawki skuteczne od naturalnych izotopów promieniotwórczych pobieranych z pożywieniem przez dorosłych mieszkańców Polski (μSv).

Izotop	Dawka skuteczna
^{238}U	0,28 ± 0,02
^{234}U	0,42 ± 0,12
^{232}Th	0,25 ± 0,03
^{230}Th	0,37 ± 0,07
^{228}Th	0,35 ± 0,08
^{226}Ra	5,20 ± 0,42
^{210}Pb	30,4 ± 5,47
^{210}Po	52,8 ± 13,6
SUMA	90,0 ± 14,6

Literatura

[1] J. Jagielak, M. Biernacka, J. Henschke, A. Sosińska, *Radiologiczny atlas Polski 1977* (PIOŚ, CLOR, PAA, Warszawa 1998).

[2] J. Jagielak, M. Biernacka, J. Henschke, A. Sosińska, M. Baranowski, R. Jankowski, *Radiologiczny atlas Polski* (CLOR, PAA, Warszawa 1992).

[3] T. Wardaszko, I. Radwan, R. Klimkowski, Z. Pietrzak-Flis, Monitoring skażeń promieniotwórczych: pomiary skażeń promieniotwórczych wód i osadów dennych rzek i jezior, Sprawozdanie końcowe, CLOR, Warszawa 1999.

[4] M. Biernacka, M. Bysiek, Wyniki pomiarów radioaktywności przyziemnej warstwy powietrza atmosferycznego prowadzonych w 1997 r. w sieci stacji ASS-500, Raport CLOR nr 137, Warszawa 1998.

[5] Z. Pietrzak-Flis, E. Chrzanowski, S. Dembińska, *Sci. Total Environ.* **203**, 157 (1997).

[6] Z. Pietrzak-Flis, M.M. Suplińska, L. Rosiak, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **222**, 189 (1997).

[7] Z. Pietrzak-Flis, *Postępy Techniki Jądrowej* **42**, 18 (1999).
[8] Z. Pietrzak-Flis, P. Krajewski, *Health Phys.* **67**, 115 (1994).
[9] D. Grabowski, W. Kurowski, W. Muszyński, B. Rubel, G. Smagała, J. Świętochowska, Skażenia promieniotwórcze środowiska i żywności w Polsce w 1998 roku, Raport CLOR nr 139, Warszawa 1999.

Ocena medycznych skutków skażeń promieniotwórczych

Zenon Mnich, Franciszek Rogowski, Marek Zalewski

Zakład Biofizyki i Zakład Medycyny Nuklearnej, Akademia Medyczna, Białystok

Całą populację w aspekcie narażenia na skażenia podzielić można na dwie grupy. Jedną grupę stanowi ogromna większość, która narażona była i jest ciągle nadal narażana na niewielkie skażenia obecne w środowisku lub żywności. Drugą, stosunkowo nieliczną grupę w porównaniu z całą populacją, stanowią ludzie, którzy narażeni byli na znaczne lub duże skażenia związane z pracą zawodową lub sytuacjami awaryjnymi.

Orientacyjnie można oszacować, że wyraźnie mniej niż 1 promil ludzi zamieszkujących Ziemię przebywało przez jakiś czas w silnie skażonym otoczeniu, natomiast pozostałe 99,9% było narażone na niewielkie skażenia, które były niewiele większe od tła promieniowania naturalnego. Aby przedstawić problem skażeń w aspekcie jego medycznych skutków, należy omówić narażenie obydwu wyżej wymienionych grup.

Następstwa skażeń promieniotwórczych środowiska i człowieka przekłada się na końcowy efekt, jaki wywoła sumaryczna dawka pochłonięta przez organizm przebywający w skażonym otoczeniu. Tak wiec nieco modyfikując to zagadnienie można sprowadzić je do problemu sumy skutków somatycznych i genetycznych dużych i małych dawek.

O ile somatyczne wczesne i późne skutki po ekspozycji na duże dawki są dość dobrze poznane i istnieje ogólna zgodność co do charakteru funkcji je opisujących, to ciągle pozostaje otwarta kwestia późnych medycznych skutków napromieniowania organizmów małymi dawkami. Najogólniej, istnieją dwa poglądy. Jeden zakłada, że liniowa ekstrapolacja zależności dawka-skutek w zakresie dużych dawek na obszar małych dawek daje dobre oszacowanie szkodliwych następstw. Ta teoria w skrócie nazywa się „liniową". Konsekwencją tej teorii jest pogląd, że każda, nawet najmniejsza dawka promieniowania jest szkodliwa. Nie istnieje przeto żadna dawka progowa, poniżej której prawdopodobieństwo transformacji nowotworowej komórki jest równe zeru. Według tej teorii 0,01 Sv ponad naturalne tło wywołuje 100–820 dodatkowych zgonów na 10^6 napromieniowanych osób. Teoria ta jest obecnie obowiązująca i zgodnie z wynikami, jakie ona przewiduje, przedstawione są skutki napromieniowania przez Komisję do Badań Skutków Promieniowania Jonizującego przy ONZ. Jednak w ostatnim dziesięcioleciu pojawiło się dużo prac, które postulują teorię „progową", to znaczy, że do pewnego progu podwyższenie ekspozycji nie wywiera szkodliwego działania. Próg ten nie jest jednoznacznie określony i zakłada się, że leży on wyraźnie poniżej dawki deterministycznej. Na podstawie danych z piśmiennictwa można określić, że mieści się on w przedziale od kilku do kilkudziesięciu mSv.

Ogólnie należy wyraźnie podkreślić, że dokładna ocena ryzyka spowodowanego dawkami poniżej 0,1 Sv jest w istocie niemożliwa. Sprawę komplikuje fakt, że jeśli nawet istnieje nieliniowość, to nie można jej zaobserwować w badaniach epidemiologicznych lub toksykologicznych. Webster oszacował, że aby wykazać u ludzi podwyższoną zapadalność na białaczkę w wyniku zaabsorbowania 0,1 Gy (10 radów), należałoby objąć obserwacją populacje złożoną ze 160 tys. osób, z których każda otrzymałaby taką samą dawkę i tej samej wielkości grupę kontrolną. Zatem w sumie należałoby obserwować grupę 320 tys. Natomiast dla uchwycenia tego samego skutku po dawce 0,01 Gy (1 rad) każda z tych grup powinna liczyć 8 milionów. W sumie należałoby obserwować 16 milionów osób.

Wymieńmy najważniejsze przedsięwzięcia i okoliczności, w jakich wystąpiły skażenia, a także i niektóre obszary aktywności człowieka, gdzie ciągle powstają:

— testy w atmosferze z bronią jądrową;
— podziemne testy z bronią jądrową;
— pokojowe wykorzystanie wybuchów jądrowych w celach inżynieryjnych;
— produkcja broni jądrowej i wypadki w instalacjach wojskowych;

— produkcja radioizotopów w celach handlowych (przemysłowych, medycznych i naukowych);

— skażenia wywołane przez elektrownie atomowe: a) związane z wydobywaniem rud uranowych, ich uzdatnianiem i całym cyklem przygotowania paliwa, b) skażenia wywołane bezawaryjnym funkcjonowaniem elektrowni atomowych, c) awarią elektrowni atomowych;

— użytkowanie izotopów w celach diagnostycznych i terapeutycznych.

Całkowita efektywna, obciążająca dawka, pochłonięta od skażeń pochodzących z prób z bronią jądrową z uwzględnieniem H-3 i C-14, szacowana do 2200 roku dla statystycznego mieszkańca północnej półkuli, zamieszkałego w szerokości geograficznej 40°–50° wynosi 1,4 mSv.

Uśrednione wielkości efektywnej rocznej dawki otrzymane przez mieszkańca Europy Zachodniej lub USA w wyniku bezawaryjnej pracy elektrowni atomowych szacuje się na 0,1–20 μSv. Jakkolwiek duże awarie elektrowni atomowych są na szczęście rzadkie, to dawki, jakie otrzymują duże grupy ludności, są znaczne.

Awaria w Czarnobylu spowodowała śmierć w ciągu 3 miesięcy 30 osób; wszystkie ofiary były bądź pracownikami elektrowni, bądź członkami straży ogniowej. Około 115 000 mieszkańców z 30-km strefy wokół reaktora przesiedlono. Zewnętrzne napromieniowanie spowodowało pochłonięcie na ogół mniejszej dawki niż 0,25 Sv. Niektórzy jednak mogli pochłonąć dawkę 0,4 Sv. Dawki na tarczycę, szczególnie u dzieci, wynosiły 2,5 Gy, a w pojedynczych przypadkach były jeszcze wyższe; średnią ekspozycję tarczycy oceniono na 0,3 Gy.

Kolektywna, efektywna dawka od skażeń wywołanych awarią w Czarnobylu jest szacowana na 600 000 osobo-Sv, z czego 40% zostało pochłonięte na obszarze byłego ZSSR, 57% w pozostałej części Europy i 3% w pozostałych krajach pozaeuropejskich. Co do skutków, jakie wywołała ta awaria, istnieją dwie oceny. Jedną prezentują uczeni z krajów najbardziej dotkniętych skażeniami, tj. Ukrainy, Białorusi i Federacji Rosyjskiej, drugą naukowcy krajów zachodnich i oficjalne agencje atomowe przy ONZ.

W latach 1987–91 ukazało się dużo doniesień z czołowych ośrodków naukowych Ukrainy, Białorusi i Rosji, które informowały o kilkakrotnym wzroście zachorowań na nowotwory na skażonych obszarach.

Międzynarodowa Komisja, badająca od marca 1990 r. do stycznia 1991 r. skutki zdrowotne wśród 825 tys. ludności obszarów skażonych, miała ograniczone możliwości, gdyż dysponowała zbyt krótkim czasem i musiała się oprzeć się na wynikach radzieckich pomiarów, badań i analizach statystycznych. Niemniej jednak w tak przeprowadzonych badaniach nie zanotowano uchwytnych odchyleń od normy, które można by przypisać bezpośrednio napromienieniu. Nie zaobserwowano wyraźnego wzrostu zachorowań na białaczkę i choroby nowotworowe. Natomiast widoczne były negatywne konsekwencje psychiczne spowodowane stresem i lękiem. Nie wykluczono jednak wzrostu zachorowań na niektóre postacie nowotworów w przyszłości.

W opinii zachodnich ekspertów wielkość dawek pochłoniętych przez tarczycę u dzieci może stać się w przyszłości przyczyną statystycznie uchwytnego wzrostu zachorowań na raka tarczycy. Natomiast przesiedlanie ludności było decyzją zbyt surową w stosunku do zaistniałego zagrożenia. Badania przeprowadzone przez stronę radziecką uznano w odniesieniu do medycznych skutków za niewiarygodne. Uczeni, którzy od lat śledzą dane na temat długofalowych skutków radiologicznych po zrzuceniu bomb atomowych na Hiroszimę i Nagasaki, uznali za zupełnie zrozumiałe, że do 1990 r. zachodni eksperci nie stwierdzają wzrostu zachorowań na raka tarczycy, gdyż jest na to po prostu za wcześnie. Ponadto obserwacje japońskie odległych skutków ataków jądrowych na Hiroszimę i Nagasaki wykazują umiarkowany wzrost zapadalności na nowotwory w całym okresie obserwacji tj. 45 lat.

Ocena skutków awarii w Czarnobylu na obszarze Polski

Polska Państwowa Agencja Atomistyki podaje, że w wyniku katastrofy w Czarnobylu średnie napromienienie ludności na terenie Polski w ciągu 50 lat wyniesie ok. 0,9 mSv. Teoria liniowa przewiduje, że po dawce 1 mSv prawdopodobieństwo zgonu z powodu nowotworu wynosi 5 na 100 000. Tak więc z 40-milionowej populacji w Polsce w ciągu 50 lat będzie miało miejsce 1800 dodatkowych zgonów. Liczba ta w stosunku do 3 milionów 500 tys. przewidywanych statystyką zgonów na nowotwory spowodowane innymi czynnikami niż skażenia promieniotwórcze wywołane awarią w Czarnobylu pozostanie nie zauważona w statystycznych fluktuacjach.

Istnieje niemieckie opracowanie Rassowa, w którym autor oblicza, że dodatkowe ryzyko dla zdrowia (tzn. zgonu) wywołane skutkami katastrofy w Czarnobylu jest porównywane dla mieszkańca Niemiec do ryzyka, jakie stwarza przebycie samochodem 100 km lub odbycie przelotu samolotem 1100 km, lub po prostu przeżycie 20 minut w wieku 60 lat. Całkowity efektywny równoważnik dawki od promieniowania naturalnego i innych źródeł sztucznych, obecnych w otoczeniu człowieka, a także ekspozycji związanej z rozwojem diagnostyki medycznej i ogólnym rozwojem cywilizacyjnym, wynosi w krajach rozwiniętych 2,5–3,5 mSv rocznie. W tej całkowitej ekspozycji, na którą narażony jest mieszkaniec krajów zachodnioeuropejskich, mniej niż 1/5 spowodowana jest skażeniami promietwórczymi środowiska. Największy wkład do istniejących skażeń w skali globalnej wniosły atmosferyczne próby broni jądrowej.

Czy Polska potrzebuje energetyki jądrowej?

Wprowadzenie do dyskusji okrągłego stołu

Andrzej Hrynkiewicz

Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński oraz *Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego, Kraków*

1. Edukacja społeczeństwa a gospodarka

W ustroju demokratycznym władze kraju są wybierane przez społeczeństwo i są przed wyborcami, a więc przed społeczeństwem odpowiedzialne. Wobec tego w kluczowych dla rozwoju kraju sprawach muszą brać pod uwagę opinię ludności, a nawet uciekać się do ogólnokrajowego referendum. Nieliczenie się z opinią publiczną naraża władzę na presję społeczną w postaci demonstracji, które mogą przybierać drastyczne, a nawet groźne formy. W dzisiejszym świecie, w którym decyzje o kierunkach rozwoju powinny opierać się na naukowych podstawach, władze polityczne powinny obierać kierunki rozwoju wskazane przez ekspertów, a tymczasem presja niezorientowanego lub wprowadzonego w błąd społeczeństwa zmusza do rezygnacji z właściwej drogi. Na podejmowanie decyzji wpływa wiele dodatkowych czynników, takich jak krótkoterminowość zajmowanych stanowisk, a w związku z tym troska o wynik kolejnych wyborów, ataki ze strony rywalizujących partii opozycyjnych, a także niezdolność rozróżnienia między merytorycznie poprawnymi a tendencyjnymi ekspertyzami. Na szczególną uwagę zasługuje rola środków masowego przekazu, których nieodpowiedzialne informacje i komentarze pogłębiają bezradność społeczeństwa w wyrobieniu rozsądnej opinii i rozbudzają opór przeciwko decyzji władz.

Trudną, lecz jedyną drogą, która w warunkach demokracji wiedzie do podejmowania mądrych decyzji, jest edukacja społeczeństwa i jego reprezentantów. Bez tego powstaje błędne koło. Brak wiedzy prowadzi do niedoceniania roli nauki i ograniczania jej finansowania, a kraj, w którym nauka jest lekceważona, nie będzie mieć ani mądrych doradców władzy, ani dobrych nauczycieli, którzy podniosą poziom wykształcenia społeczeństwa. Szerzy się niewiedza i wypierający rozsądek zabobon. Brak rzetelnej wiedzy u ludzi działających na różnych szczeblach hierarchii społecznej i nieodpowiedzialne wystąpienia kształtujące opinię publiczną mogą być źródłem wielu nieszczęść. W Polsce przykładami wymuszania przez społeczeństwo błędnych decyzji była likwidacja budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu, rezygnacja z odbudowy masztu radiowego w Gubinie (na szczęście mieszkańcy Solca Kujawskiego byli rozsądniejsi), opóźnienia w budowie tamy czorsztyńskiej (nb. zalew uratował duże obszary Podhala podczas powodzi w 1997 r.), kłopoty z lokalizacją składowiska odpadów promieniotwórczych.

2. Dlaczego boimy się energetyki jądrowej?

Lęk przed energetyką jądrową występuje niemal na całym świecie. Jest to zjawisko irracjonalne, o charakterze zbiorowej psychozy i dlatego tak trudno je wyeliminować. Przeciętny człowiek, nieufny w stosunku do poczynań władzy i nie przekonany o bezstronności ekspertów, nie jest jednocześnie zdolny do wyrobienia sobie własnego zdania, gdyż często brak mu elementarnych wiadomości. Jest zagubiony, a jego opinie są kształtowane przez środki masowego przekazu, które w pogoni za sensacją lansują niesprawdzone informacje i prezentują bzdurne komentarze. Wielce nieetyczne i naganne jest podawanie fałszywych faktów i pobłażliwy stosunek do głosicieli kłamstw, antagonizujących opinię społeczną.

Energetyka jądrowa jest dziedziną, w której demagogiczne wystąpienia łatwo wzbudzają emocje i prowadzą do różnych form protestu ludzi, odczuwających lęk przed nieznanym i bojących się wmawianych im zagrożeń. Brak wiedzy dotyczy przede wszystkim:

— fałszywie pojmowanego związku między cywilną energetyką i bronią jądrową;

— informacji na temat nowoczesnych, bezpiecznych reaktorów jądrowych;

— właściwej oceny wpływu promieniowania jądrowego na organizm;

— wiadomości o gospodarce odpadami radioaktywnymi;

— porównania skutków ekologicznych energetyki jądrowej i innych form energetyki.

Cywilna energetyka jądrowa stała się atutem w rozgrywkach politycznych, a niezorientowane w istocie problemu społeczeństwo jest poddawane naciskom

różnych grup, których demagogiczne wystąpienia rozbudzają emocje ludzi odczuwających lęk przed przeróżnymi wmawianymi im zagrożeniami.

3. Dlaczego Polska nie odczuwa braku energii elektrycznej?

W Polsce produkcja energii elektrycznej na jednego mieszkańca jest bardzo niska w porównaniu z krajami rozwiniętymi. Ilustruje to tab. 1.

Tabela 1. Roczna produkcja energii elektrycznej na jednego mieszkańca w wybranych krajach świata w 1995 r. (kWh).

Norwegia	28 242	Niemcy	6552
Kanada	18 140	Czechy	5886
Szwecja	16 652	Rosja	5805
USA	12 712	Bułgaria	4537
Finlandia	12 505	Słowacja	4624
Francja	8483	POLSKA	3603

Poziom 3603 kWh jest żenujący, gdyż plasuje nas na 24 miejscu listy krajów europejskich. Wśród europejskich krajów OECD gorsi są od nas pod tym względem tylko Grecy i Portugalczycy, ale tłumaczy ich cieplejsza strefa klimatyczna, bo mniej energii zużywają na ogrzewanie.

Nasuwa się pytanie, dlaczego w Polsce nie odczuwamy braku energii elektrycznej. Odpowiedź jest prosta. Przyczyną jest kuriozalna struktura energii finalnej dostarczanej w Polsce użytkownikom.

Nie ulega wątpliwości, że energia elektryczna jest najcenniejszą postacią energii finalnej. Jej wykorzystanie nie zanieczyszcza środowiska, łatwo ją przesyłać, a jej przetwarzanie na energię użytkową (ciepło, światło i ruch mechaniczny) jest bardzo wydajne. Chociaż w krajach rozwiniętych, dzięki restrukturyzacji przemysłu i wprowadzeniu energooszczędnych technologii, całkowite zużycie energii stabilizuje się, a nawet spada, to zużycie energii elektrycznej stale się zwiększa. Moc zainstalowana w elektrowniach wzrasta i to na ogół w coraz szybszym tempie.

Chociaż roczne zużycie globalne energii na mieszkańca w Polsce nie odbiega znacznie od zużycia w europejskich krajach OECD, to struktura zużycia energii finalnej wyróżnia Polskę w sposób drastyczny. Ilustruje to tab. 2.

W 1989 r. ponad 37% energii dostarczanej do odbiorców stanowił węgiel. W 1996 r. jego udział wynosił 30% i był prawie 5-krotnie wyższy niż w krajach rozwiniętych. Oznacza to, że oprócz węgla spalanego jako paliwo pierwotne w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych, gdzie przy wysokich nakładach finansowych można ograniczyć emisję pyłów, SO_2 i NO_x (ale nie CO_2), olbrzymie ilości węgla są zużywane w różnych gałęziach przemysłu, spalane w ponad milionie małych, rozproszonych kotłowni i w ponad 10 milionach indywidualnych pieców i kuchni węglowych. W 1995 r. w przemyśle paliwowo-energetycznym redukcja emisji szkodliwych gazów wyniosła zaledwie 4,8%, a globalna redukcja w przemyśle nie przekroczyła 28%. W przypadku rozproszonych kotłowni i indywidualnych palenisk ograniczenie emisji szkodliwych substancji praktycznie nie istnieje. Tymczasem źródła te są odpowiedzialne za emisję 25% SO_2. Zwalczyć tę tzw. „niską emisję", rozprzestrzeniającą się lokalnie, przede wszystkim w miastach, a więc najbardziej szkodliwą, można jedynie przez zmianę struktury energii finalnej – przez zastąpienie węgla energią elektryczną i gazem ziemnym.

Moc zainstalowana w elektrowniach zawodowych w Polsce wynosiła w grudniu 1995 r. 33 142 MW(e), w tym moc elektrowni weglowych stanowi 93,3%, a wodnych zaledwie 6,7%. Oparcie produkcji energii elektrycznej na spalaniu węgla i olbrzymi udział węgla w energii finalnej powoduje, że Polska jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych krajów świata. Emisja 4300 tys. ton SO_2 w 1987 r. sytuowała nas na drugim po ZSRR miejscu na liście krajów europejskich. Obecnie zmalała do 2,4 mln ton, ale przyczyną tego jest przede wszystkim spadek zapotrzebowania na energię, a w znacznie mniejszym stopniu budowa instalacji oczyszczających gazy odlotowe.

Do 2010 r. zużycie energii elektrycznej w Polsce powinno wzrosnąć co najmniej dwukrotnie, czyli przynajmniej do 7000 kWh rocznie na jednego mieszkańca. Nawet gdyby to się udało osiągnąć, to i tak będziemy się wlec w ogonie rozwiniętych krajów europejskich, których mieszkańcy będą wówczas zużywać średnio 1,5 raza więcej energii elektrycznej. Nadal będziemy mieli kłopoty z wywiązywaniem się z umów międzynarodowych, narzucających ograniczenie emisji substancji szkodliwych dla środowiska.

Tabela 2. Struktura zużycia energii finalnej w Polsce w 1995 r. (%).

Węgiel	29,7
Ropa naftowa	16,8
Gaz ziemny	12,2
Energia elektryczna	15,2
Ciepło scentralizowane	24,0
Inne źródła	2,1

Jeżeli przyjmiemy, że do 2010 r. trzeba podwoić zaopatrzenie kraju w energię elektryczną, to moc zainstalowana w polskich elektrowniach powinna wzrosnąć o 30 000 MW(e). Należy przy tym wziąć pod uwagę smutny fakt, że znaczna część naszych elektrowni węglowych pilnie wymaga kapitalnych remontów. Bilans przedsięwzięć w polskiej elektroenergetyce prowadzi do wniosku, że zakończenie budowy elektrowni cieplnej Opole i szczytowo-pompowej elektrowni wodnej

Młoty zaledwie skompensuje wycofywane moce i bez budowy nowych elektrowni moc zainstalowana nie ulegnie zmianie.

Już w najbliższych latach musimy wobec tego rozpocząć budowę nowych elektrowni, aby do 2010 r. osiągnąć zainstalowaną moc 60 000 MW(e). Jakie elektrownie powinniśmy budować? Jeśli pominiemy niepoważne projekty oparcia polskiej elektroenergetyki na bateriach słonecznych, wiatrakach lub spalaniu słomy i jeśli uwzględnimy fakt, że niestety nasze rzeki nie niosą dostatecznie dużo energii, żeby elektrownie wodne mogły stanowić znaczące źródło energii elektrycznej, to jesteśmy skazani na elektrownie cieplne i trzy rodzaje paliw: węgiel, gaz ziemny i paliwo jądrowe. Należy te trzy źródła energii elektrycznej wziąć pod uwagę i wybrać najkorzystniejszy model rozwoju polskiej elektroenergetyki.

Zastąpienie energią elektryczną węgla dostarczanego konsumentom wymaga, oprócz radykalnego wzrostu mocy zainstalowanych w elektrowniach, takiej zmiany cen, żeby to się opłacało użytkownikom. Dotowanie przez państwo węgla musi być zastąpione dotowaniem energii elektrycznej. Związane z tym problemy nie zmieniają logiki wywodu o pilnej konieczności zasadniczych zmian struktury energii finalnej w Polsce.

4. Upowszechnianie i popularyzacja nauki

Bardzo często wyniki badań naukowych są niezrozumiałe dla społeczeństwa, a hermetyczność języka uczonych nie sprzyja ich objaśnianiu. Społeczeństwo traci przekonanie o wartości i znaczeniu nauki i o konieczności popierania jej rozwoju. W powstającą lukę wdzierają się zabobony i pseudonauki. Ludzie wierzą w astrologię, numerologię, we wróżenie z fusów po kawie.

Uczeni muszą odzyskać zaufanie społeczeństwa, muszą je przekonać, że tylko nauka może dać odpowiedź na wyzwania, jakie stwarza rozwój cywilizacji. Muszą znaleźć ze społeczeństwem wspólny język oraz podjąć się kompetentnej i rzetelnej popularyzacji wyników badań.

Przed podejmowaniem błędnych decyzji o zgubnych dla kraju skutkach może ustrzec dogłębna akcja informacyjna jak najszerszych kręgów społecznych, wyjaśniająca w sposób popularny, a równocześnie merytorycznie poprawny powstające problemy. Niezbędne jest wprowadzenie tych problemów do programów nauczania, co pozwoli na przygotowanie młodzieży, a więc następnych pokoleń, do podejmowania i popierania mądrych decyzji.

Ludzie powinni odzyskać zaufanie do uczonych, zaś uczeni powinni dołożyć starań, aby znaleźć wspólny język ze społeczeństwem oraz podjąć się kompetentnej i rzetelnej popularyzacji wyników badań naukowych.

5. Krótka ocena dyskusji

W dyskusji w sali Politechniki w Białymstoku wzięło udział ponad 200 osób. Połączenie internetowe z Uniwersytetem Warszawskim pozwoliło na udział zgromadzonych tam dwudziestu kilku osób, w tym dra Stanisława Latka, dyrektora Departamentu Szkolenia i Informacji Społecznej Państwowej Agencji Atomistyki.

Problemy, które były przedmiotem największego zainteresowania i wywołały najbardziej burzliwą dyskusję, to:

— czy likwidacja budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu była uzasadniona;

— jakie są szanse na wykorzystywanie w Polsce źródeł energii odnawialnej, w szczególności energii wodnej i wiatru;

— jakie były przyczyny i prawdziwe skutki katastrofy w Czarnobylu oraz jakie były jej skutki w Polsce;

— w jakim stopniu spalanie węgla można w Polsce zastąpić spalaniem drewna i resztek upraw (słomy);

— jakie są sposoby bezpiecznego przechowywania zużytego paliwa jądrowego;

— jaką groźbę stanowią olbrzymie zapasy głowic nuklearnych wytworzonych przez mocarstwa atomowe i jak można unieszkodliwić i zużytkować zawarty w nich pluton.

Zdeklarowanymi przeciwnikami energetyki jądrowej okazało się kilku fizyków, którzy zresztą od dawna prezentują takie stanowisko. Znacznie więcej, bo kilkanaście osób, wyraziło szereg wątpliwości, ale trudno stwierdzić, w jakim stopniu te wątpliwości zostały rozwiane przez wyjaśnienia udzielane przez animatora dyskusji i innych dyskutantów.

Fizyka związana z Ziemią

Aleksander Guterch

Instytut Geofizyki PAN, Warszawa

Jedna z sesji satelitarnych XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku dotyczyła fizyki związanej z Ziemią, a ściślej wybranych zagadnień fizyki wnętrza Ziemi. Pierwszy referat dotyczył struktury i własności fizycznych litosfery Ziemi, sięgającej do głębokości 80–150 km. Autorami referatu byli Aleksander Guterch i Marek Grad. Pierwszy z autorów referatu przedstawił główne wyniki badań międzynarodowego eksperymentu sejsmicznego znanego jako POLONAISE '97 Experiment (POlish Lithospheric ONsets – An International Seismic Experiment 1997). Było to największe przedsięwzięcie badawcze tego typu w światowej geofizyce, zrealizowane głównie na obszarze zachodniej i północno-wschodniej Polski w szerokiej współpracy międzynarodowej ekip naukowych i technicznych z Polski, USA, Kanady i wielu krajów zachodnioeuropejskich. Autor prezentacji zwrócił uwagę, że przeprowadzony eksperyment był pod względem metodycznym przedsięwzięciem nowatorskim, bez precedensu w skali światowej. Bardzo złożone pod względem organizacyjnym, logistycznym i technicznym przedsięwzięcie badawcze, realizowane na obszarze ok. 150 000 km^2 z udziałem ok. 600-osobowego zespołu, wymagające ogromnej precyzji i dokładności, przebiegło wg oceny ośrodków zagranicznych niezwykle sprawnie. Na przykład, eksplozje ładunków wybuchowych generujących fale sejsmiczne zostały zaprogramowane i wykonane automatycznie przy zastosowaniu satelitarnego systemu GPS oraz komputerów z dokładnością do mikrosekundy.

Główny cel eksperymentu POLONAISE '97 został osiągnięty. Otrzymano nowe dane o strukturze skorupy ziemskiej i dolnej litosfery do maksymalnej głębokości 60–120 km, o znaczeniu odkrywczym i z niespotykaną dotychczas dokładnością. A. Guterch w swoim wystąpieniu przedstawił główne wyniki tych badań, o znaczeniu kontynentalnym, a nawet w pewnym zakresie o znaczeniu planetarnym. Prelegent zwrócił uwagę, że współczesne badania geofizyczne i geologiczne muszą przekroczyć dotychczasową barierę technologiczną i zdecydowanie zwiększyć zasięg dokładnej penetracji głębszych struktur skorupy ziemskiej i dolnej litosfery, stanowiących zewnętrzną powłokę Ziemi. Wielkie programy naukowe zrealizowane w ostatniej dekadzie dowiodły bowiem ponad wszelką wątpliwość, że ewolucja geologiczna kompleksu osadowego skorupy ziemskiej pozostaje w ścisłym związku z budową i ewolucją jego podłoża litosferycznego. Przyszły globalny rozwój cywilizacyjny świata będzie oczekiwał od nauk o Ziemi dokładnej wiedzy o strukturze i składzie całej litosfery oraz występujących w niej zasobach naturalnych. Daje temu wyraz inicjatywa podjęta przez Organizację do Współpracy Ekonomicznej i Rozwoju (Organization for Economic Cooperation and Development – OECD), wzywająca społeczność międzynarodową do konsolidacji i intensyfikacji działań zmierzających do dokładnego rozpoznania struktury litosfery. Główne przedsięwzięcia naukowe służące temu celowi to głębokie wiercenia i towarzyszące im wielodyscyplinarne, nowoczesne badania geofizyczne w otworach oraz głębokie badania sejsmiczne, prowadzone zarówno w układzie 2-wymiarowym, jak i 3-wymiarowym. Są to przedsięwzięcia badawcze kosztowne, pod względem technologicznym bardzo złożone, a zatem wymagające szerokiej współpracy międzynarodowej. Wyniki badań osiągnięte tymi metodami stanowią podstawę dla wielu specjalizacji z zakresu nauk o Ziemi. Mają wybitne znaczenie strategiczne zarówno dla badań aplikacyjnych, jak i podstawowych.

Zrealizowany projekt POLONAISE '97 stanowi pierwszą część tzw. sejsmicznych refrakcyjnych i szerokątowych refleksyjnych badań prowadzonych w Polsce w ramach ogólnego programu, będącego przedmiotem polityki państwa w dziedzinie głębokich badań geologicznych i geofizycznych. Prelegent poinformował również w swoim wystąpieniu, że kolejny program, który obejmie południową i wschodnią Polskę, Słowację, Węgry, Czechy, Austrię i północno-wschodnie Włochy oraz południowo-wschodnie Niemcy, jest planowany na czerwiec 2000 roku. W realizacji tego programu weźmie udział ponad 20 instytucji naukowych z USA, Kanady i Europy Zachodniej, w tym znane amerykańskie Konsorcjum IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), skupiające ponad 80 instytucji geofizycznych w USA. Program badań głębokich struktur litosfery na wymienionym obszarze, o kluczowym znaczeniu dla kontynentu europejskiego, będzie realizowany w ramach dwóch projektów razem wykonywanych. Projekty te są znane jako CELEBRATION 2000 (Central European Lithospheric Experiment Based on Refraction) i RISK 2000 (Seismic Risk and Hazards). Centrum operacyjne dla obydwu projektów

mieści się w Instytutach Geofizyki: PAN i na Wydziale Fizyki UW. Pełna realizacja całego programu opartego na obydwu projektach stwarza niepowtarzalną szansę otrzymania nowoczesnego obrazu głębokich struktur litosfery obszaru Polski w ścisłym nawiązaniu do całego kontynentu europejskiego. Dzięki szerokiej współpracy międzynarodowej koszty realizacji tego znaczącego przedsięwzięcia naukowego zostaną zredukowane do minimum, otrzymany zaś w ten sposób obraz struktury litosfery stworzy głębokie ramy tektonofizyczne dla przyszłej 3-wymiarowej interpretacji budowy litosfery obszaru Polski – jako jednego z najistotniejszych geosystemów kontynentu europejskiego.

Tego typu programy badawcze, zmierzające do stworzenia ram geotektonicznych dla 3-wymiarowej interpretacji geofizycznej i geologicznej, są już realizowane lub projektowane w przodujących krajach świata. Przykładem jest program francuski „The scientific programme for 3D geological and geophysical imaging of France's subsurface". Realizowany jest również niezwykle bogaty program sejsmicznych badań struktury litosfery w Niemczech, zmierzający do stworzenia 3-wymiarowego obrazu budowy geologicznej kraju. W czerwcowym numerze prestiżowego pisma Amerykańskiej Unii Geofizycznej *EOS* (**80**, nr 22, June 1, 1999) opublikowana została informacja o nowym programie głębokich badań sejsmicznych i geologicznych, któremu patronuje Służba Geologiczna USA i szereg najbardziej zainteresowanych organizacji naukowych, wspomaganych przez National Science Foundation. Program ten zmierza do realizacji opracowania, w ciągu najbliższych 10 lat, 3-wymiarowego obrazu całej tektonosfery Ameryki Północnej, do głębokości kilkuset km. Jest to w Stanach Zjednoczonych jeden z priorytetowych projektów, który przygotowuje podstawy dla dalszego rozwoju cywilizacyjnego kraju w różnorodnych aspektach – od dokumentacji zasobów mineralnych i ich genezy do określenia ryzyka sejsmicznego i ewolucji Ziemi. Koszty i znaczenie programu amerykańskiego są porównywalne, jak piszą jego autorzy, z przedsięwzięciem naukowym, jakie w badaniach kosmicznych spełnia Teleskop Hubble'a.

W podsumowaniu swojej prezentacji prelegent podkreślił, że zrealizowane i planowane eksperymenty sejsmiczne na obszarze Polski i krajów przyległych mają także wybitne znaczenie integracyjne. Prowadzą bowiem do stworzenia w Europie wspólnej przestrzeni naukowej, co ma szczególne znaczenie dla nauk o Ziemi. Nauki te działają bowiem na kontynencie podzielonym licznymi granicami państw, często uniemożliwiającymi traktowanie Europy jako jednolitego obiektu badań geodynamicznych. Ten aspekt programów badawczych zainicjowanych w Polsce jest wysoko ceniony zarówno przez Europejską Fundację Naukową, jak i Komisję Europejską w Brukseli.

Marek Lewandowski w referacie pt. „Geomagnetyzm i jego znaczenie dla rekonstrukcji globalnych procesów geodynamicznych" przedstawił aktualny stan wiedzy o historii rozpadu megakontynentu Pangei, który to proces rozpoczął się ok. 200 milionów lat temu z końcem triasu i trwa do dziś. Dzisiejszy rozkład kontynentów i oceanów jest efektem tego rozpadu, będącego konsekwencją procesów rozrywania, czyli ryftogenezy skorupy kontynentalnej. Historia rozpadu Pangei została utrwalona w dnach nowo powstałych oceanów i jest odczytywana dziś przede wszystkim metodami magnetyzmu ziemskiego i stratygrafii, co umożliwia rekonstrukcję tego megakontynentu.

O ile generalna historia rozpadu Pangei jest dość dobrze poznana, o tyle jej powstanie stanowi przedmiot dyskusji. Przedstawione przez M. Lewandowskiego interpretacje paleograficzne, obejmujące okres od początku ordowiku po schyłek karbonu (485–295 mln lat), tworzą spójny obraz rozwoju paleogeograficznego. W prezentacji wykorzystano dwie dziedzinowo odmienne metody: paleomagnetyczną i paleoklimatyczną. Pierwsza z nich umożliwia ilościowe określanie paleoszerokości bloku skorupowego oraz jego orientację względem paleobieguna poprzez badanie namagnesowania szczątkowego skał. Metoda druga daje podobne możliwości, ale tylko jakościowe. Autor referatu opierał się na wynikach badań własnych oraz na materiałach opublikowanych w literaturze przedmiotu w ciągu ostatnich 10 lat.

Za punkt wyjścia przyjęto dość szeroko akceptowaną rekonstrukcję Neumana (1984) dla dolnego ordowiku. Ze względu na ograniczenia metodologiczne przyjęto dodatkowe założenie o możliwie najmniejszych prędkościach bloków skorupy i możliwie najmniejszych odległościach pomiędzy nimi. Starano się także utrzymać stałą prędkość bloków skorupowych, opierając się na przekonaniu, że zmiany prędkości komórki konwekcyjnej w płaszczu, szczególnie w krótkim czasie, są trudne do wyjaśnienia z tektonofizycznego punktu widzenia.

Jak wynika z przedstawionych przez M. Lewandowskiego rekonstrukcji, budowa geologiczna kontynentu europejskiego na zachód od granicy starego kratonu prekambryjskiego Wschodniej Europy, która na obszarze Polski biegnie w przybliżeniu wzdłuż linii Kołobrzeg-Warszawa-Lublin, została ukształtowana wskutek następujących po sobie kolizji mniejszych fragmentów skorupowych, odrywanych od latyno-afrykańskiej krawędzi Gondwany. Ta ostatnia była megakontynentem złożonym z Ameryki Południowej, Afryki, Antarktydy, Australii i mniejszych bloków.

Dyskusja po referacie dotyczyła głównie skali dokładności przedstawionych rekonstrukcji, mechanizmu procesów odpowiedzialnych za ruchy bloków tektonosfery oraz ich związków z ewolucją wnętrza Ziemi.

Procesy fizyczne zachodzące w ogniskach trzęsień ziemi były przedmiotem kolejnego referatu, którego autorami byli Roman Teisseyre i Zbigniew Czechowski. Referat na sesji przedstawił Zbigniew Czechowski, stwierdzając na wstępie, że trzęsienia ziemi są w swojej istocie procesami zniszczenia, zachodzącymi

w ogromnej skali w tektonosferze Ziemi. W referacie omówione zostały na początku zjawiska trzęsień ziemi w statystycznym opisie mikroskopowym, a następnie w skali makroskopowej. W referacie przedstawiono modele zniszczenia ośrodka z defektami oparte na teorii dyslokacji. Opisują one takie zjawiska, jak procesy akumulacji naprężeń w ośrodku niejednorodnym, tworzenie się mikroszczelin i makroszczelin, propagację szczelin, ewolucję przemieszczeń na uskokach, oddziaływanie między uskokami oraz periodyczne, jak również nieregularne, zachowanie się układów uskoków tektonicznych. Przedstawiono również kinetyczny model ewolucji szczelin, stanowiący rozszerzenie podejścia dyslokacyjnego na opis, w którym podstawowymi obiektami są szczeliny.

Dyskusja po referacie dotyczyła głównie zasadności użycia dyslokacji, które utożsamiano z mikrostrukturą kryształów, a nie z obiektem teorii matematycznej. Pytania dotyczyły również problemu prognozowania trzęsień ziemi. W odpowiedzi autor referatu odpowiedział jednoznacznie – na obecnym etapie wiedzy o procesach dynamicznych zachodzących we wnętrzu Ziemi oraz wiedzy o jej strukturze i parametrach fizycznych przewidywanie trzęsień ziemi jest mało prawdopodobne.

Omówione referaty wyczerpały program sesji.

O niektórych głównych nurtach dydaktyki fizyki w Polsce

Jerzy Warczewski

Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski, Katowice

Główna tematyka sesji „Nauczanie fizyki", a także dyskusji okrągłego stołu, która nastąpiła bezpośrednio po sesji, to:

1) wszechstronne wykorzystanie multimediów,

2) zasady dydaktyki fizyki w okresie wdrażania reformy systemu edukacji,

3) kształcenie i doskonalenie nauczycieli,

4) dydaktyka fizyki jako dyscyplina naukowa.

Ad 1.

Znakomite symulacje i animacje komputerowe zjawisk zademonstrowali podczas swoich wykładów dr hab. Ryszard Kutner („Symulacje komputerowe w nauczaniu w szkołach średnich i podstawowych"), dr Daniel Roth (Niemcy) („Use of multimedia in university teaching – the FIPS project") i prof. Jerzy Ginter („Ruchome ilustracje do »Fizyki fal«" – [1], s. 67). Ich wystąpienia dowiodły, że mamy do czynienia z nowym, potężnym narzędziem dydaktyki fizyki, które zresztą jest już dość powszechnie – szczególnie za granicą – stosowane. W Polsce przeszkodą w masowym posługiwaniu się tym narzędziem jest dotąd z jednej strony niedofinansowanie uczelni i szkół, z drugiej strony zaś brak doświadczenia i przygotowania kadry nauczycielskiej. Oczywiście ta sytuacja może i powinna zmienić się należycie szybko.

Symulacje i animacje komputerowe zjawisk są cenne dla dydaktyki fizyki z kilku powodów. Otóż po pierwsze, za ich pomocą można ukazać przebieg takich zjawisk, których w rzeczywistości w ogóle nie można obserwować (np. reakcja łańcuchowa, rozpad promieniotwórczy itd.). Po drugie, można ukazać za ich pomocą przebieg wszelkich zjawisk, mając równocześnie możność dowolnego zmieniania wartości wielkości fizycznych opisujących te zjawiska. Ma to ogromne znaczenie edukacyjne, w przypadku zaś szkół, które nie mogą sobie pozwolić na zakup aparatury potrzebnej do przeprowadzania realnych eksperymentów, jest to znakomite wyjście, aby dać uczniom wyobrażenie o przebiegu zjawiska. Trzeba tu podkreślić, że symulacje i animacje komputerowe nawet tych zjawisk, których przebieg możemy ukazać za pomocą realnej aparatury, stanowią niezwykle ważne uzupełnienie i wzbogacenie procesu dydaktycznego również z tego powodu, że czynią one wykład telewizyjny bardziej zrozumiałym, co ma podstawowe znaczenie przy nauczaniu na odległość.

W dyskusji postulowano, aby nauczycielom fizyki przeznaczono nie mniej komputerów niż nauczycielom informatyki. Postulowano również, aby Polskie Towarzystwo Fizyczne na swoich stronach internetowych umieściło obszerną encyklopedię fizyczną. Chodzi o to, aby była ona sformułowana na różnych poziomach popularyzacji, tak aby była użyteczna dla odbiorców na różnym poziomie przygotowania (tj. dla szerokiego ogółu, dla uczniów, dla studentów, dla naukowców).

Prof. Henryk Szydłowski w swoim wykładzie pt. „Wykorzystanie komputera w kształceniu fizyków: stan obecny i perspektywy" ([1], s. 59) omówił zastosowanie komputerów w fizycznych i informatycznych pracowniach studenckich. Poruszył także problem zastosowań komputera do rozwiązywania zadań rachunkowych, przy czym zauważył, że jest to dziedzina także wciąż zaniedbana.

Wykład dra Jacka Gajewskiego „IdS – Program »Internet dla Szkół«" ([1], s. 61) nie odbył się.

Ad 2.

Prof. Władysław Błasiak w swoim wykładzie pt. „Zadania, szanse i ograniczenia dydaktyki fizyki w świetle reformy systemu edukacji" ([1], s. 65) poruszył m.in. zagadnienie konieczności współgrania programu nowego (zintegrowanego) przedmiotu „przyroda" i programu nauczania fizyki w wyższych klasach. Podkreślił „dramatycznie złą sytuację nauczania fizyki w nowym systemie szkolnym" i sformułował wynikające stąd zadania dla fizyków i dydaktyków fizyki. Podkreślił również potrzebę pilnego stworzenia mechanizmów promowania badań z zakresu dydaktyki fizyki.

Dr Zofia Gołąb-Meyer w swoim wykładzie pt. „Czy zagraża nam rewolucja w nauczaniu fizyki?" ([1], s. 67) zajęła się zagrożeniami, jakie niesie rewolucja nauczania fizyki w szkołach. Nakreśliła bardzo pesymistyczny (lecz prawdziwy!) obraz stanu nauczania fizyki w szkołach polskich, ukazując jego kryzys i to zarówno „od wewnątrz" (niski poziom nauczycieli), jak i „od zewnątrz" (niedofinansowanie szkolnictwa, ciemnota społeczeństwa i środków masowego przekazu

powodująca niechęć do fizyki i fizyków, ograniczenie liczby godzin nauczania fizyki w szkole). Wskazała środki zaradcze, jakie fizycy powinni podjąć, aby te zagrożenia zmniejszyć do minimum.

Wykład prof. Edwarda Kapuścika pt. „Czego łatwiej się nauczyć: fizyki czy gry w szachy" ([1], s. 70) nie odbył się.

Prof. Danuta Bauman przedstawiła wykład pt. „Nauczanie fizyki w wyższych szkołach technicznych" ([1], s. 63), w którym postulowała taką modernizację nauczania fizyki w wyższych szkołach technicznych, aby spełniona była zasada prof. Andrzeja Olesia z AGH, że „fizyka dzisiejszych laboratoriów badawczych – technologią jutra". Chodzi o to, aby wyższe uczelnie techniczne dawały swoim absolwentom wiedzę opartą na fundamencie fizyki współczesnej i umożliwiającą im podjęcie działań w kierunku nowych technologii i konstrukcji nowych maszyn.

Prof. Jerzy Janik w dyskusji wskazał na niezwykle szkodliwą rolę – tak modnej obecnie na Zachodzie – ideologii postmodernizmu, podaje ona bowiem w wątpliwość kryteria racjonalności i koncepcję autonomicznej, obiektywnej nauki. Taka ideologia może tylko zniechęcić uczniów do nauki fizyki i ostatecznie odwrócić niedokształcone społeczeństwo od fizyki. Prof. Janik omówił także negatywną rolę tej ideologii na przykładzie nauczania przedmiotu „przyroda" w szkole norweskiej.

Mgr Urszula Woźnikowska-Bezak apelowała o wcześniejsze niż dotychczas informowanie o regulaminie młodzieżowych konkursów naukowych, aby umożliwić młodzieży właściwe przygotowanie do tych konkursów.

W dyskusji apelowano także o precyzyjniejszą definicję biofizyki i wyrażono ubolewanie z powodu skreślenia z programu szkolnego elementów astrofizyki.

Ad 3.

Dyskusja na temat kształcenia i doskonalenia nauczycieli była raczej przepełniona pesymizmem (uzasadnionym!) i tylko dwa wystąpienia rozbłysły na tym tle nieco optymistyczniej. Pierwsze z nich to wspólne wystąpienie dwóch wyróżniających się nauczycielek: mgr Marii Kuśmierek z Warszawy i mgr Beaty Ryl z Katowic, które zdały relację z niewątpliwie ekskluzywnego pobytu kształceniowego w CERN-ie w Genewie, zorganizowanego dla nauczycieli z całej Europy. Nasuwa się tu komentarz, że gdyby takie wyjazdy były zjawiskiem masowym wśród polskich nauczycieli fizyki, to moglibyśmy być spokojni o ich kondycję profesjonalną. Jednakże jest to z wielu powodów niemożliwe. Dlatego proponuję, aby zorganizować na terenie wydziałów fizyki polskich wyższych uczelni coroczne, intensywne (co najmniej 2-tygodniowe) kursy (zjazdy) kształceniowe wszystkich nauczycieli fizyki. Kursy te powinni prowadzić w ramach swojego pensum najznakomitsi i najbardziej doświadczeni polscy profesorowie. Wtedy moglibyśmy mieć większą nadzieję na pozytywną przemianę jakościową całej rzeszy polskich nauczycieli fizyki, a w konsekwencji na polepszenie jakości procesu dydaktycznego w szkołach, gdyż spełniona byłaby tu zasada, że ten może uczyć innych, kto się sam uczy (zapewne część nauczycieli to robi, ale nie wszyscy).

Drugie wystąpienie w dyskusji to obszerna relacja dra Jana Dunina-Borkowskiego z Seminarium Europejskiego Towarzystwa Fizycznego w Malvern (UK), poświęconego strategii naprawy systemu nauczania fizyki w Europie. Była to unikalna impreza, gdyż zgromadziła 77 uczestników będących przedstawicielami 31 krajów i towarzystw fizycznych (uczestniczyło 22 prezesów, w tym prezes ZG PTF, oraz 5 byłych prezesów!). Motorem Seminarium był słynny brytyjski nauczyciel John Lewis, przewodniczył zaś prof. sir Arnold Wolfendale (prezes Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS) i Brytyjskiego Towarzystwa Fizycznego (Institute of Physics)), nawiasem mówiąc wielki przyjaciel Polaków. Podjęto szereg inicjatyw w celu rozbudzenia społecznej świadomości roli fizyki (poprzez szeroko zakrojoną popularyzację, w szczególności wśród polityków) oraz w celu doskonalenia nauczycieli fizyki. Ten ostatni cel chce EPS osiągnąć dzięki roli specjalnego Oddziału Edukacji EPS, który zadba o rozpowszechnienie odpowiednich publikacji IOP będących materiałami dla nauczycieli, a także o wzbogacenie Internetu o cały wachlarz programów. Wszelkie materiały i adresy internetowe mają być dostępne także dla polskich nauczycieli. Dr Jan Dunin-Borkowski poinformował, że decyzją ZG PTF ma powstać w Polsce Forum Edukacji Fizyki i Chemii, czyli stała grupa seminaryjna (pod patronatem Ministra EN). Celem tego Forum ma być znaczące polepszenie jakości nauczania fizyki w szkole, a także popularyzacja fizyki wśród szerokich mas społecznych, w tym także sfer rządzących. Należy zatem mieć nadzieję, że na pozytywne wyniki tej akcji nie będziemy musieli długo czekać.

Ad 4.

Prof. Jerzy Warczewski w swym wykładzie „Dydaktyka fizyki jako dyscyplina naukowa" ([1], s. 70) przedstawił akcję mającą na celu formalne nadanie statusu dyscypliny naukowej dydaktyce nauk fizycznych. Zacytował pełne teksty trzech pism: 1) swego pisma do Centralnej Komisji do Spraw Tytułu Naukowego i Stopni Naukowych zawierającego wniosek o formalne nadanie statusu dyscypliny naukowej dydaktyce nauk fizycznych (pismo to było zaopatrzone w obszerny załącznik – artykuł pod tytułem „Uwagi o podstawach dydaktyki fizyki", który ukazał się w *Postępach Fizyki* na 2 miesiące przed Zjazdem białostockim [2]; pismo było przesłane przez Dziekana i Radę Wydziału Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza), 2) pisma Dziekana Wydziału, prof. dr hab. Wojciecha Nawrocika popierającego wniosek, 3) odpowiedzi prof. dr hab. Osmana Achmatowicza, Sekretarza Centralnej Komisji do S.T.N. i S.N.

Pragnę zacytować dwa fragmenty z pisma prof. Achmatowicza:

„Prezydium Centralnej Komisji podzieliło pogląd wyrażony w piśmie Pana prof. dr hab. Jerzego Warczewskiego, że dydaktyka nauk fizycznych stanowi określony obszar badawczy, w którym istnieją odpowiednie warunki do prowadzenia pracy naukowej z możliwością wykorzystania jej wyników dla rozwoju nauki i kadry naukowej".

"Nie ma naszym zdaniem przeszkód do prowadzenia przewodów naukowych z ... zakresu dydaktyk szczegółowych ... w ramach dyscyplin głównych (tu np. fizyki), jeśli tylko w danej radzie wydziału istnieje przekonanie o potrzebie rozwoju tego kierunku nauki".

Jak widać z tych cytatów, a przede wszystkim z pełnego tekstu pisma prof. Achmatowicza, jest dzisiaj zielone światło dla uzyskiwania stopni naukowych i tytułu naukowego z dydaktyki nauk fizycznych w ramach fizyki, która jest tu dyscypliną główną. Można próbować robić to nie tylko na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu, lecz także w każdym innym uniwersytecie. Trzeba tylko mieć właściwego promotora oraz zrozumienie i poparcie danej rady wydziału.

Literatura

[1] Materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich, Białystok 20–23 września 1999 r., *Postępy Fizyki* **50**, zeszyt dodatkowy (1999).

[2] J. Warczewski, „Uwagi o podstawach dydaktyki fizyki", *Postępy Fizyki* **50**, 194 (1999).

Podsumowanie sesji „Fizyka i medycyna"

Anna Maria Kostrzewska

Akademia Medyczna, Białystok

Szybki i wielokierunkowy postęp w zastosowaniu zjawisk fizycznych w medycynie uniemożliwia bodaj pobieżne przedstawienie wszystkich dziedzin fizyki, które znalazły miejsce w praktyce medycznej. W sesji zatytułowanej „Fizyka i medycyna" przedstawiono referaty omawiające niektóre z nowoczesnych metod diagnostycznych i terapeutycznych, wykorzystujących zjawiska fizyczne. Wysłuchanie nawet tych z konieczności nielicznych wykładów zwraca uwagę na następujące fakty:

— nastąpił dynamiczny rozwój metod i technik pozwalających na obserwację takich zjawisk i obszarów ludzkiego organizmu, które do niedawna znajdowały się poza możliwością oceny nieinwazyjnej;

— wypracowane przez fizykę metody mogą wspomagać medycynę nie tylko w zakresie diagnostyki i terapii, lecz również służyć jako potężne i bardzo efektywne narzędzie poznawcze;

— polskie instytucje naukowe mają swój udział we współdziałaniu fizyki i medycyny. Przejawia się to nie tylko we współpracy z ośrodkami zagranicznymi mającej na celu rozwijanie i wdrażanie nowoczesnych metod i technik diagnostycznych i terapeutycznych, ale również w podejmowaniu trudnych i niezmiernie istotnych problemów dotyczących funkcjonowania złożonych struktur w obrębie organizmu człowieka.

Plamą na tym pozornie optymistycznym obrazie jest fakt, że sprawne i szybkie przenoszenie efektów licznych badań do praktyki medycznej jest niestety ograniczone przez wysokie i ciągle rosnące koszty zastosowania współczesnych metod i technologii. Znana, trudna sytuacja finansowa polskiej służby zdrowia stwarza niebezpieczeństwo pogłębiania się niełatwych do odrobienia opóźnień we wdrażaniu nowoczesnych metod postępowania medycznego w naszym kraju. Problem ten wielokrotnie podnoszono w czasie dyskusji towarzyszącej poszczególnym referatom.

Osiągnięcia ostatnich lat spowodowały, że coraz powszechniej docenia się korzyści płynące ze współdziałania fizyki i medycyny – dziedzin wiedzy do niedawna uważanych za raczej odległe. Dowodem na to jest z jednej strony podjęcie przez wiele placówek naukowych na świecie kształcenia specjalistów w zakresie fizyki medycznej i inżynierii biomedycznej (np. Johns Hopkins University, University of Wisconsin, McGill University, a w Europie – Uniwersytety w Lipsku, Oldenburgu czy Exeter), z drugiej zaś – powstanie prężnie działających organizacji międzynarodowych, skupiających w swych szeregach fizyków i inżynierów zainteresowanych rozwojem fizyki medycznej i inżynierii biomedycznej. Stowarzyszenia te wspierają merytorycznie, organizacyjnie i finansowo medyczne zastosowania fizyki, służąc pomocą przede wszystkim ludziom i ośrodkom z krajów rozwijających się. W pracach tych organizacji czynnie uczestniczą Polacy.

Kilka uwag na marginesie sesji poświęconej fizyce matematycznej

Aleksander Strasburger

Uniwersytet w Białymstoku oraz *Uniwersytet Warszawski*

Pierwsza w historii Zjazdów Fizyków Polskich sesja zjazdowa poświęcona fizyce matematycznej (23 września 1999 r.) jest wyrazistym dowodem wzrastającego zainteresowania i zrozumienia dla tej gałęzi fizyki w społeczności polskich fizyków. Od jakiegoś już czasu przekroczyła ona granice swoich gniazd rodzinnych, przede wszystkim Warszawy, Wrocławia, Torunia, i zaczęła być czynnie rozwijana w innych ośrodkach – Łodzi, Poznaniu, Gdańsku czy wreszcie w tym pociągającym i gościnnym Białymstoku, mieście-gospodarzu obecnego Zjazdu, gdzie łączą się i splatają ze sobą tak różne wątki i tradycje. Niestety, z konieczności krótka sesja nie była w stanie dać pełnego przeglądu tematyki uprawianej we wszystkich tych ośrodkach – niektóre ku żalowi organizatorów nie mogły być reprezentowane w ogóle z powodu kolizji z terminami innych, ważnych w ich naukowym życiu wydarzeń. Należy mieć jednak nadzieję, że przyszłe sesje zjazdowe poświęcone tej tematyce przyniosą bardziej zrównoważony przegląd dorobku wszystkich ośrodków, w których rozwijana jest fizyka matematyczna.

Prezentowane w dalszym ciągu cztery prace stanowią odbicie wszystkich referatów wygłoszonych w czasie sesji, ale z oczywistych powodów nie oddają w pełni klimatu tego spotkania, jego atmosfery duchowej przygody i intelektualnego wyzwania.

Można przyjąć, że fizyka matematyczna zaczęła być postrzegana jako odrębny dział fizyki w latach dwudziestych XX w. – tę samodzielność przypieczętowało ukazanie się w 1924 r. pierwszego tomu fundamentalnego dzieła Couranta i Hilberta *Methoden der mathematischen Physik*, do dziś pozostającego w wielu działach niezastąpionym źródłem informacji, choć niewątpliwie obejmującego swym zasięgiem bardzo ograniczony fragment dzisiejszej matematycznej fizyki. Jednocześnie ten sam okres był świadkiem powstawania stale poszerzającego się z upływem czasu rozdziału fizyki i matematyki – jak pisze K. Maurin we wstępie do tomu *Mathematical Physics and Physical Mathematics* (PWN, Warszawa 1976), zjawiska nie do pomyślenia dla poprzednich pokoleń badaczy. I dodaje dalej: „To, co nazywamy fizyką matematyczną, jest ostatnią desperacką próbą przerzucenia mostu nad tą przepaścią".

Kto wie, czy to nie właśnie świadomość tej poszerzającej się przepaści pod stopami nie jest jednym z ważniejszych czynników inspirujących wysiłki przeszłych i obecnych pokoleń fizyków matematycznych. Jak by to nie było naprawdę, na moście tym powstało przez te okrągłe siedemdziesiąt lat wiele wspaniałych i zapierających dech w piersiach budowli, z których okien podziwiać można zarówno jeden, jak i drugi brzeg. Wymieńmy tu młodą, a już bogatą wieloma wynikami teorię grup kwantowych czy też teorię strun, łączącą w niewiarygodny sposób opis zjawisk mikroświata z poziomu już nie subatomowego, a subcząstkowego, z niewyobrażalnie złożonymi obiektami teorii grup skończonych – sławny „Monster" czy „Monstrous Moonshine", których częściowe tylko oswojenie metodami teorii strun przyniosło odkrywcy Medal Fieldsa – równoważnik w matematyce Nagrody Nobla.

Wyrażone powyżej przekonanie o nieustannej wzajemnej inspiracji i przenikaniu się nowych i dawnych (świadomie nie używamy tu określenia „starych") idei w fizyce i matematyce znajduje, jak się wydaje autorowi tych słów, pełne potwierdzenie w treści zamieszczonych w dalszym ciągu referatów.

Pozostawiamy Czytelnikom samodzielne prześledzenie, jak w ich treści splatają się nowe i dawne pomysły i metody, w jaki sposób fizyczna inspiracja nadaje kształt matematycznym fragmentom teorii. Może to przynieść Czytelnikowi nie tylko estetyczną satysfakcję, ale także, a może przede wszystkim, pobudzić go do odkrywania własnej odpowiedzi na pytanie: „Dlaczego przyroda mówi do nas językiem matematyki?"

Co starego w solitonach?

Paweł Klimczewski, Antoni Sym

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

1. Wprowadzenie

Słynna książka Gabriela Lamégo pt. *Wykłady o współrzędnych krzywoliniowych i ich różnych zastosowaniach* (Paryż, 1859) kończy się takim oto proroctwem:

„Zatem nastanie nieuchronnie królestwo współrzędnych krzywoliniowych, które będą w stanie rozwiązać nowe problemy w całej ich ogólności. Tak, ta epoka definitywnie nadejdzie, lecz raczej późno: ci, którzy jako pierwsi wskazali te nowe narzędzia, odejdą i zostaną całkowicie zapomniani, chyba że jakiś geometra-archeolog ożywi ich imiona. Zresztą i tak najważniejsze jest to, aby nauka szła naprzód".

Oczywiście nazwisko Gabriela Lamégo nie uległo zapomnieniu, ale reszta proroctwa spełniła się i nadal się spełnia. Dzięki opracowanej przez Lamégo metodzie rozdzielania zmiennych potrafimy skutecznie rozwiązywać liczne problemy fizyki teoretycznej, opisywane liniowymi równaniami fizyki matematycznej. To właśnie z metody Lamégo wyrasta bogata i stale rozwijająca się teoria funkcji specjalnych w różnych ujęciach (np. grupowym). Jednym z najważniejszych spełnień proroctwa Lamégo jest fundamentalna praca L.P. Eisenharta [1], w której pokazano, że stacjonarne równanie Schrödingera zapisane w ortogonalnym układzie współrzędnych dopuszcza rozdzielenie zmiennych względem jedenastu wyróżnionych układów [2].

Rzeczywiście, układy Eisenharta występują bardzo często w fizyce teoretycznej. Na przykład, tzw. rozwiązanie Kerra próżniowych równań Einsteina (neutralna, obracająca się jednostajnie, czarna dziura) można zapisać w tzw. „wydłużonych współrzędnych sferoidalnych" (są na liście Eisenharta) jako funkcję liniową dwóch argumentów [3]!

Jednak użyteczność układów ortogonalnych w fizyce teoretycznej nie jest przedmiotem niniejszego eseju. Dla nas – jako „geometrów-archeologów" – najistotniejsze jest to, że najgłębsze zakorzenienie w przeszłości współczesnej teorii solitonów tkwi w programie badawczym Lamégo. Jest rzeczą ciekawą, że fascynacja czymś, co można nazwać s t a r ą t e o r i ą s o l i t o n ó w, udzieliła się ostatnio również twórcom nowoczesnej teorii solitonów. W pracy [4] V. Zakharov, omawiając osiągnięcia klasycznej geometrii różniczkowej w zakresie układów ortogonalnych w E^n, zauważa:

„The milestone in history of this problem was a fundamental monography *Leçons sur les systèmes orthogonaux et* ... by G. Darboux printed in Paris in 1910. It is really astonishing, how exciting are many pages of this book to a person familiar with the modern mathematical theory of solitons!"

2. Równania Lamégo – najstarszy układ solitonowy

Ortogonalny układ współrzędnych w E^3 możemy – za G. Lamém – zadać i m p l i c i t e

$$u^i = f^i(x,y,z) \qquad (i=1,2,3) \tag{1}$$

jako lokalny dyfeomorfizm prowadzący od współrzędnych kartezjańskich (x,y,z) do współrzędnych krzywoliniowych (u^1,u^2,u^3) z dodatkowym żądaniem (ortogonalność!):

$$a \neq b \quad \Rightarrow \quad \nabla f^a \cdot \nabla f^b = 0, \tag{2}$$

gdzie ∇ = grad, zaś kropka oznacza zwykły iloczyn skalarny w E^3. Odwracając zależności (1), otrzymujemy definicję e x p l i c i t e ortogonalnego układu współrzędnych.

Zależności (2) implikują, że metrykę przestrzeni E^3 możemy we współrzędnych (u^i) zapisać następująco:

$$\mathrm{d}s^2 = H_1^2(u^i)(\mathrm{d}u^1)^2 + H_2^2(u^i)(\mathrm{d}u^2)^2 + H_3^2(u^i)(\mathrm{d}u^3)^2. \tag{3}$$

Współczynniki $H_a(u^i)$ noszą nazwę funkcji Lamégo. Funkcje H_a muszą spełniać tzw. r ó w n a n i a L a m é g o, które geometrycznie wyrażają fakt, że E^3 jest płaska:

$$H_{a,bc} - \frac{H_{a,b}H_{b,c}}{H_b} - \frac{H_{a,c}H_{c,b}}{H_c} = 0, \tag{4}$$

$$\left(\frac{H_{b,a}}{H_a}\right)_{,a} + \left(\frac{H_{a,b}}{H_b}\right)_{,b} + \frac{H_{a,c}H_{b,c}}{H_c^2} = 0, \tag{5}$$

gdzie w (4) i (5) ciąg (a,b,c) przebiega (123), (231) i (312), a przecinek oznacza różniczkowanie. Jest to więc układ 6 równań drugiego rzędu. Także – odwrotnie – każde rozwiązanie (H_a) równań Lamégo

(przy spełnieniu pewnych warunków) definiuje implicite i z dokładnością do ruchu sztywnego w E^3 pewien ortogonalny układ współrzędnych. Przejście od rozwiązania (H_a) do postaci explicite wymaga rozwiązania pewnego układu liniowych równań różniczkowych cząstkowych na funkcje $x = x(u^i), y = y(u^i), z = z(u^i)$ zapisanego na stronie 89 (układ (28)) dzieła Lamégo. Układ ten zapisujemy tensorowo:

$$\boldsymbol{r}_{,ab} = \Gamma^c{}_{ab}\boldsymbol{r}_{,c}, \tag{6}$$

gdzie $\boldsymbol{r}(u^i) = x(u^i)\boldsymbol{i} + y(u^i)\boldsymbol{j} + z(u^i)\boldsymbol{k}$ ($\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ – baza ortonormalna w E^3), zaś $\Gamma^c{}_{ab}$ – symbole Christoffela metryki (3). I tu dotykamy solitonowej natury równań Lamégo! Warunkiem koniecznym i dostatecznym na istnienie rozwiązania równania (6) są właśnie równania Lamégo. Mówimy krótko: (4)+(5) są warunkami całkowalności równania (6). Notabene, wyrażają one nic innego, jak równość pochodnych mieszanych.

Taka koegzystencja układów: liniowego i nieliniowego charakteryzuje wszystkie układy solitonowe [5]. W terminologii solitonowej: układy solitonowe to warunki całkowalności dla problemów liniowych. Na przykład, układ (6) to problem liniowy dla równań Lamégo.

Istnienie problemu liniowego dla danego układu nieliniowego nie gwarantuje, że układ nieliniowy jest istotnie solitonowy. Niemniej równania Lamégo są rzeczywiście solitonowe.

Równania (4) można „odczepić" od równań (5). Izolowane równania (4) noszą nazwę równań Darboux (G. Darboux 1878) i są istotniejsze od więzów (5). Geometrycznie opisują w E^3 tzw. „układy sprzężone", które są uogólnieniem układów ortogonalnych [6]. Również równania Darboux są solitonowe.

Układy sprzężone w E^3 uogólniają się na układy (sieci) sprzężone w n-wymiarowych podrozmaitościach N-wymiarowych przestrzeni rzutowych ($n \leqslant N$). Odpowiednio do tego, równania (4) uogólniają się na n-wymiarowe równania Darboux. Te ostatnie to również układ solitonowy, będący zarówno dla „starych" geometrów, jak i dla współczesnych badaczy niewyczerpanym źródłem różnorodnych układów solitonowych. Nic więc dziwnego, że najstarsze równania solitonowe wykryto w XIX-wiecznej geometrii różniczkowej, o czym świadczy poniższa tabelka.

3. Równania Lamégo dzisiaj

Solitonowa natura równań zawartych w powyższej tabelce została potwierdzona w ramach współczesnej teorii solitonów, dysponującej skutecznymi, głównie spektralnymi narzędziami. W 1991 r. V. Dryuma jako pierwszy zauważył, że równania Darboux to abelowa redukcja tzw. układu Zakharowa–Manakova [7]

$$G_{a,bc} - G_{b,c}G_b^{-1}G_{a,b} - G_{c,b}G_c^{-1}G_{a,c} = 0. \tag{7}$$

Tutaj $G_a(u^b)$ są odwracalnymi macierzami.

W pracy [4] V. Zakharov, stosując najstarszą wersję tzw. „dressing method", znalazł obszerną klasę rozwiązań równań Lamégo, nie podając jednak odpowiadających im ortogonalnych układów współrzędnych.

Zainteresowanie współczesnej fizyki matematycznej układami ortogonalnymi w E^n w mniejszym stopniu wiąże się z metodą rozdzielania zmiennych. Dość nieoczekiwanie wykryto związek n-wymiarowych równań Lamégo z pewnymi układami hydrodynamicznymi [8], a także z tzw. „massive topological quantum field models" [9].

4. Jeszcze o starej teorii solitonów

Teoria sieci sprzężonych to dziś mniej popularna dyscyplina geometrii różniczkowej, uprawiana głównie w krajach byłego ZSRR z dość monotonnym stosowaniem techniki ruchomego reperu (E. Cartan). Kontrastuje to ze „złotym wiekiem" tej teorii, który umownie można zawrzeć w przedziale: lata 80. XIX–lata 20. XX wieku. Burzliwy rozwój teorii sieci sprzężonych w tamtej epoce podporządkowany był pewnej zasadzie, którą ze szczególną konsekwencją stosował Luigi Bianchi. Zasadę tę opisał Guido Fubini w tekście będącym hołdem pośmiertnym dla „Il Maestro Luigi Bianchi" [10]:

„Ogromna część dorobku naukowego Bianchiego bazuje na dwóch następujących pojęciach: transformacje i twierdzenia o przemienności".

Nazwa równania	Rok odkrycia	Autor
równania Lamégo: (4)+(5)	ok. 1840	Gabriel Lamé (1795–1870)
równanie sinh-Gordona: $\phi_{12} = \sinh\phi$	1863	Julius Weingarten (1836–1910)
równanie sin-Gordona: $\phi_{12} = \sin\phi$	1867 1868	Pierre-Ossian Bonnet (1819-1892) Alfred Enneper (1830–85)
równania Darboux	1878	Gaston Darboux (1842–1917)
równanie Darboux–Bianchiego: $\Theta_{,123} = \Theta_{,1}\Theta_{,23}\mathrm{ctg}\Theta - \Theta_{,2}\Theta_{,13}\mathrm{tg}\Theta$	1885 1910	Luigi Bianchi (1856-1928) Gaston Darboux

Dzisiejsza intepretacja tego tekstu: „transformacje" to z jednej (geometrycznej) strony transformacje sieci sprzężonych, z drugiej zaś (solitonowej) – geometryczne odpowiedniki transformacji Bäcklunda, bodaj najistotniejszej, uniwersalnej cechy układów solitonowych [5]. „Twierdzenia o przemienności" dotyczą właśnie takich transformacji, a ich bardzo ważną konsekwencją (jeszcze jedno „całkowalne" oblicze równań solitonowych!) są tzw. zasady nieliniowej superpozycji, albo na poziomie geometrycznym (powierzchni), albo też na poziomie rozwiązań.

Ta „zasada Bianchiego" znalazła liczne realizacje w dorobku innych mistrzów tamtej epoki, takich jak Gaston Darboux, Claude Guichard (1861–1924) czy Luther Pfahler Eisenhart (1876–1965). Ten ostatni jest autorem imponującej syntezy teorii transformacji sieci sprzężonych [11], którą równocześnie można traktować jako syntezę starej teorii solitonów.

Dziś stara teoria solitonów przeżywa swój renesans. Z dorobku tamtej epoki skorzystali m.in. Adam Doliwa (Instytut Fizyki Teoretycznej UW) i Paolo Santini (Istituto di Fisica, Università di Roma), tworząc bardzo obiecującą teorię transformacji dyskretnych sieci sprzężonych [12,13]. Jest to w tej chwili jedno z bardziej fundamentalnych ujęć teorii solitonów: jest ono zarówno wielowymiarowe, jak i dyskretne.

Literatura

[1] L.P. Eisenhart, *Annals of Mathematics* **35**, 284 (1934).
[2] P. Moon, D.E. Spencer, *Field Theory Handbook* (Springer Verlag, 1961).
[3] A. Tomimatsu, H. Sato, *Prog. Theor. Phys.* **50**, 95 (1973).
[4] V. Zakharov, *Duke Math. Journal* **94**, 103 (1998).
[5] M.J. Ablowitz, P.A. Clarkson, *Solitons, Nonlinear Evolution Equations and Inverse Scattering* (Cambridge University Press, 1991).
[6] G. Darboux, *Leçons sur les systèmes orthogonaux ...* (Paris 1910).
[7] B.G. Konopelchenko, *Solitons in Multidimensions* (World Scientific, 1993).
[8] S. Tsarev, *Math. in USSR* **37**, 397 (1991).
[9] B. Dubrovin, *Nucl. Phys. B* **379**, 627 (1992).
[10] G. Fubini, *Annali di Matematica* **62**, 45 (1929).
[11] L.P. Eisenhart, *Transformations of Surfaces* (Princeton University Press, 1923).
[12] A. Doliwa, P.M. Santini, *Phys. Lett. A* **233**, 365 (1997).
[13] A. Doliwa, S.V. Manakov, P.M. Santini, *Comm. Math. Phys.* **196**, 1 (1998).

Teoria separowalności układów bihamiltonowskich

Maciej Błaszak

Instytut Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań

Metoda separowalności zmiennych należy do podstawowych metod fizyki matematycznej poczynając od XIX wieku. Zapoczątkowana pracami d'Alemberta, Fouriera i Jacobiego, przez wiele dekad była jedyną znaną metodą całkowania układów dynamicznych. Przypomnijmy krótko metodę separacji zmiennych w mechanice klasycznej. Rozważmy hamiltonowski układ mechaniczny o $2n$ stopniach swobody, całkowalny w sensie Liouville'a. Oznacza to, że istnieje n liniowo niezależnych funkcji h_i (hamiltonianów), które są w inwolucji względem kanonicznego nawiasu Poissona: $\{h_j, h_k\} = 0$. Zbiór zmiennych kanonicznych $(\lambda_i, \mu_i)_{i=1}^n$ nazywamy zmiennymi separowalności, jeśli istnieje n funkcji postaci $\varphi_i(\lambda_i, \mu_i, h_1, \ldots, h_n) = 0$, $i = 1, \ldots, n$, z których każda łączy parę sprzęgniętych zmiennych i wszystkie hamiltoniany. Ustalając wartości hamiltonianów $h_j = \text{const} = a_j$, otrzymujemy jawną faktoryzację torusa Liouville'a. Oznacza to, że w równaniu Hamiltona–Jacobiego w zmiennych (λ_i, μ_i) funkcja generująca $W(\lambda, a) = \sum_{i=1}^n W_i(\lambda_i, a)$ i w konsekwencji potrafimy znaleźć równania ruchu przez kwadratury.

W XIX i większości XX w. dla wielu modeli mechaniki zmienne separowalności były albo odgadywane, albo znajdowane metodami *ad hoc*. Fundamentalny postęp w teorii separowalności nastąpił w 1985 r., kiedy to E. Sklyanin zaadaptował teorię reprezentacji Laxa do systematycznego znajdowania zmiennych separacji (patrz artykuł przeglądowy [1] i cytowana tam literatura). W ostatnich dwóch latach została sformułowana alternatywna teoria separowalności układów skończenie wymiarowych, oparta

na bihamiltonowskości układów całkowalnych w sensie Liouville'a. Wyjaśnijmy krótko, czym jest bihamiltonowskość. Niech $M \ni u$ oznacza rozmaitość różniczkową (przestrzeń fazową), T_uM i T_u^*M przestrzeń styczną i kostyczną w u oraz $\langle .,. \rangle$: $T_u^*M \times T_uM \to R$. Dalej, niech $\mathrm{d}F$ oznacza różniczkę gładkiej funkcji $F \in C^\infty(M)$. M nazywamy rozmaitością Poissona, jeśli jest wyposażona w nawias Poissona $\{.,.\}_\pi$: $C^\infty(M) \times C^\infty(M) \to C^\infty(M)$, w ogólności zdegenerowany. Odpowiednia macierz Poissona π jest zdefiniowana przez $\{F,G\}_\pi(u) := \langle \mathrm{d}F(u), \pi(u)\mathrm{d}G(u) \rangle$, czyli w dowolnym punkcie u, $\pi(u)$: $T_u^*M \to T_uM$ jest liniowym, antysymetrycznym odwzorowaniem spełniającym tożsamość Jacobiego. Dowolna funkcja $c \in C^\infty(M)$, taka że $\mathrm{d}c \in \ker \pi$, nazywana jest zmienną Casimira macierzy π. Niech π_0, π_1 będą dwiema macierzami Poissona na M. Pole wektorowe K nazywamy polem bihamiltonowskim ze względu na π_0 i π_1, jeśli istnieją dwie funkcje $H, F \in C^\infty(M)$ takie, że

$$K = \pi_0 \cdot \mathrm{d}H = \pi_1 \cdot \mathrm{d}F. \tag{1}$$

Poissonowskie macierze π_0 i π_1 nazywamy zgodnymi, jeśli $\pi_\lambda := \pi_1 - \lambda\pi_0$ jest również macierzą Poissona dla dowolnego $\lambda \in R$. Wtedy π_λ nazywamy poissonowskim pękiem. Dla większości znanych bihamiltonowskich układów skończenie wymiarowych obie struktury poissonowskie są zdegenerowane. Można więc zawsze skonstruować bihamiltonowski łańcuch pól wektorowych, który zaczyna się od zmiennej Casimira π_0 i kończy na zmiennej Casimira π_1. Istnienie pęku Poissona gwarantuje komutację pól wektorowych łańcucha i inwolucję wszystkich hamiltonianów względem π_0 i π_1. Wiele przykładów oraz metody konstrukcji łańcuchów Czytelnik znajdzie w książce [2].

Jak istnienie bihamiltonowskich łańcuchów wiąże się z separowalnością, wyjaśnimy na przykładzie najprostszej klasy łańcuchów z jedną zmienną Casimira. Jak się okazuje, istnienie łańcuchów bihamiltonowskich jest charakterystyczną cechą układów separowalnych. Rozpatrzmy rozmaitość Poissona M ($\dim M = 2n+1$) wyposażoną w pęk poissonowski $\pi_\lambda = \pi_1 - \lambda\pi_0$ maksymalnego rzędu. Wtedy związany z nim łańcuch [3] jest postaci

$$\begin{aligned} \pi_0 \mathrm{d}h_0 &= 0, \\ \pi_0 \mathrm{d}h_1 &= K_1 = \pi_1 \mathrm{d}h_0, \\ &\cdots \\ \pi_0 \mathrm{d}h_n &= K_n = \pi_1 \mathrm{d}h_{n-1}, \\ 0 &= \pi_1 \mathrm{d}h_n, \end{aligned} \tag{2}$$

gdzie $K \equiv K_1, H \equiv h_1, F \equiv h_0$. Załóżmy dla prostoty rozważań, że łańcuch (2) został znaleziony w reprezentacji dowolnych zmiennych kanonicznych (q,p) i zmiennej casimirowskiej c. Wtedy oczywiście π_0 jest zdegenerowaną macierzą kanoniczną i $h_0 = c$.

W pracach [2,4] został znaleziony bihamiltonowski łańcuch (2) w zmiennych separowalności. W rozpatrywanym przez nas przypadku zgodne struktury Poissona przybierają następującą postać:

$$\pi_0 = \begin{pmatrix} \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \pi_1 = \begin{pmatrix} \theta_1 & K_1 \\ -K_1^{\mathrm{T}} & 0 \end{pmatrix}, \tag{3}$$

$$\theta_0 = \begin{pmatrix} 0 & I \\ -I & 0 \end{pmatrix}, \quad \theta_1 = \begin{pmatrix} 0 & \Lambda \\ -\Lambda & 0 \end{pmatrix},$$

gdzie $\Lambda = \mathrm{diag}(\lambda_1, \ldots, \lambda_n)$, I jest macierzą jednostkową, a K_1 jest pierwszym polem wektorowym hierarchii. Przejdźmy teraz do redukcji poissonowskiego pęku π_λ na symplektyczny liść S macierzy π_0 ($\dim S = 2n$), ustalając wartość zmiennej Casimira. W rozważanym przypadku pęk Poissona redukuje się w sposób trywialny, jako że oczywistym jest, iż $\theta_\lambda = \theta_1 - \lambda\theta_0$ jest niezdegenerowanym pękiem Poissona na S. Ponadto, tzw. macierz Nijenhuisa $N = \theta_1 \cdot \theta_0^{-1}$ jest diagonalna w zmiennych separacji.

Rozpatrzmy obecnie dowolną transformację kanoniczną $(\lambda, \mu) \to (q,p)$ niezależną od zmiennej c i w ogólności nie punktową. Zaletą pozostania w zbiorze zmiennych kanonicznych jest jasna struktura zdegenerowanego pęku Poissona i trywialność jego redukcji na symplektyczny liść π_0. Tak więc, jeśli łańcuch jest dany w naturalnych zmiennych kanonicznych, θ_0 jest niezdegenerowaną kanoniczną macierzą Poissona, a θ_1 jest niezdegenerowaną niekanoniczną macierzą Poissona zależną od (q,p). Możemy więc skonstruować macierz Nijenhuisa $N(q,p)$. Transformacja do zmiennych separacji jest transformacją diagonalizującą N. W przypadku transformacji punktowych jest ona elementarna, dla transformacji niepunktowych procedura jest bardziej złożona, ale również znana.

Teorię separowalności dla łańcuchów z wieloma zmiennymi Casimira Czytelnik znajdzie w pracach [5,6].

Literatura

[1] E.K. Sklyanin, „Separation of variables. New trends", *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **118**, 35 (1995).

[2] M. Błaszak, *Multi-Hamiltonian theory of dynamical systems* (Springer Verlag, 1998).

[3] I.M. Gel'fand, I. Zakharevich, „On the local geometry of a bi-Hamiltonian structure", w: *Gel'fand Mathematical Seminars 1990–1992*, red. L. Corwin i in. (Birkäuser, Boston 1993), s. 51.

[4] M. Błaszak, „On separability of bi-Hamiltonian chain with degenerated Poisson structure", *J. Math. Phys.* **39**, 3213 (1998).

[5] M. Błaszak, „Theory of separability of multi-Hamiltonian chains", *J. Math. Phys.* **40**, 5725 (1999).

[6] M. Błaszak, „Separability of two-Casimir bi- and tri-Hamiltonian chains", *Rep. Math. Phys.*, w druku.

Transformacja Darboux–Bäcklunda i algebry Clifforda

Jan L. Cieśliński

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet w Białymstoku

Zaczniemy od krótkiego wprowadzenia w teorię solitonów [1,2], czyli całkowalnych równań nieliniowych, na przykładzie najbardziej chyba znanego równania solitonowego, jakim jest równanie Kortewega–de Vriesa (KdV). Kluczową rolę odgrywa w tym przypadku... równanie Schrödingera:

$$-\psi_{,xx} + u\psi = \lambda\psi, \tag{1}$$

gdzie x jest zmienną przestrzenną (dla wygody przeskalowaną, czyli nasze x jest w istocie równe $x\hbar^{-1}\sqrt{2m}$), $u = u(x)$ jest potencjałem, $\lambda = E$ jest energią, a przecinek oznacza pochodną (czyli $\psi_{,x} := \partial\psi/\partial x$). Z mechaniki kwantowej wiadomo, że znając dane rozproszeniowe (współczynniki przejścia i odbicia oraz stany związane) dla każdej wartości λ możemy zrekonstruować potencjał u, korzystając z równań całkowych Gelfanda–Levitana–Marczenki. Sytuacja taka często występuje w fizyce wysokich energii: aby zbadać dany obiekt (potencjał u), rozpraszamy na nim inny obiekt (funkcja falowa ψ, spełniająca równanie liniowe). Uogólnienie tej idei dało w roku 1967 początek burzliwemu rozwojowi teorii solitonów. Mianowicie wykazano [3], że jeśli jednoparametrowa rodzina potencjałów $u = u(x;\tau)$, spełnia równanie KdV ($u_{,\tau} + 6uu_{,x} + u_{,xxx} = 0$), to energia λ nie zależy od τ ($\lambda_{,\tau} = 0$). Co więcej, dane rozproszeniowe ewoluują w bardzo prosty sposób, dzięki czemu zagadnienie początkowe dla równania KdV sprowadza się do rozwiązywania wspomnianych wyżej równań całkowych.

Przejdziemy teraz do metody otrzymywania ścisłych rozwiązań równania KdV. Szukamy transformacji $\psi \mapsto \tilde{\psi}$, $u \mapsto \tilde{u}$ zachowującej równanie (1) (czyli żądamy, by $-\tilde{\psi}_{,xx} + \tilde{u}\tilde{\psi} = \lambda\tilde{\psi}$). W ubiegłym stuleciu (równanie (1) znane było już w matematyce jako problem Sturma–Liouville'a) Darboux zauważył, iż można przyjąć, że $\tilde{\psi} = \psi_{,x} - \sigma\psi$, przy czym $\sigma = \sigma(x)$ jest pewną funkcją. Można obliczyć, że $\sigma = \varphi^{-1}\varphi_{,x}$, gdzie φ spełnia równanie $-\varphi_{,xx} + u\varphi = \lambda_1\varphi$ (ten sam potencjał, lecz inna energia). Ponadto $\tilde{u} = u - 2\sigma_{,x}$. Zaczynając od $u = 0$ otrzymujemy w ten sposób $\tilde{u}$, będące solitonem, czyli zlokalizowanym rozwiązaniem, poruszającym się ze stałą prędkością bez zmiany kształtu. W podobny sposób można „dodać" soliton na zadane tło oraz otrzymać rozwiązania będące superpozycją (nieliniową!) dowolnej liczby solitonów.

Zarówno równanie Schrödingera (1), jak i transformację Darboux można przedstawić w postaci macierzowej: $\Psi_{,x} = U\Psi$, $\tilde{\Psi} = D\Psi$, przy czym jeśli ψ, ϕ oznaczają dwa liniowo niezależne rozwiązania (1), to

$$\Psi := \begin{pmatrix} \psi_{,x} & \phi_{,x} \\ \psi & \phi \end{pmatrix}, \quad U = \begin{pmatrix} 0 & u-\lambda \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$
$$D = \begin{pmatrix} -\sigma & u-\lambda-\sigma_{,x} \\ 1 & -\sigma \end{pmatrix}.$$

Równania solitonowe można zazwyczaj przedstawić właśnie jako warunki całkowalności ($U_{,t} - V_{,x} = [V, U]$) dla problemów spektralnych, czyli równań macierzowych typu $\Psi_{,x} = U\Psi$, $\Psi_{,t} = V\Psi$, gdzie macierze U, V są wymierne w λ (poniżej ograniczymy się nawet do macierzy liniowych w λ).

Podejście powierzchni solitonowych [4] wiąże teorię solitonów z klasyczną geometrią różniczkową, rozumianą w duchu Bianchiego, Darboux i innych wielkich geometrów XIX wieku [5]. Mianowicie, mając macierzową funkcję falową Ψ, definiujemy F za pomocą wzoru Syma–Tafla [4,6]

$$F = \Psi^{-1}\Psi_{,\lambda}. \tag{2}$$

$F = F(x,t;\lambda)$ jest macierzą, a więc elementem pewnej przestrzeni wektorowej. Na przykład, jeśli Ψ przybiera wartości w $\mathbf{SU}(2)$, to $F \in \mathbf{su}(2)$, a $\mathbf{su}(2)$ można utożsamić z $\mathbf{R}^3$. F opisuje więc (dla ustalonego λ) powierzchnię w $\mathbf{R}^3$. Ten przypadek wiąże się z wieloma ciekawymi problemami zarówno w fizyce, jak i w geometrii. Wymieńmy tylko równanie ruchu nici wirowej w cieczy idealnej [7] oraz równanie sinusa-Gordona $\varphi_{,xt} = \sin\varphi$, dla którego powierzchnie solitonowe (2) są powierzchniami pseudosferycznymi w $\mathbf{R}^3$ (mają stałą ujemną krzywiznę Gaussa). Transformacja generująca rozwiązania solitonowe dla równania sinusa-Gordona podana została przez Bianchiego i Bäcklunda ponad 100 lat temu. Obecnie transformacje tego typu nazywane są, niezależnie od równania, transformacjami Darboux–Bäcklunda.

Zadając różne postacie problemów spektralnych, można spodziewać się otrzymania coraz to innych

układów równań solitonowych. Problemy spektralne związane z macierzami 2. i 3. stopnia są już w zasadzie dawno przebadane i trudno znaleźć w ten sposób cokolwiek nowego. W przypadku macierzy większego wymiaru otrzymywane układy, choć całkowalne, nie są zazwyczaj zbyt interesujące. Nowe perspektywy otwiera zastosowanie algebr Clifforda [8]. Po pierwsze, otrzymujemy wygodną metodę traktowania szerokiej klasy problemów z macierzami dużych wymiarów (algebry Clifforda można reprezentować macierzami) i dowolną liczbą zmiennych niezależnych. Po drugie, problemy spektralne w algebrach Clifforda często mają ciekawą interpretację geometryczną: interesujący jest nie tyle otrzymywany układ równań nieliniowych, ale raczej obiekt geometryczny opisywany tymi równaniami. Na przykład, rozważmy problemy spektralne typu:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x^k} = \mathbf{e}_k(\lambda \mathbf{a}_k + \mathbf{b}_k)\Psi \qquad (k = 1, \ldots, n), \quad (3)$$

gdzie $\mathbf{b}_k$ są funkcjami o wartościach w przestrzeni V rozpiętej przez $\mathbf{e}_1, \ldots, \mathbf{e}_r$, zaś $\mathbf{a}_k$ przybierają wartości w przestrzeni W rozpiętej przez $\mathbf{e}_{r+1}, \ldots, \mathbf{e}_{r+q}$, przy czym $\mathbf{e}_1, \ldots, \mathbf{e}_{r+q}$ generują algebrę Clifforda (czyli spełniają relacje $\mathbf{e}_i\mathbf{e}_j + \mathbf{e}_j\mathbf{e}_i = 0$ (dla $i \neq j$) oraz $\mathbf{e}_j^2 = \pm 1$). Przykładami obiektów spełniających takie relacje są macierze Pauliego i macierze Diraca.

Wzór (2) dla $\lambda = 0$ definiuje w tym przypadku obiekt zanurzony w przestrzeni $V \wedge W$. Wektory styczne, $\partial F/\partial x^k = \Psi^{-1}\mathbf{e}_k\mathbf{a}_k\Psi$, są parami ortogonalne. Na ogół otrzymujemy kilka interesujących obiektów geometrycznych (rzutując F na odpowiednie podprzestrzenie). W przypadku $n = q = 2$ otrzymujemy parę tzw. powierzchni izotermicznych zanurzonych w $\mathbf{R}^r$ [6]. W przypadku $r = q = n$ otrzymujemy n różnych sieci ortogonalnych w $\mathbf{R}^n$, a pojawiające się wówczas równania nieliniowe to układ równań Lamégo.

Dla problemów spektralnych (3) można skonstruować transformację Darboux–Bäcklunda. Zadawana jest ona przez

$$D = \mathbf{e}_s(\lambda \mathbf{n} + \kappa \mathbf{p}), \quad (4)$$

gdzie s jest ustalone ($1 \leqslant s \leqslant r$), λ i κ to parametry rzeczywiste, zaś $\mathbf{n} \in W$ oraz $\mathbf{p} \in V$ ($\mathbf{p}^2 = \mathbf{n}^2 = \pm 1$) zależą od $x^1, \ldots, x^n$ i wyrażają się algebraicznie za pomocą $\Psi(i\kappa)$. Na poziomie wektora wodzącego F transformacja Darboux–Bäcklunda ma postać

$$\tilde{F} = F + \kappa^{-1}\Psi(0)^{-1}\mathbf{p}^{-1}\mathbf{n}\Psi(0),$$

czyli do wektora F dodajemy segment (wektor) o stałej długości.

Przedstawione tu rezultaty można, jak się okazuje, zastosować nie tylko w geometrii, ale i w fizyce (publikacja na ten temat jest dopiero w przygotowaniu). W przypadku $r = n = 4$ i $\mathbf{e}_1^2 = \mathbf{e}_2^2 = \mathbf{e}_3^2 = -\mathbf{e}_4^2 = 1$ możemy każde z równań (3) pomnożyć z lewej strony przez $\mathbf{e}_k^{-1}$, dodać stronami wszystkie te równania i oznaczając $\mathbf{e}_k^{-1} := i\gamma^k$ ($k = 1, 2, 3$), $\mathbf{e}_4^{-1} := i\gamma^0$, otrzymamy

$$\sum_{\mu=0}^{3} \gamma^\mu(i\partial_\mu - A_\mu)\Psi = \lambda C\Psi,$$

gdzie A_μ są współczynnikami w rozkładzie $\sum_{\nu=1}^{4} \mathbf{b}_\nu$ na γ^μ, zaś $C := \sum_{\nu=1}^{4} \mathbf{a}_\nu$. Dla $\lambda = 0$ jest to równanie Diraca dla cząstki bezmasowej w polu elektromagnetycznym. Otrzymujemy w ten sposób jedynie pewną klasę rozwiązań równania Diraca (Ψ spełniać musi także pozostałe równania (3)). Niemniej ten dość nieoczekiwany związek równania Diraca z równaniami Lamégo, a zwłaszcza istnienie transformacji Darboux–Bäcklunda, może doprowadzić do uzyskania nowych ścisłych rozwiązań równania Diraca.

Tematyka badań przedstawiona w tym referacie jest finansowana przez Komitet Badań Naukowych (grant nr 2 P03B 143 15).

Literatura

[1] V.E. Zakharov, S.V. Manakov, S.P. Novikov, L.P. Pitaievsky, *Teoria solitonów* (Nauka, Moskwa 1980) [po rosyjsku].

[2] A. Sym, „Solitony", *Postępy Fizyki* **31**, 3 (1980).

[3] C.S. Gardner, J.M. Greene, M.D. Kruskal, R.M. Miura, „Method for solving the Korteweg–de Vries equation", *Phys. Rev. Lett.* **19**, 1095 (1967).

[4] A. Sym, „Soliton Surfaces", *Lett. Nuovo Cim.* **33**, 394 (1982).

[5] S.S. Chern, „Surface Theory with Darboux and Bianchi", w: *Miscellanea Mathematica* (Springer-Verlag, Berlin–New York 1991), s. 59.

[6] J. Cieśliński, „The Darboux–Bianchi–Bäcklund transformations and soliton surfaces", w: *Nonlinearity and Geometry*, red. D. Wójcik, J. Cieśliński (PWN, Warszawa 1998), s. 81.

[7] J. Cieśliński, P.K.H. Gragert, A. Sym, „Exact Solution to Localized-Induction-Approximation Equation Modelling Smoke Ring Motion", *Phys. Rev. Lett.* **57**, 1507 (1986).

[8] J. Komorowski, *Od liczb zespolonych do tensorów, spinorów, algebr Liego i kwadryk* (PWN, Warszawa 1978).

Kwantowe przestrzenie Minkowskiego

Piotr Podleś

Katedra Metod Matematycznych Fizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Kwantowa teoria pola (KTP) opisuje z zadziwiającą precyzją oddziaływania elektrosłabe, a także silne (z dokładnością do słynnego problemu uwięzienia kwarków). Z kolei oddziaływanie grawitacyjne okazuje się być przejawem geometrii naszej czasoprzestrzeni, opisywanej przez ogólną teorię względności (OTW). Niestety, mimo długotrwałych wysiłków wielu fizyków nie udało się znaleźć zadowalającej teorii, której szczególnymi przypadkami byłyby zarówno KTP, jak i OTW. Jedną z przyczyn tego stanu rzeczy jest fakt, że tzw. długość Plancka l_P, otrzymana ze stałej Plancka $\hbar$ w KTP oraz stałej grawitacyjnej G i prędkości światła c w OTW, jest niesłychanie mała i efekty tej skali są obecnie eksperymentalnie nieweryfikowalne, być może z wyjątkiem pierwszego stadium ewolucji Wszechświata bądź czarnych dziur.

Pewnej wskazówki na temat charakteru owej przyszłej teorii dostarcza następujące heurystyczne rozumowanie [1]: Załóżmy, że usiłujemy bardzo precyzyjnie zlokalizować pewne zdarzenie w czasoprzestrzeni. Wówczas bardzo małe nieoznaczoności współrzędnych tego zdarzenia prowadzą, zgodnie z zasadą nieoznaczoności Heisenberga, do bardzo dużych nieoznaczoności odpowiednich współrzędnych pędu, a więc i energii. Wobec dodatniości energii otrzymujemy bardzo dużą jej wartość oczekiwaną w bardzo małej objętości, co prowadzi do powstania czarnej dziury. A więc próba dokładnego zbadania geometrii czasoprzestrzeni zmienia tę geometrię, jest ona więc w klasycznym sensie niepoznawalna. Mamy zatem do czynienia ze zmianą geometrii na bardzo małych odległościach.

Jedną z możliwych dróg do zmiany geometrii czasoprzestrzeni można otrzymać przez odwołanie się do reguł komutacyjnych Heisenberga w mechanice kwantowej. Zgodnie z nimi np. pierwsza współrzędna cząstki x oraz odpowiednia współrzędna pędu p_x nie są zwykłymi liczbami, lecz abstrakcyjnymi obiektami (operatorami), takimi że $xp_x - p_x x = i\hbar$. W szczególności $xp_x \neq p_x x$. Teraz jest już tylko jeden krok do założenia, że same współrzędne x, y, z spełniają $xy \neq yx$ itp., a więc są nieprzemiennymi obiektami tworzącymi pewną algebrę $\mathcal{C}$. Gdyby $xy = yx$ itp., to t, x, y, z można by utożsamić ze współrzędnymi na klasycznej czasoprzestrzeni. Obecnie natomiast t, x, y, z wyobrażamy sobie jako „współrzędne na (czaso-) przestrzeni kwantowej". Oczywiście takich przestrzeni kwantowych jest bardzo wiele – tyle, ile nieprzemiennych algebr. Interesującymi modelami będą tu przestrzenie kwantowe mające własności zbliżone (w pewnym sensie) do klasycznych, co stwarzałoby możliwość przyjrzenia się na tych konkretnych przykładach mechanizmom mogącym wystąpić w szukanej teorii.

Niewątpliwie najprostszą czasoprzestrzenią jest czasoprzestrzeń szczególnej teorii względności, tzn. przestrzeń Minkowskiego M z czterema współrzędnymi t, x, y, z, które odpowiednio transformują się przy zmianach układu odniesienia zgodnie z działaniem grupy Poincarégo P na M (tak naprawdę zamiast P bierzemy podwójne nakrycie jej spójnej składowej, które jest w KTP ważniejsze niż sama grupa Poincarégo). Naszym zadaniem jest więc znalezienie przestrzeni kwantowych o własnościach analogicznych do M wyposażonego w działanie P na M. Nazywamy je kwantowymi przestrzeniami Minkowskiego (k.p.M.). Są one zdefiniowane w następujący sposób: działanie P na M oraz mnożenie grupowe w P definiują pewne algebraiczne struktury (kodziałanie Γ oraz komnożenie Δ) na poziomie funkcji (w szczególności współrzędnych) na P oraz M. Struktury te opisują własności teorii reprezentacji grupy P oraz własności transformacyjne funkcji na M. Naszymi głównymi postulatami wynikającymi z zasady korespondencji są:

1) te własności mają pozostać bez zmian,

2) funkcje na P (oraz M) są zastąpione nieprzemiennymi obiektami, ale tak, by „rozmiar" odpowiednich algebr nie uległ zmianie.

Niemal kompletna klasyfikacja kwantowych grup Poincarégo została podana w [2]. Każdej z nich odpowiada dokładnie jedna k.p.M. „Współrzędnymi" na niej są operatory $x_0 = t$, $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, spełniające układ relacji

$$(R_{ij,kl} - \delta_{ik}\delta_{jl})(x_k x_l - Z_{kl,m} x_m + T_{kl}) = 0,$$

$i, j = 0, 1, 2, 3$ (sumowanie po powtarzających się wskaźnikach, liczbowe współczynniki macierzy R, Z, T można wyliczyć dla poszczególnych przypadków na podstawie [2]). Warto zauważyć, że macierze R są rozwiązaniami słynnego równania Yanga–Baxtera, przy czym ich kwadraty są macierzami jednostkowymi. W naturalny sposób określa się liczbowe współczynniki tensora metrycznego g_{ij}. Następnym etapem jest

wyróżnienie k.p.M. spełniających tzw. warunek kwazitriangularności. Dla nich macierz R pozwala przestawiać cząstki i definiować przestrzeń Focka. Ponadto istnieje wówczas jedyny rachunek różniczkowy na k.p.M., o własnościach analogicznych do klasycznego. Spełnia on „skwantowaną" regułę Leibniza, np.

$$\partial_i(x_k f) = \delta_{ik} f + (R_{kl,in} x_n + Z_{kl,i})\partial_l(f)$$

(patrz [3]). W naturalny sposób wprowadzamy niezmienniczy dalambercjan, równania Kleina–Gordona (cząstki o spinie 0) oraz Diraca (spin 1/2).

Klasyczna grupa Poincarégo P składa się z grupy Lorentza (nie zmieniającej początku układu odniesienia, otrzymanej przez składanie obrotów oraz pchnięć lorentzowskich, polegających na przejściu od pewnego układu odniesienia do układu poruszającego się względem niego z pewną stałą prędkością) oraz translacji polegających wyłącznie na zmianie początku układu odniesienia. Otóż jednej kwantowej grupie Lorentza (określającej macierz R) odpowiada na ogół wiele kwantowych grup Poincarégo (można dodawać translacje na różne sposoby). W szczególności dla klasycznej grupy Lorentza (i macierzy R danej przez $R_{ij,kl} = \delta_{il}\delta_{jk}$) istnieje wiele kwantowych grup Poincarégo i k.p.M. Ciekawą własnością tych k.p.M. jest to, że fale płaskie $e^{ix_a p_a}$ (gdzie p_a są liczbami zaś x_a nieprzemiennymi „współrzędnymi") podobnie jak w przypadku klasycznym rozwiązują równanie Kleina–Gordona i mają określony pęd P_a, ale w ogólności P_a nie są równe p_a, lecz są skomplikowanymi funkcjami p_b, $b = 0, 1, 2, 3$. Podobnie związek masy m z p_b jest bardziej skomplikowany niż w zwykłej teorii [3,4]. W szczególności ulega zmianie postać propagatora jednocząstkowego (może nastąpić jego częściowa regularyzacja bądź efekt podobny jak dla jednowymiarowej dyskretnej siatki).

Reasumując, k.p.M. i obiekty z nimi związane pozwalają:

1) zobaczyć standardową teorię na tle innych (np. w standardowej teorii macierz Diraca γ^0 występuje w 2 rolach – w równaniu Diraca oraz przy sprzęganiu bispinorów; obecnie te 2 role zostają rozdzielone i są spełniane przez na ogół różne macierze);

2) przeprowadzać dowody w naturalny sposób, oparty na teorii reprezentacji grup (mechaniczne podstawianie macierzy do wzorów jest uciążliwe z uwagi na wielość różnych przypadków);

3) uzyskać częściową regularyzację.

Literatura

[1] W. Nahm, rozumowanie przedstawione w czasie wykładu w 1991 r.

[2] P. Podleś, S.L. Woronowicz, „On the classification of quantum Poincaré groups", *Commun. Math. Phys.* **178**, 61 (1996).

[3] P. Podleś, „Solutions of Klein–Gordon and Dirac equations on quantum Minkowski spaces", *Commun. Math. Phys.* **181**, 569 (1996).

[4] P. Podleś, „The Dirac operator and gamma matrices for quantum Minkowski spaces", *J. Math. Phys.* **38**, 4474 (1997).

Popularyzacja nauki podczas XXXV Zjazdu Fizyków Polskich

Maciej Piętka

Instytut Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku

W dniach 20–23 września w Białymstoku odbył się XXXV Zjazd Fizyków Polskich. Jest to impreza organizowana co dwa lata przez Polskie Towarzystwo Fizyczne. Organizację tegorocznego Zjazdu powierzono białostockiemu oddziałowi PTF i Uniwersytetowi w Białymstoku, przy współudziale Politechniki Białostockiej oraz Akademii Medycznej w Białymstoku.

Udział w Zjeździe wzięło około 700 osób. Wykładowcami i gośćmi Zjazdu byli między innymi: prof. Jerome I. Friedman, laureat Nagrody Nobla w 1990 r., prezes Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, prof. Adam Dziewoński, laureat Nagrody Crafoorda z 1998 r., prof. Ludgar Wöste, laureat tegorocznej Polsko-Niemieckiej Nagrody M. Smoluchowskiego–E. Warburga, prof. Andrzej Kajetan Wróblewski, laureat Medalu Smoluchowskiego, sir Arnold Wolfendale, prezes Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. Program naukowy Zjazdu obejmował 3 sesje plenarne oraz 6 sesji satelitarnych, prowadzonych równolegle. Sesjom satelitarnym towarzyszyły dyskusje „okrągłego stołu". Sesje plenarne, prowadzone w Teatrze Dramatycznym w Białymstoku, były na żywo transmitowane w Internecie, w formacie RealVideo. Z wykorzystaniem Internetu przeprowadzono również telekonferencję (Białystok – Warszawa) z dyskusji okrągłego stołu na temat: „Czy Polska potrzebuje energetyki jądrowej?"

Po raz pierwszy w historii Zjazdu oprócz sesji plenarnych organizatorzy przygotowali obszerny program imprez popularnonaukowych. Do udziału w pokazach, wystawach i wykładach popularnonaukowych zaproszono młodzież szkolną i zainteresowanych mieszkańców miasta. W ciągu pięciu dni w imprezach popularnonaukowych towarzyszących Zjazdowi wzięło udział ok. 15 000 osób. Przeważały grupy z białostockich szkół, chociaż nie brakowało wycieczek z innych miast północno-wschodniej Polski: Łomży, Suwałk, Ełku czy Hajnówki.

Organizacji imprez popularnonaukowych podjął się Uniwersytet w Białymstoku w sygnalizowanej niżej współpracy z innymi ośrodkami akademickimi. Zaangażowali się również nauczyciele i uczniowie białostockich szkół średnich. Szczególnie ważny był udział młodzieży jako prezenterów na wystawie zabawek.

Akceleratory i zabawki czyli fizyka na poważnie i na wesoło

We współpracy zespołu Grzegorza Karwasza z WSP ze Słupska i Uniwersytetu w Białymstoku przygotowano wystawę „Fizyka zabawek", podobną do tej, która rok temu była wielkim przebojem warszawskiego Festiwalu Nauki. Ubiegłoroczne entuzjastyczne recenzje potwierdziły się. Wystawa, rodem z Uniwersytetu w Trydencie, przeniesiona przez Słupszczan na polski grunt, również w Białymstoku cieszyła się ogromnym zainteresowaniem. Na długo przed rozpoczęciem Zjazdu praktycznie cały czas trwania wystawy był już zarezerwowany, dlatego ekspozycję trzeba było przedłużyć o jeden dzień.

Wystawa pokazuje, że fizyki można uczyć w sposób niekonwencjonalny, za pomocą drobnych gadżetów, często przedmiotów codziennego użytku. W prosty sposób, bez kosztownego wyposażenia można wykonać mądre, przyciągające uwagę i efektowne pokazy, które uczą podstawowych praw przyrody. Z tego względu wystawa „Fizyka zabawek" była równie inspirująca dla uczniów, co dla ich nauczycieli.

Na wystawie zabawek nie sposób się było nudzić: wystawa miała żywy, interakcyjny charakter, eksponaty przez cały czas były w ruchu, wszystkiego można było dotknąć, wypróbować własnoręcznie. Największy podziw zwiedzających wzbudziły te układy, których działanie w pierwszej chwili trudno sobie wytłumaczyć: walec pozornie wtaczający się pod górę lub elektroniczny zegar zasilany przez świeżą cytrynę. „Fizyka zabawek" spotkała się też z dużym zainteresowaniem mediów. W telewizyjnych i prasowych relacjach ze Zjazdu migawki z tej wystawy pojawiały się częściej niż informacje o obradach plenarnych.

Z kolei wystawa „Akceleratory cząstek. Współczesne akceleratory" była okazją do zetknięcia się z poważną fizyką, uprawianą na co dzień przez specjalistów z dziedziny cząstek elementarnych. Prezentowane były osiągnięcia największych europejskich ośrodków: CERN-u, niemieckiego DESY oraz warszawskiego Cyklotronu Ciężkich Jonów. Zdjęcia, plansze, filmy, programy komputerowe, a nawet elementy aparatury stosowanej w badaniach fizyki wysokich energii – za pomocą wszystkich tych

środków naukowcy opowiadali o strukturze materii i o poznawaniu najdrobniejszych cząstek elementarnych.

Przygotowania do wystawy koordynował Jacek Turnau z Instytutu Fizyki Jądrowej z Krakowa. Na internetowym serwerze Zjazdu umieszczono z tej okazji kopie stron związanych tematycznie z wystawą: „Przygoda z cząstkami" oraz „Witamy w CERN-ie". Materiały te udostępniono internautom odwiedzającym stronę Zjazdu.

Kolejna wystawa zorganizowana podczas Zjazdu Fizyków poświęcona była astronomii. Na wystawie „Fizyka i kosmos" prezentowano efekty badań astrofizyków, fotografie najodleglejszych gwiazd i galaktyk, ale też amatorskie zdjęcia nieba. Zaprezentowano ciekawą kolekcję meteorytów ze zbiorów Planetarium Olsztyńskiego, wystawiono astrolabium, globus sfery niebieskiej. Przez przenośną lunetę można było obserwować plamy na Słońcu. Prezentowano duże, barwne fotografie z teleskopu kosmicznego Hubble'a oraz z misji kosmicznych. Były też piękne zdjęcia z sierpniowego zaćmienia słońca, wykonane nad Balatonem przez członków białostockiego oddziału Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii. Młodzi adepci astronomii mogli poradzić się specjalistów, jak obserwować i fotografować niebo.

Spore zainteresowanie wzbudziły meteoryty, o których opowiadała Jadwiga Biała z Planetarium Olsztyńskiego. Podziwiano grudki zachowane w całości bądź przepiłowane i oszlifowane, aby ukazać strukturę ich wnętrza. Niektórzy ze zwiedzających przynieśli na wystawę własne próbki „podejrzanych" kamieni. Na miejscu można było sprawdzić, czy rzeczywiście pochodzą z kosmosu, czy są tylko ziemskimi minerałami o niecodziennych kształtach.

Wystawę „Fizyka i kosmos" przygotowali Andrzej Branicki i Grzegorz Sitarski z UwB oraz Jadwiga Biała z Planetarium Olsztyńskiego. W ciągu pięciu dni wystawę odwiedziło ok. półtora tysiąca osób. Wystawie towarzyszyły popularne wykłady o astronomii, badaniach kosmosu i lotach międzyplanetarnych. Dobrym pomysłem było zaproszenie kosmonautów, gen. Mirosława Hermaszewskiego i dra Aleksandra Serebrowa z Rosji. Podczas spotkania kosmonautów z młodzieżą padały nie zawsze poważne pytania. Rozmawiano i o bezpieczeństwie lotów kosmicznych, i o ... ufoludkach.

Podczas Zjazdu Fizyków specjalną ekspozycję przygotowało Muzeum Przyrodnicze Instytutu Biologii UwB. Można było obejrzeć eksponaty zebrane przez pracowników Instytutu podczas wypraw polarnych w Arktyce i Antarktyce, wystawę opowiadającą o przyrodzie północno-wschodniej Polski, ekspozycję poświęconą rafom koralowym, fotograficzną wystawę skamieniałości zachowanych w bursztynie. Ekspozycję uzupełniały pokazy filmów przyrodniczych oraz multimedialnych programów komputerowych. Wystawę w Instytucie Biologii przygotował Wiesław Mikucki z UwB.

Podczas trwania Zjazdu mieszkańcy Białegostoku mogli oglądać przewoźne laboratorium lidarowe z Uniwersytetu Warszawskiego, jedyne tego typu w Polsce, służące do badania zanieczyszczeń powietrza metodami laserowymi. Aparaturę ustawiono w centrum miasta, na wzgórzu św. Rocha.

O tym, że fizyki można uczyć nie tylko w dusznych salach wykładowych, przekonywał uczestników Zjazdu red. Wiktor Niedzicki z Telewizji Polskiej, laureat tegorocznej nagrody PTF za popularyzację fizyki. Dodatkowy wykład red. Niedzickiego, zamykający jedną z sesji plenarnych Zjazdu, należałoby raczej nazwać widowiskiem – ubarwiły go pomysłowe i zręcznie wykonane pokazy. Dobrze się stało, że w tym czasie na widowni Teatru Dramatycznego oprócz uczestników Zjazdu zasiadła spora grupa młodzieży. Dla tych, którym nie udało się na żywo obejrzeć występu red. Niedzickiego w Teatrze, zorganizowano festiwal filmów popularnonaukowych, nakręconych w większości przez samego Laureata.

Z dużym zainteresowaniem uczestników Zjazdu oraz młodzieży spotkało się ilustrowane filmem wystąpienie A. Serebrowa na temat: „Lekcje fizyki z kosmosu".

Instytut tętnił życiem

Co prawda sesje Zjazdu Fizyków odbywały się w Teatrze Dramatycznym i salach Politechniki Białostockiej, ale przez cały czas również siedziba Instytutu Fizyki UwB tętniła życiem. Tutaj toczyła się znaczna część popularnonaukowych imprez towarzyszących Zjazdowi: przed południem pokazy doświadczalne z różnych dziedzin fizyki, po południu – wykłady popularnonaukowe.

Pokazy doświadczeń przygotowały różne ośrodki akademickie z całej Polski oraz firma Leybold. Całość koordynował Tadeusz Skośkiewicz z IF PAN w Warszawie. Grupy szkolne biorące udział w Zjeździe miały w czym wybierać, bowiem tematyka przygotowanych pokazów była bardzo szeroka: od pokazów niskotemperaturowych ze skraplaniem powietrza po frapujące doświadczenia z wahadłem Wilberforce'a. Prezentowano komputerowo wspomagane doświadczenia z mechaniki i elektrodynamiki, pokazy z fizyki jądrowej, termodynamiki i optyki. Na ogół były to doświadczenia wymagające długich przygotowań i specjalistycznego sprzętu, trudne do wykonania w warunkach szkolnej pracowni. Większość uczestników widziała tego typu pokazy po raz pierwszy w życiu, wielu z nich dzięki temu być może głębiej zainteresowało się fizyką.

Podczas Zjazdu swoje pokazy prezentowali również naukowcy z Instytutu Chemii UwB. Niektóre doświadczenia – „węże faraona" czy „wulkan" – wzbudzały na sali dreszczyk emocji. Inne pokazy uczestnicy mogli później powtórzyć samodzielnie, np. domowe sposoby czyszczenia srebrnych przedmiotów za pomocą sody, soli kuchennej, ciepłej wody i folii aluminiowej.

Popołudniowe wykłady popularnonaukowe w Instytucie Fizyki również były żywe i niekonwencjonalnie prowadzone. O wynikach ogólnopolskich badań nad występowaniem radonu w naszych domach mówiła Józefina Turło z Torunia. Z zapachami w doświadczeniu i teorii zapoznał widownię E. Dubis z UwB. Wykład Wojciecha Siwaka z UwB, poświęcony „Audiosferze na przełomie

stuleci" – komponowaniu, nagrywaniu i odtwarzaniu muzyki za pomocą komputerów i Internetu, ilustrowany był pokazem cyfrowych metod syntezy dźwięku, a sala wykładowa przekształciła się na ten czas w profesjonalne studio muzyczne. Nowoczesnym technikom poświęcone były inne wykłady naukowców z UwB: Andrzeja Trybulca o języku Mizar do komputerowej weryfikacji dowodów matematycznych oraz Marka Kisielewskiego i Marii Tekielak o cyfrowej obróbce obrazów.

Laboratorium komputerowe

Zjazd Fizyków stał się okazją do zaprezentowania komputerowego laboratorium do nauczania przedmiotów przyrodniczych, które tworzone jest od trzech lat w Instytucie Fizyki UwB. Obecnie laboratorium składa się z kilkunastu skomputeryzowanych stanowisk doświadczalnych. Komputery służą do sterowania przebiegiem eksperymentu za pośrednictwem prostych interfejsów oraz sond (pozwalających na pomiar położenia różnych obiektów, kąta, natężenia światła, pola magnetycznego, temperatury, ...), a także do zbierania danych, dalszej analizy i prezentacji wyników. Układy doświadczalne oraz część oprogramowania są projektowane i tworzone na miejscu przez pracowników Instytutu i studentów. Dzięki „komputerowemu wspomaganiu" znacznie poszerza się w porównaniu z klasyczną pracownią studencką/uczniowską zakres możliwych do przeprowadzenia eksperymentów.

W ciągu czterech dni w pokazach laboratorium komputerowego wzięło udział kilkadziesiąt grup szkolnych z Białegostoku i regionu. Pokazy prowadzili studenci II roku fizyki.

Dodatkowo pokazy laboratorium komputerowego uzupełnione były o część „numeryczną": 10 stanowisk do komputerowych symulacji zjawisk z różnych obszarów fizyki. Wykorzystano w tym celu oprogramowanie tworzone w ramach amerykańskiego projektu „CUPS" oraz pakiet Mathematica, który na UwB stosowany jest szeroko do badań naukowych w fizyce teoretycznej oraz przy nauczaniu przedmiotów komputerowych. Co ciekawe, spore zainteresowanie oprogramowaniem do symulacji fizycznych wykazywali sami nauczyciele – ten sposób prowadzenia dydaktyki będzie zapewne coraz szerzej wkraczał do szkół w miarę poprawy wyposażenia pracowni komputerowych i podnoszenia kwalifikacji nauczycieli.

Podczas Zjazdu swoje prace prezentowali też laureaci konkursu „Komputer w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych". Wśród nowych tendencji w dydaktyce fizyki, o których mowa była na białostockim Zjeździe, uwagę zwraca coraz szersze wykorzystanie sieci komputerowych, a zwłaszcza Internetu. Nowym metodom kształcenia, zakładającym aktywne korzystanie z sieci, poświęcone były warsztaty „Fizyka w Internecie", które podczas Zjazdu Fizyków prowadził Stanisław Różański, laureat konkursu komputerowego. Podczas warsztatów prezentowane były przykłady wykorzystania Internetu w dydaktyce fizyki. Podstawowym warunkiem, wciąż trudnym do spełnienia w większości polskich szkół, jest oczywiście pracownia komputerowa wyposażona w łącze internetowe. Sieć stwarza niespotykane dotąd możliwości: szybki dostęp do informacji zgromadzonych na serwerach ftp i www na całym świecie, praca z interaktywnymi programami i stronami www, zawierającymi demonstracje z różnych dziedzin nauki, udział w międzynarodowych programach edukacyjnych, prowadzenie eksperymentów „na odległość", sterowanych zdalnie przez Internet.

Eksperyment w Internecie

Imprezy popularnonaukowe towarzyszące Zjazdowi Fizyków dostępne były nie tylko dla grup szkolnych z Białegostoku i okolic, ale też dla szerokiej rzeszy użytkowników Internetu. Podczas Zjazdu w Instytucie Fizyki uruchomiono stanowisko doświadczalne, którym można było sterować całkowicie zdalnie, poprzez Internet.

Doświadczenie polegało na badaniu struktury domenowej warstwy kryształu granatu. Mikroskop optyczny, w którym umieszczono próbkę, sprzężony był z kamerą CCD oraz fotodiodą. Każdy użytkownik Internetu po połączeniu się z naszym serwerem mógł w okienku przeglądarki ustawić natężenie pola magnetycznego i uruchomić kamerę, a po chwili mikroskopowe zdjęcie domen magnetycznych pojawiało się na ekranie jego komputera. Bardziej dociekliwi internauci mogli wielokrotnie powtarzać doświadczenie i obserwować, jak struktura domenowa zmienia się przy różnych wartościach pola. Druga część eksperymentu polegała na badaniu procesów namagnesowania próbki. Również tutaj internauta sam ustawiał parametry układu i kliknięciem myszki uruchamiał pomiar. Jednym z wyników była krzywa histerezy magnetycznej, wyświetlona w okienku przeglądarki.

Dla dodania realizmu całemu przedsięwzięciu dodatkowa kamera wideo bez przerwy filmowała pomieszczenie, w którym ustawiono aparaturę oraz ... akwarium z rybkami. Obraz z tej kamery również był transmitowany do Internetu w postaci klatek odświeżanych co kilka sekund.

Popularnonaukowe wykłady „wyjazdowe"

W piątek 24 września większość uczestników Zjazdu podziwiała przyrodę Podlasia, biorąc udział w wycieczkach. Czwórka wykładowców pracowicie spędziła piątkowe przedpołudnie w Łomży (Jadwiga Biała i Krzysztof Piotrzkowski) i Suwałkach (Jan Królikowski i Aleksander Serebrow). Kilkaset osób z dużym zainteresowaniem wysłuchało ich wykładów o badaniach cząstek elementarnych oraz Kosmosu.

Więcej informacji na temat imprez towarzyszących Zjazdowi można znaleźć na internetowych stronach: physics.uwb.edu.pl/ptf/zjazd.shtml.

Zestawienie przybliżonej liczby osób biorących udział w imprezach popularnonaukowych towarzyszących Zjazdowi Fizyków Polskich w Białymstoku w dniach 20–24 września 1999 r.

Lokalizacja	Impreza	Liczba uczestników
Instytut Fizyki ul. Lipowa 41	Prezentacja białostockiego „Regionalnego komputerowego laboratorium do nauczania przedmiotów przyrodniczych"	850
	Pokaz ciekawych doświadczeń z fizyki	1200
	Popularnonaukowe wykłady popołudniowe	700
Instytut Fizyki ul. Sosnowa 64	Wystawa „Fizyka i kosmos"	1400
	Filmy wideo (ABC 1)	700
	Warsztaty „Fizyka w Internecie"	500
ul. Liniarskiego 4	Fizyka zabawek	3800
	Wystawa „Akceleratory cząstek"	1500
	Filmy wideo (ABC 2)	1300
Instytut Biologii ul. Świerkowa 20C	Zastosowanie nowoczesnych metod telemetrycznych w badaniach fizjologicznych zwierząt	400
	Muzeum Przyrodnicze	600
	Filmy wideo z biologii	500
Instytut Chemii ul. Sosnowa 64	„Przygody z chemią" – demonstracja doświadczeń chemicznych	400
	Pokaz „Chemia praktyczna dla wszystkich"	400
	Prezentacja przewoźnego laboratorium lidarowego z Uniwersytetu Warszawskiego	800
	RAZEM	15 000

W imprezach uczestniczyli uczniowie i nauczyciele ze 110 szkół średnich i podstawowych oraz gimnazjów z Białegostoku, Łomży, Suwałk, Augustowa i Ełku, Sokółki, Bielska Podlaskiego, Hajnówki, Supraśla, Knyszyna, Drohiczyna, Dąbrowy Białostockiej, ...

Fizyka i zabawki – obrazki z wystawy

Grzegorz Karwasz

Instytut Fizyki, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Słupsk
oraz *Istituto Nazionale per la Fisica della Materia, Dipartimento di Fisica, Trento, Włochy*

Nihil novi

Muzea naukowe w wielu krajach przodujących w postępie naukowym są sprawdzoną metodą popularyzacji nauki i uzupełnienia tradycyjnych środków dydaktycznych. Można tu wymienić amerykańskie Science Cities (San Francisco) czy ośrodki europejskie, jak Monachium, Paryż, Eindhoven. Są to prawdziwe fabryki wiedzy, w których tylko opisane doświadczenia zajmują spore tomy, tzw. Cookie Books (zresztą zazwyczaj trudne do zdobycia). Czasopisma naukowe, jak *Scientific American*, rezerwują specjalne działy dla autorów prostych doświadczeń fizycznych.

Organizując wystawę „Fizyka zabawek", częściowo w ramach grantu KBN, częściowo w ramach programu polsko-włoskiej współpracy naukowej, natrafiłem na wielu entuzjastów pomysłu (tu należy wymienić profesorów H. Wrembla, K. Ernsta, A. Maziewskiego i redakcję *Wiedzy i Życia*), ale również na licznych malkontentów. „Jaki sens ma sprowadzanie eksponatów z zagranicy, jeśli wiele z nich, jak młynek Crookesa, jest od lat na wyposażeniu uczelni?" (tylko kto to pamięta, dlaczego kręci się on „pod światło"?). Jeżeli chce się zobaczyć prawdziwe muzeum nauki, trzeba się wybrać do ... – całymi dniami można tam chodzić i ..." (naciskać guziki – przypisek autora). Tymczasem wystawa zorganizowana dość skromnymi środkami, głównie przy zaangażowaniu młodych asystentów (Słupsk), studentów (Warszawa), a nawet licealistów (Białystok), zgromadziła w każdej edycji po kilka tysięcy zwiedzających.

Proste jest piękne

Impreza, zaprojektowana przez prof. Zanettiego z Uniwersytetu w Trydencie, odnosi sukcesy w kraju i za granicą dzięki kilku unikalnym cechom. Po pierwsze, dzięki prostocie eksponatów: wszystkie przedmioty są do nabycia w sklepach z pamiątkami (gadżetami) lub możliwe do wykonania prostymi metodami. Włoskie INFM (w randze naszego PTF) poświęca popularyzacji nauki specjalne sesje i wystawy w ramach swych dorocznych kongresów [1]. Budowane są skomplikowane urządzenia, jak np. model hydrauliczny tranzystora lub wanny elektrolityczne sprzężone z oscyloskopami cyfrowymi do obserwacji interferencji drgań mechanicznych. Żadne jednak z tych doświadczeń nie daje tak bezpośredniego wglądu w fizykę, jak wahający się pisak (harmonograf) [2] lub kilka płytek metalowych podłączonych do woltomierza (do badania potencjałów elektrolitycznych). Eksponaty, stosunkowo niedrogie i dostępne w sprzedaży wysyłkowej [3], nie tylko cechują się duża zawartością know-how naukowego, ale odpowiadają również współczesnym kanonom estetyki i marketingu.

Drugą unikalną cechą „wystawy Zanettiego" jest możliwość dotknięcia prawie wszystkich eksponatów. Na ogół wiadomo, że ciało ludzkie jest dobrym przewodnikiem prądu. Sposobność położenia dłoni na różnych metalach (aluminium, stal, stal nierdzewna) umożliwia jednak wiele wariantów eksperymentu: czy ręce są wilgotne, czy metal jest utleniony, czy siła elektromotoryczna pozostaje stała. W wielu przypadkach możliwość dotknięcia eksponatów na wystawie jest tylko pozorna – te łatwo ginące lub tłukliwe (termometr Galileusza, kula plazmowa [2]) są poza zasięgiem ręki, jakby przez przypadek.

I wreszcie podstawowym elementem sukcesu jest drobiazgowe przygotowanie się osób oprowadzających. Zabawki są podzielone w 4–5 działów. Opis każdego z eksponatów jest sam w sobie minireferatem popularnonaukowym. Większość zwiedzających niewiele pamięta z wystawy – dla studentów, szczególnie kierunków pedagogicznych, jest to natomiast ważne doświadczenie dydaktyczne.

Kwarki czy skwarki

Spłycenie programów nauczania oraz ograniczenie znaczenia fizyki jako przedmiotu kształtującego umiejętności dedukcyjno-eksperymentalne ucznia nie wynika tylko z przeprowadzanych reform szkolnictwa. Jest to w dużej mierze proces nieodwracalny, związany z obecnym etapem postępu naukowego w skali światowej i kryzysem państwa jako odbiorcy technologii. Nagromadzanie się faktografii jest obecnie w innych dziedzinach naukowych znacznie szybsze niż w fizyce. Tym bardziej rodzi się konieczność sięgania po niestandardowe metody nauczania, „multimedialne", „kompaktowe", łatwe do rozpowszechnienia i dające uczniowi sposobność wykazania własnej inwencji.

Możliwość wykonania doświadczenia za pomocą prostych, „niezawodnych" przedmiotów spotka się też

ze sporym zainteresowaniem nauczycieli. W warunkach szkolnych ustawienie wanny elektrolitycznej, nawet z wykorzystaniem gotowych zestawów [4], jest często niemożliwe z banalnych powodów bhp, organizacyjnych, czasowych. Nie do końca zdefiniowane programy kształcenia nauczycieli też nie sprzyjają nauczaniu fizyki. (Tu, jako rodzic, który przeszedł cały cykl włoskiego 3-letniego gimnazjum, a później liceum, gdzie nauczycielami są zazwyczaj „przyrodnicy", mógłbym wiele opowiedzieć).

Zderzenie dwóch spadających piłek [5], dokonujące się w trzech wymiarach, w dużej mierze w sposób nieprzewidywalny, daje bardziej poglądowy obraz pędu jako wektora niż zderzenia kul bilardowych lub obliczenia. Większe zainteresowanie budzą przykłady (pozornego) łamania praw przyrody – stożki wtaczające się pod górę, ptaszki wiszące na dziobach, niestrudzone dzięcioły [6], wiecznie spragnione kaczki [7] – niż ugruntowane zasady zachowania. Oferta dydaktyczna fizyki musi być interesująca, tak aby skutecznie konkurować z innymi dziedzinami w dziale przedmiotowym „nauki przyrodnicze". W przeciwnym razie, siłą rzeczy, skwarki wyprą kwarki, a glony – gluony.

Naukowe kręcenie bąków

Wbrew pozorom, działanie wielu zabawek: niesymetrycznych czółenek [1,8], kręcących się tylko w jedną stronę, niezbyt foremnych bąków [9], lewitronów [10], nie jest wcale takie proste do wytłumaczenia. Ich analiza wymaga skomplikowanych obliczeń numerycznych dynamiki ciała stałego w obecności niezbyt dokładnie określonych sił i momentów zewnętrznych (grawitacji, siły tarcia). Odwracający się bąk [5,9] budzi zainteresowanie chemików kwantowych: pojęcia stanów metastabilnych, oddziaływań perturbacyjnych, nie przecinających się krzywych potencjałów (avoided crossing), przy odrobinie fantazji wykładowcy mogą być wprowadzone za pomocą wirujących bąków. Lewitron, układ czterech magnesów stałych, nie zapewniłby stabilności zawieszenia w powietrzu piątego magnesu, o ile nie byłby on stabilizowany obrotem – podobnie jak w pułapce atomowej Paula [11].

Kula plazmowa służyć może wyjaśnieniu szeregu zagadnień, z których najbardziej obrazowe jest prawo Gaussa: sznury plazmy jako linie pola elektrycznego wokół ładunku punktowego. W rzeczywistości wyładowanie w plazmie pod średnim ciśnieniem jest rzadko badane, a sznury plazmowe mogą same w sobie stanowić falowody [12]. Kolor wyładowania jest z kolei określony przez dobór gazu wypełniającego (azot?) oraz lokalną (nierównowagową) temperaturę plazmy. Zapalanie się neonówki w pobliżu kuli to dowód na propagację fal elektromagnetycznych, ekranowanie tej propagacji przez tkankę biologiczną to ostrzeżenie przed nadużywaniem telefonii komórkowej itd.

Żarówka energooszczędna plus płyta CD to prosty spektrometr [13,14]. W zależności od wieku i przygotowania słuchaczy może służyć na dowód, że światło białe jest złożeniem rożnych barw, że płyta jest siatką dyfrakcyjną, że przejścia emisyjne w atomie są skwantowane, że lampy sodowe zawierają domieszkę par rtęci, że w niebieskim kolorze bezchmurnego nieba jest sporo koloru czerwonego (nietypowe, niskoenergetyczne przejścia elektronowe w cząsteczkowym tlenie [15]). Plastykowa okładka tej płyty może natomiast ilustrować zasadę rozpraszania Rayleigha w atmosferze (światło nieba jest spolaryzowane) i naprężenia w polimerach.

A celtycki amulet prawie symetryczny? To niezbity dowód, że mała asymetria ładunkowo-przestrzenna (CP) [16] przy zachowaniu symetrii CPT [17] może być wystarczającym powodem, że czas kręci się tylko naprzód, a my się w nim starzejemy.

Literatura

[1] http://www.infm.it.

[2] http://www.wsp.slupsk.pl.

[3] http://www.stark-verlag.de (Physik Boutique), http://www.natura-co.it.

[4] http://www.pasco.com (Pasco), http://www.edsci.com (Edmund Scientific).

[5] G.Karwasz, T.Wróblewski, „Czy świat się kręci w prawo?", *Foton*, w przygotowaniu.

[6] W. Niedzicki, „Fizyka zabawek", wideo VHS (Abernet, Warszawa 1999).

[7] K. Ernst, „Wiecznie spragniony ptak", *Wiedza i Życie*, wrzesień 1998, s. 52.

[8] J. Walker, „The mysterious 'rattleback': a stone that spins in one direction and then reverses", *Sci. Am.*, October 1979, s. 148.

[9] W. Zanetti, „Trottola che si ribalta", *La Fisica nella Scuola*, XXVI, 4 Supplemento Q4 (1993), s. 45.

[10] R.F. Gans, T.B. Jones, M. Washizu, „Dynamics of Levitron", *J. Phys. D* **31**, 671 (1998).

[11] C. Townsend, W. Ketterle, S. Stringari, „Kondensacja Bosego–Einsteina", *Postępy Fizyki* **48**, 333 (1997).

[12] Z. Zakrzewski, „Conditions of existence and axial structure of long microwave discharges sustained by travelling waves", *J. Phys. D* **16**, 171 (1983).

[13] D. Pliszka, T. Wróblewski, M. Brozis, G. Karwasz, „Proste doświadczenia ze źródłami światła", *Fizyka w Szkole* (1999), w druku.

[14] V. Zanetti, J. Harris, „Spectra of Three Light Sources with a CD", *Phys. Teach.* **31**, 82 (1993).

[15] A. Zecca, G.P. Karwasz, R.S. Brusa, „One century of experiments on electron-atom and molecule scattering", *Nuovo Cimento* **19**, nr 3, 1 (1996).

[16] A. Angelpoulos i in., „A determination of the CPT violation parameter Re(δ) from the semileptonic decay of strangeness-tagged neutral kaons", *Phys. Lett.* **B444**, 52 (1998).

[17] F. Abe i in., „Measurements of the CP-Violation Parameter sin(2β) in $B^0_d/\bar{B}^0_d \to J/\Psi K^0_S$ Decays", *Phys. Rev. Lett.* **81**, 5513 (1998).

Czy radon w naszych domach stanowi zagrożenie?

Józefina Turło

Pracownia Dydaktyki Fizyki, Instytut Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

Motto: *Nie uwierzysz, aż przemierzysz*

1. Wprowadzenie

Od niedawna wiemy, iż w ogólnym bilansie dawek promieniowania jonizującego, na jakie jesteśmy narażeni, największy udział ze wszystkich źródeł naturalnych ma szlachetny, ok. 7,5 razy cięższy od powietrza pierwiastek gazowy – radon [1-8]. Nazwą „radon" obejmuje się grupę 27 różnych izotopów o liczbie atomowej 86 i liczbie masowej od 200–226. Głównym przedstawicielem tej grupy izotopów jest radon, ^{222}Rn. Pochodzi on bezpośrednio od najbardziej rozpowszechnionego w przyrodzie izotopu radu, ^{226}Ra, który z kolei powstaje w wyniku naturalnego rozpadu promieniotwórczego uranu, ^{238}U. Naturalny rozpad toru, ^{232}Th, prowadzi do powstania izotopu radonu, ^{220}Rn – toronu, a promieniotwórczy aktyn, ^{235}Ac, zapoczątkowuje łańcuch przemian prowadzących do powstania aktynonu, ^{219}Rn.

Źródłem uranu i toru są najczęściej kwaśne skały magmowe oraz skały ilaste, zwłaszcza odmiany zasobne w substancje organiczne. Istotnym źródłem radonu mogą być również odpady antropogeniczne powstające podczas przeróbki surowców mineralnych oraz materiały budowlane wykonane z żużli i popiołów. Gdzie wobec tego możemy znaleźć promieniotwórczy radon?

— W glebie lub skałach, na których zbudowane są nasze domy;

— w materiałach budowlanych, wytworzonych z żużli i popiołów, pochodzących z terenów o dużej zawartości pierwiastków z szeregu uranowego;

— w odpadach antropogenicznych powstających podczas przeróbki surowców mineralnych;

— w wodzie pitnej, której ujęcia znajdują się na terenach o dużej zawartości pierwiastków pochodzących z łańcucha rozpadu promieniotwórczego uranu lub toru (następuje wówczas dyfuzja radonu do wody);

— w gazie ziemnym, doprowadzonym do mieszkań (ze względu na długą drogę gazu w rurociągu jest to jednak niewielki wkład);

— w tytoniu (papierosach);

— w źrodłach geotermalnych;

— w rzekach przepływających przez tereny o dużej zawartości radonu (radon dyfunduje do wody rzecznej i płynąc wraz z rzeką powoduje dodatkowe napromienienie pobliskich obszarów).

Jeżeli przyjmiemy, że statystyczny Polak otrzymuje rocznie ze wszystkich źródeł promieniowania dawkę równoważną ok. 3,5 mSv, w tym 80% od źródeł naturalnych, to przyczynek ok. 1,4 mSv, pochodzący od wdychania bądź wchłaniania z wodą promieniotwórczego radonu, jest najistotniejszy.

Okazuje się, że jeżeli pominiemy hipotetyczny, pozytywny efekt tzw. „hormezy radiacyjnej" [9,10], mającej miejsce w przypadku niewielkich dawek promieniowania jonizującego, duże stężenia promieniotwórczego radonu mogą być przyczyną zwiększonego prawdopodobieństwa zachorowań na choroby cywilizacyjne, w tym przede wszystkim na choroby nowotworowe płuc, górnych dróg oddechowych i białaczkę [11–14].

Zagrożenie dla naszego zdrowia może powodować przede wszystkim promieniotwórczy izotop radonu, ^{222}Rn, ponieważ jego okres półrozpadu z przemianą na promieniotwórczy polon ^{218}Po i jednoczesną emisją cząstek α wynosi aż 3,8 dni! (odkrycia tej przemiany dokonała nasza rodaczka Maria Skłodowska-Curie). Okresy półrozpadu $T_{1/2}$ dla pozostałych, wymienionych powyżej izotopów radonu wynoszą odpowiednio ok. 55 s i 4 s.

Z polonu, ^{218}Po, podczas kolejnych, naturalnych przemian promieniotwórczych powstają nowe, już nie gazowe pierwiastki promieniotwórcze, zwane pochodnymi radonu: ołów ^{214}Pb, bizmut ^{214}Bi i polon ^{214}Po oraz ołów ^{210}Pb, bizmut ^{210}Bi i polon ^{210}Po aż do otrzymania stabilnego ołowiu, ^{206}Pb. Mają one charakter jonowy, wobec czego łatwo osiadają na unoszących się w powietrzu, niewidocznych gołym okiem pyłach (np. dymie papierosowym, kurzu) i „przyklejają się" do przedmiotów, ścian, podłogi, sufitu, ekranu monitora TV itp., emitując jednocześnie promieniowanie α, β i γ.

Znajdujące się w powietrzu atomy radonu i jego pochodnych w czasie oddychania dostają się do oskrzeli i płuc, a powstające podczas ich rozpadu aktywne biologicznie cząstki α, wywołując jonizację we wnętrzu komórek, mogą doprowadzić do bezpośredniego uszkodzenia kwasów nukleinowych w jądrach komórkowych, a co

za tym idzie – do rozregulowania podstawowych funkcji komórki (synteza białek, w tym enzymów, zaburzenia podziału itp.). Zaburzenia te mogą się ujawnić, często po wielu latach, w postaci raka płuc.

Zwiększona zachorowalność na raka płuc u górników pracujących w kopalniach uranowych, gdzie stężenie radonu jest bardzo wysokie, i w kopalniach nie uranowych o podwyższonym stężeniu radonu została udokumentowana. Nie stwierdzono natomiast zwiększonego zagrożenia tą chorobą wśród górników dołowych kopalni soli, niklu i miedzi, gdzie koncentracja radonu jest niewielka. Badania wykazały ponadto, że rakotwórcze działanie radonu jest silnie wzmacniane paleniem tytoniu! Stopień zagrożenia zależy od całkowitej ilości radonu i jego pochodnych wchłoniętych w ciągu wielu lat życia.

Badania przeprowadzone w Anglii, Szwecji, Norwegii i USA wykazały, że znaczna część populacji w tych krajach otrzymuje od radonu w domach roczną dawkę promieniowania jonizującego przekraczającą dopuszczalną dawkę ustaloną przez międzynarodowe organizacje dla górników (20 mSv – w różnych krajach świata, 50 mSv w Polsce). W pomieszczeniu, w którym stężenie radonu wynosi 300 Bq/m^3, mieszkańcy otrzymują rocznie większą dawkę niż wynosi średnia dawka otrzymywana przez górników uranowych. Jest to zrozumiałe, jeżeli przyjmiemy, iż 80% czasu spędzamy w pomieszczeniach (dom, biuro, szkoła, teatr itp.). Przy założeniu średniej długości życia wynoszącej 70 lat, dla średniego stężenia radonu w pomieszczeniach 50 Bq/m^3 wzrost przypadków zachorowań na raka płuc można porównać z wynikającym z narażenia górników w kopalniach. Badania prowadzone w Norwegii wskazują, że ok. 10–30% przypadków raka płuc w tym kraju może być spowodowana przez radon w domach.

Z badań angielskich wynika, że radon może mieć również wpływ na występowanie białaczki. Związane jest to z łatwością rozpuszczania się radonu w tłuszczu, który wchodzi w skład czerwonego szpiku kostnego, odpowiedzialnego za tworzenie morfotycznych elementów krwi. Analiza danych sugeruje, że 6–12% przypadków białaczki w Anglii może być związanych z ekspozycją na radon w domach, charakteryzujących się stężeniem około 20 Bq/m^3 [11–13].

Tak więc zainteresowanie zagrożeniem zdrowia powodowanym przez radon ^{222}Rn w ostatnich 10 latach szczególnie wzrosło. Wiele organizacji zajmujących się ochroną zdrowia i środowiska postuluje zmniejszenie ryzyka powodowanego radonem występującym w glebie, wodzie, powietrzu oraz materiałach budowlanych. Obniżane są dopuszczalne limity stężenia radonu (w Bq/m^3) w pomieszczeniach mieszkalnych (patrz np. Szwecja, Szwajcaria, Anglia w tab. 1 [4]). W Szwecji np. władze samorządowe są odpowiedzialne za wykonywanie bezpłatnych pomiarów w domach, podejrzanych o występowanie dużych wartości koncentracji radonu, a zezwolenie na nową budowę wydają dopiero po sprawdzeniu stężenia radonu w planowanym miejscu zabudowy.

Tabela 1. Dopuszczalne wartości koncentracji radonu w budynkach mieszkalnych (Bq/m^3).

Kraj	Istniejące budynki	Nowe budynki
Finlandia	200	200
Niemcy	250	250
USA	150	150
Szwecja	400	140
Szwajcaria	1000	400
Anglia	200	80
Polska	400	200 (od 1.01.1998)

Edukacyjny projekt badawczy dla młodzieży RADONET

Rewolucja informatyczna w różnych dziedzinach działalności ludzkiej, w tym edukacji, trwa. Po etapach automatyzacji i informatyzacji (alfabetyzacji komputerowej oraz rozwoju metod i środków technologii informacyjnej), które wciąż trwają, nastąpiła „era komunikacji". Rozwój telekomunikacji jest obecnie jednym z podstawowych czynników decydujących o charakterze i rozwoju naszej cywilizacji. Tak jak w erze intensywnego rozwoju przemysłu ważne było budowanie dobrej jakości dróg, tak dla „społeczeństwa informatycznego" coraz ważniejszym się staje, aby informacje uzyskiwać bardzo szybko, z właściwego źródła i wymieniać je natychmiast z innymi, czyli mieć dostęp do najlepszych światowych „dróg komunikacji elektronicznej", tzn. do globalnych sieci komputerowych.

Organizacje rządowe i pozarządowe wielu krajów świata w coraz większym stopniu doceniają obecnie potencjał Internetu jako potężnego narzędzia w edukacji na różnych poziomach nauczania. Powstały międzynarodowe stowarzyszenia i fundacje, jak np. Web Society, CONCORDE Corporation, EARN, NASA, GLOBE, TERC czy Global SchoolNet Foundation, które promują pozytywne wzorce (standardy) wykorzystania możliwości Internetu w edukacji. Programy tego typu organizacji mają na celu zachęcenie ekspertów przedmiotowych i nauczycieli do twórczej działalności na rzecz proponowania i prowadzenia komputerowo wspomaganej zespołowej aktywności i współpracy uczniów różnych narodowości.

Wiele interesujących projektów o charakterze globalnym, mających na celu podniesienie świadomości ekologicznej dzieci, młodzieży i dorosłych, jest na świecie aktualnie realizowanych. Na uwagę zasługują osiągnięcia takich programów, jak GREEN (Global Rivers Environmental Education Network), SCIENCE ACROSS EUROPE [15] (zaproponowany przez Association for Science Education z Wielkiej Brytanii) czy GLOBE (Global Learning and Observation to Benefit the Environment). Ten ostatni program „światowych badań edukacyjnych", w którym uczestniczą uczniowie, nauczyciele i naukowcy, obok kontynuacji badań zmian w zakresie fauny i flory, azotanów w łańcuchu pokarmowym oraz

stężenia ozonu przyziemnego i stratosferycznego, proponuje w najbliższym czasie projekty dotyczące badań zanieczyszczeń powietrza i skażenia środowiska promieniowaniem jonizującym.

Biorąc to pod uwagę oraz merytoryczne, środowiskowe i prozdrowotne aspekty przedstawionego powyżej problemu radonowego, zaproponowaliśmy realizację w Polsce interdyscyplinarnego projektu badawczego pt. RADONET (od: RADON-NET).

Opracowany i zrealizowany przez nas Projekt stworzył możliwość włączenia się naszych uczniów (dzięki wykorzystaniu Internetu) do międzynarodowych badań dotyczących pomiarów promieniowania jonizującego w środowisku człowieka i jednocześnie zapoczątkował tworzenie bazy danych uczniowskich wyników pomiarów koncentracji radonu z terenu całej Polski. Założyliśmy, że po realizacji projektu uczniowie, nawet już w wieku lat 13–15, dzięki samodzielnym badaniom koncentracji radonu w powietrzu własnego domu, w wodzie, którą piją, czy też w bezpośrednim otoczeniu używanego przez nich monitora TV lub komputera będą potrafili odpowiedzieć na poniższe pytania:

— Jakie źródła promieniowania jonizującego znajdują się wokół nas?

— Skąd się bierze radon w środowisku człowieka, jak można zmierzyć jego stężenie (koncentrację) w powietrzu, w wodzie i glebie?

— Jak wielkość koncentracji radonu i jego pochodnych zależy od natężenia pola elektrycznego i elektromagnetycznego w miejscu pomiaru?

— Co możesz powiedzieć o właściwościach radonu?

— Który z promieniotwórczych izotopów radonu może stanowić szczególne zagrożenie dla naszego zdrowia i dlaczego?

— Jakie są drogi wnikania radonu do domów?

— W jaki sposób radon dostaje się do naszego organizmu?

— Jak zinterpretujesz lokalne dane stężenia radonu i jakie wnioski możesz z tego wyciągnąć?

— Jak możemy zmniejszyć ryzyko narażenia zdrowia z powodu podwyższonej koncentracji promieniotwórczego radonu?

— Jak możemy zmniejszyć poziom koncentracji radonu wewnątrz budynków?

— Dlaczego dopuszczalne dawki koncentracji radonu w budynkach różnią się w różnych krajach?

— Dlaczego ludzie godzą się ze znacznym zagrożeniem powodowanym przez radon, podczas gdy podejmują działania mające na celu zmniejszenie innych zagrożeń, które nie są tak duże?

— Dlaczego tylko w niewielu domach w naszym kraju zbadano poziom koncentracji radonu?

3. Metoda badawcza

Pomiar promieniowania α emitowanego podczas reakcji promieniotwórczego rozpadu

$$^{222}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{218}\mathrm{Po} + \alpha$$

jest możliwy przy użyciu wielu metod. Najbardziej znane z nich wykorzystują impulsowe lub elektretowe komory jonizacyjne, detektory scyntylacyjne, spektrometry α z diodami Si, bariery powierzchniowe lub dyfuzyjne detektory złączowe, a także rejestrację śladów cząstek α w materiałach ciał stałych (metoda pasywna).

Do pomiarów koncentracji radonu w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych uczniów z terenu 13 byłych województw naszego kraju (których wyniki zamieszczamy w tej pracy), zastosowano metodę analizy śladów cząstek α pozostawionych na wykonanych z tworzywa sztucznego CR-39 płytkach TASTRAK. Metoda ta została opracowana i wdrożona do praktyki edukacyjnej dzięki wsparciu Ministerstw Edukacji, Zdrowia i Ochrony Środowiska Wielkiej Brytanii w 1988 roku [16–21]. Podobne badania na dużą skalę prowadzili również uczniowie węgierscy [22,23].

Projekt RADONET [24] realizowało 35 nauczycieli i ok. 1000 uczniów w okresie od 12 kwietnia do 14 czerwca 1997 roku. Koordynatorami projektu byli pracownicy i studenci wykonujący prace magisterskie w Instytucie Fizyki UMK w Toruniu, gdzie wytrawiano płytki przesłane po ekspozycji, zliczano ślady i obliczano odpowiednie stężenia radonu. Proste detektory radonowe w oparciu o płytki TASTRAK uczniowie wykonywali sami na lekcjach fizyki. Do komunikacji autorów projektu z uczestnikami, a także dyskusji otrzymanych wyników, użyto sieci Internet.

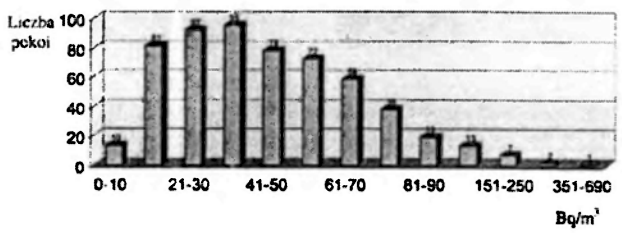
Koncepcja dydaktyczna projektu, opracowana we współpracy z nauczycielami fizyki, chemii i biologii, została opublikowana w języku polskim [25–27] i angielskim [28,29], a szczegółowy opis wyników można znaleźć w Internecie pod adresem: www.phys.uni.torun.pl/~pdf/radonet.

Pracownia Dydaktyki Fizyki aktualnie prowadzi badania dotyczące wpływu różnych warunków środowiska zewnętrznego na poziom koncentracji radonu. W szczególności, w związku z dyskusją na ten temat w literaturze [30,31] interesuje nas wpływ pola elektrycznego i elektromagnetycznego [32,33]. Okazuje się, że zarówno w polu elektrycznym, jak i elektromagnetycznym wartości względne koncentracji radonu i jego pochodnych mogą przyjmować wartości od kilku do kilkuset, a nawet kilku tysięcy razy wyższe, w zależności od wartości i znaku potencjału, odległości od źródła pola, jego kształtu i rozkładu linii sił [33]! Przy okazji warto zauważyć, że siedząc w niewielkiej odległości od monitora komputerowego zasilanego z sieci możemy wdychać średnio ok. trzykrotnie więcej radonu niż wówczas, gdy urządzenie to nie jest zasilane. Jak więc postępować? Przede wszystkim często wietrzyć pomieszczenie, w którym pracujemy, a ponadto przecierać ekran monitora komputerowego (lub odbiornika TV) mokrą ściereczką.

4. Wyniki badań

Wyniki pilotażowych badań projektu RADONET przedstawia histogram na rys. 1.

Stężenie radonu w badanych pomieszczeniach mieszkalnych uczniów wahało się od 6 do 689 Bq/m^3, a średnie stężenie wynosiło ok. 70 Bq/m^3, natomiast w przynależnych do tych pomieszczeń piwnicach było średnio o 20 Bq/m^3 wyższe. W 3 przypadkach (na terenie Polski południowej) zarejestrowano stężenia dochodzące aż do ok. 2000 Bq/m^3! Naszym zdaniem wszystkie pomiary, w których stwierdzono koncentracje wyższą od 200 Bq/m^3 (ok. 8%) powinny zostać powtórzone, ponieważ od stycznia 1998 r. obowiązują nowe przepisy, na mocy których nie powinno się oddawać do użytku pomieszczeń mieszkalnych o efektywnym stężeniu równowagi radonu wyższym niż 200 Bq/m^3 (patrz tabela 1).



Rys. 1.

Najwyższe średnie wartości stężeń spośród badanych zanotowano w miejscowościach z byłych województw: jeleniogórskiego, krakowskiego, wrocławskiego i olsztyńskiego, a najniższe z bydgoskiego, włocławskiego i toruńskiego.

Badania przeprowadzone przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie wykazały, iż średnie stężenie radonu w pomieszczeniach mieszkalnych wynosi w Polsce 38 Bq/m^3 i waha się ono w granicach 4–600 Bq/m^3, a najwyższe wartości zarejestrowano w okolicach Jeleniej Góry.

Na podkreślenie zasługuje fakt, iż w powyższych badaniach, podobnie jak w innych tego typu projektach edukacyjnych dotyczących badań środowiska, obok pracowników nauki i nauczycieli uczestniczyli uczniowie, co miało na celu integrację zadań naukowych z interdyscyplinarną edukacją przyrodniczą i ekologiczną młodzieży.

Projekt RADONET mógł zostać zrealizowany dzięki niewielkiej pomocy finansowej CODN w Warszawie i Dziekana Wydziału Fizyki i Astronomii UMK, pomocy merytorycznej K. Szumińskiej, A. Gosik, A. Kowalskiego, K. Gołębiowskiego, A. Karbowskiego, J. Rybickiego i K. Wejera, oraz 35 nauczycieli. Są to: K. Baranowski (I LO Olsztyn), B. Biesiedna (SP nr 222 Warszawa), B. Chodziutko (I LO Grudziądz), B. Czechowska (ZSTiO Gorzów Wlkp.), E. Czupry (XI LO Wrocław), T. Fereżyńska (SP nr 8 Nowa Ruda), W. Gancarz (LO Toruń), L. Gerszberg (ZSE-H Olsztyn), M. Grzegorczyk (II LO Olsztyn), G. Jaworska (SP nr 91 Wrocław), A. Kozar (ZSMR Strzelce Kraj.), T. Kubiak (ZSMEiE Toruń), E. Kurek (XV LO Warszawa), B. Lubiszewski (LO Jelenia Góra), Z. Łuczka (I LO Gorzów Wlkp.), E. Łysik (SP Unisław), J. Matuła (SP w Grzybnie), K. Matuszak (SP nr 3 Myślibórz), B. Mądro (SP nr 6 Toruń), H. Osicka (IV LO Toruń), H. Pieńkowska (II LO Olsztyn), T. Piwowarczyk (ZSZ Barlinek), E. Plucińska (V LO Olsztyn), E. Parszyk i M. Polaszewska (SP nr 10 Toruń), M. Poniatowska (ZSE Włocławek), W. Skoniecki (SP Świętosław), S. Ślezion (II LO Gorzów Wlkp.), B. Sordyl (PSP 9 Częstochowa), A. Stanilewicz (LO Piła), E. Szreniawa (ZSS Niepołomice), Z. Tomusiak (ZSE Przemyśl), P. Walczak (LO Nakło n. Not.), B. Widła (LO Choszczno), M. Wrzeszcz (SP nr 29 Toruń). Wszystkim za ogromne zaangażowanie w pracę nad realizacją projektu serdecznie dziękuję.

Literatura

[1] A. Miliszkiewicz, *Radon* (Opolskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Warszawa-Wrocław 1978).
[2] A.V. Nero, „Earth, air, radon and home", *Phys. Today* **42**, z. 4, 32 (1989).
[3] A. Hrynkiewicz, „Promieniowanie naturalne w środowisku", *Postępy Fizyki* **44**, 5 (1993).
[4] K. Mamont-Cieśla, „Sources of radon in indoor air", *Nukleonika* **38**, 71 (1993).
[5] A. Skłodowska, B. Gostkowska, *Promieniowanie jonizujące a człowiek i środowisko* (Wyd. Naukowe Scolar, Warszawa 1994).
[6] T. Niewiadomski, *Radon, właściwości, ryzyko, przeciwdziałanie* (1994).
[7] J. Turło, R. Gajewski, Z. Turło, „Radioactivity around us", w: *Proc. of Harmonisation of East-West Radioact. Pollutant Measurement* (Budapest 1994), s. 324.
[8] A.T. Solecki, „Geochemia radonu", w: *Mat. konf. PTBR* (Zakopane 1997), s. 123.
[9] Sohei Kondo, *Medical Physics Publishing* (Kinki University Press, Osaka 1993).
[10] Z. Jaworowski, „Dobroczynne promieniowanie", *Wiedza i Życie*, z. 3 (1997).
[11] D.L. Henshaw, J.P. Eatough, R.B. Richardson, „Radon as a causative factor in induction of myeloid leukaemia and other cancers", *The Lancet* **335**, 1008 (1990).
[12] R. Doll, „Risk from radon", *Radiation Protection Dosimetry* **42**, 149 (1992).
[13] D.L. Henshaw, „Radon exposure in the home. Its occurance and possible health effects", *Contemp. Phys.* **34**, z. 1, 31 (1993).
[14] A. Hrynkiewicz, *Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego* (PAA, Warszawa-Kraków 1993).
[15] J. Turło, „The UK Association for Science Education (ASE) as the partner of TEMPUS Project aimed at »the modernisation of science teacher education« in Poland", *Science Education International* **10**, z. 1, 19 (1999).
[16] A.P. Fews, D.L. Henshaw, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* **197**, 517 (1982).
[17] A.P. Fews, *Nuclear Tracks Radiation Measurements* **12**, 221 (1986).
[18] A.P. Fews, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* **B72**, 9 (1992).
[19] G.C. Camplin, D.L. Henshaw, S. Lock, Z. Simmons, „A national survey of background α-particle radioactivity", *Phys. Educ.* **23**, 212 (1988).
[20] J.E. Allen, G.C. Camplin, D.L. Henshaw, P.A. Keitch, J. Perryman, „UK national survey of radon in domestic water supplies", *Phys. Educ.* **28**, 173 (1993).
[21] A.N. Ross, J.D. Brown, G.C. Camplin, D.L. Henshaw, w: *Proc. of Harmonisation of East-West Radioact. Pollutant Measurement* (Budapest 1994), s. 97.
[22] E. Toth, „Radon monitoring in schools", w: *Energy and*

risk, red. G. Marx (Veszprem, 1989), s. 175.

[23] G. Marx, „The Hungarian Gymnasium", *Europhys. News* **30**, z. 5–6, 30 (1999).

[24] J. Turło, A. Karbowski, K. Gołębiowski, J. Rybicki, „RADONET – program badawczy dla szkół wykorzystujący sieć Internet", w: *Mat. konf. Inf. w Szkole XII* (Lublin 1996), s. 412.

[25] D. Boruta, M. Kilińska, R. Kowalewska, E. Parszyk, M. Polaszewska, Praca dyplomowa pod kier. J. Turło, Projekt PHARE-TESSA, Podyplomowe Studium Badania Środowiska PRONAT, Toruń 1995.

[26] E. Parszyk, M. Polaszewska, D. Boruta, M. Kilińska, R. Kowalewska, J. Turło, w: *Mat. V Krajowej Konf. Zdrowych Miast Polskich* (Toruń 1996), s. 152.

[27] J. Turło, B. Mądro, H. Osicka, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Opolskiego, Fizyka* **27**, 25 (1997).

[28] H. Osicka, B. Mądro, J.Turło, „Radon in our homes – is the risk acceptable?", w: *Suppl. Teaching Mat.*, ICASE Publ. (1997), s. 96.

[29] J. Turło, „Interdisciplinary teachers' projects for science education", w: *Proc. of Intern. IOSTE Symposium* (Lublin 1997), s. 99.

[30] D.L. Henshaw, A.N. Ross, A.P. Fews, A.W. Preece, „Aerosol behaviour near high voltage powerlines – implications for human exposure", *Int. J. Radiation Biology* **69**, 25 (1996).

[31] E. Masood, *Nature* **379**, 571 (1996).

[32] A. Hoppe, „Badanie koncentracji radonu w mieszkaniach osób o podwyższonej zachorowalności na choroby górnych dróg oddechowych i płuc", praca mgr pod kier. J. Turło, UMK Toruń 1998.

[33] A. Kowalski, „Wpływ pola elektrycznego i elektromagnetycznego na poziom koncentracji radonu", praca mgr pod kier. J. Turło, UMK Toruń 1999.

World Wide Web na lekcjach fizyki

Stanisław A. Różański

ELIS, Liquid Crystal Group, Gandawa, Belgia

1. Wstęp

Sieć sieci, sieć globalna to określenia, które można spotkać dla zdefinowania światowej sieci Internet. Jeżeli tylko posiadamy komputer z odpowiednim oprogramowaniem i wyposażeniem (modem, linia telefoniczna) oraz wystarczające prawa dostępu, to możemy połączyć się z dowolnym komputerem na świecie. Obserwowany w ostatnich latach gwałtowny rozwój Internetu, wcześniej znanego pod nazwą ARPANet, przeszedł zapewne oczekiwania pomysłodawców (Advanced Research Projects Agency – agencja rządowa USA) i objął swym zasięgiem wszystkie dziedziny, w których niezbędna jest wymiana informacji. Stał się medium wpływającym coraz bardziej na sposób komunikowania się, współpracę między ośrodkami naukowymi, wymianę informacji i technologii oraz rozwój metod nauczania. Szczególnie edukacja stała się miejscem intensywnych badań i doświadczeń w zastosowaniu nowych technologii teleinformatycznych. Z osiągnięć wielu krajów wynika, że edukacja na odległość odgrywa coraz większą rolę w szybko rozwijającym się społeczeństwie, spełniając oczekiwania związane z możliwością przekwalifikowania się, uzupełniania wykształcenia czy zaspokajania chęci poznawczych.

Również intensywnie rozwijają się prace mające na celu stworzenie laboratoriów wyposażonych w unikalną aparaturę, dostępnych przez sieć. Tego typu rozwiązania mają szereg zalet: wzrasta efektywność wykorzystania drogiego sprzętu, z urządzeń korzysta jednocześnie wielu użytkowników itp. Możliwości jest tak dużo, jak rozległy i różnorodny jest Internet.

Burzliwie rozwijający się Internet wkracza również do polskich szkół, między innymi za sprawą takich projektów/programów, jak „Internet dla Szkół", „Internet w każdej gminie" czy „Internet w każdym gimnazjum". Nowe technologie teleinformatyczne zawierają w sobie duży potencjał edukacyjny, ułatwiają dostęp do informacji oraz wyrównują szanse w rozwoju cywilizacyjnym. Dzięki tym działaniom w Internecie pojawi się tysiące nowych użytkowników, a młodzież uzyska możliwość uczestniczenia w projektach wykraczających często daleko poza społeczność lokalną. W tej sytuacji nauczyciele chcący wykorzystać Internet na zajęciach w szkole staną przed koniecznością odpowiedzi na pytania: Gdzie szukać odpowiednich materiałów dydaktycznych i oprogramowania? Jakie środki techniczne i organizacyjne należy przedsięwziąć, aby maksymalnie skorzystać z nowych możliwości, stworzonych przez teleinformatykę?

W pracy przedstawiono szereg propozycji praktycznego zastosowania usług oferowanych w Internecie na zajęciach z fizyki w szkole oraz przykładowy scenariusz lekcji z wykorzystaniem zasobów sieci. Szczególną uwagę zwrócono na duże możliwości związane z zastosowaniem stron WWW.

2. Fizyka w Internecie

Infrastruktura Internetu doskonale nadaje się do wprowadzenia na zajęcia w szkole. Dzięki takim usługom, jak strony internetowe World Wide Web (WWW), poczta elektroniczna (e-mail), przesyłanie plików (ftp – file transfer protocol), listy dyskusyjne (listserv, Majordomo), grupy dyskusyjne (Usenet), umożliwia udział w realizacji różnych projektów oraz wyszukiwanie i wymianę informacji. Bardzo wiele zasobów, zawartych w sieci Internet, poświęconych jest fizyce. Podzielić je można na:

1) strony WWW pełniące rolę informacyjną i zawierające odnośniki do innych stron poświęconych fizyce, np. info.fuw.edu.pl/~ptf – Polskie Towarzystwo Fizyczne; wpex40.physik.uni-wuerzburg.de/~pkrahmer – Multimedia Physik – doskonała strona poświęcona fizyce i astronomii;

2) interaktywne strony WWW, umożliwiające wykonywanie symulacji doświadczeń oraz modelowanie zjawisk fizycznych, np. www.explorescience.com – symulacje doświadczeń fizycznych; www.Colorado.edu/physics/2000 – Physics 2000 – kurs fizyki z wykorzystaniem apletów Javy;

3) teledoświadczenia – doświadczenia lub przyrządy pomiarowe pracujące w czasie rzeczywistym, udostępniane przez Internet, np. wwl.itg.uiuc.edu – The World Wide Laboratory – dostęp do unikalnych przyrządów fizycznych; olbers.kent.edu/alcomed/Remote – The Remote Laboratory Classroom – między innymi badanie własności elektrooptycznych ciekłych kryształów;

4) bazy danych i zasoby programów, które można kopiować na dysk lokalny dzięki opcji ftp, np. www.visualphysics.com – The Project Visual Physics – programy ilustrujące różne działy fizyki; www.ftj.agh.edu.pl/~zdf/programy – programy dydaktyczne z fizyki;

5) strony WWW będące kompendium wiedzy na temat określonego działu fizyki, zawierające materiał ilu-

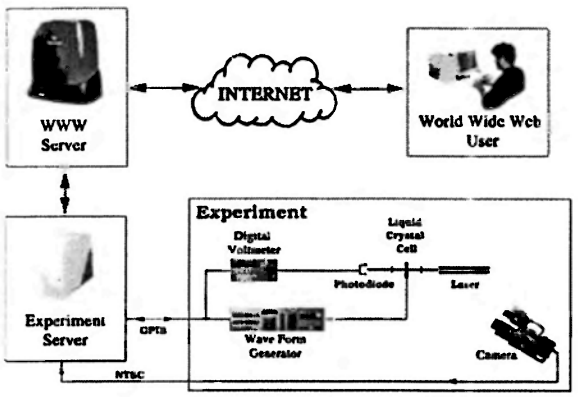
stracyjny w postaci filmów, zdjęć, wykresów oraz interaktywnych programów i symulacji, np. www.ifj.edu.pl/edukacja/adventure_home.html – „Przygoda z cząstkami" – strona poświęcona cząstkom elementarnym; ippex.pppl.gov/ippex – fizyka plazmy.

Do przeglądania stron internetowych wykorzystujemy dobrze znane przeglądarki Netscape oraz MS Internet Explorer, a oprogramowanie niezbędne do obsługi poczty elektronicznej (Eudora, Pegasus Mail, Outlook Express), ftp (np. WS_FTP) oraz innych usług sieciowych dostępne jest w Internecie.

Duża różnorodność prezentowanych w sieci materiałów dydaktycznych sprzyja ilustracji i uatrakcyjnieniu zajęć z fizyki prowadzonych w szkole. Internet udostępnia informacje, programy i urządzenia, na których zakup wiele szkół często nie może sobie pozwolić ze względów finansowych.

Szczególnie w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych wykorzystanie zasobów Internetu jest bardzo przydatne w celu zwiększenia poglądowości i efektywności zajęć oraz ułatwienia zrozumienia trudnych zagadnień współczesnej fizyki.

Ośrodki naukowe na świecie coraz częściej prezentują wyniki najnowszych badań w postaci stron WWW. W wielu przypadkach towarzyszą temu programy/projekty edukacyjne przeznaczone dla młodzieży gimnazjów i szkół średnich. Projekty te umożliwiają realizację badań/obserwacji zaplanowanych przez uczniów z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury pomiarowej dostępnej przez Internet (rys. 1). Uczniowie biorący udział w zajęciach zapoznają się z metodyką prowadzenia doświadczenia, zbierania i opracowywania danych. Zdobywają umiejętności, które są podstawą wykształcenia naukowego. Tego typu wirtualne laboratorium ma szereg zalet:



Rys. 1. Doświadczenie na odległość.

1) Eksperyment może być kierowany z dowolnego miejsca, w dowolnym czasie, jeśli użytkownik ma dostęp do Internetu.

2) Umożliwia wykorzystanie zasobów, których nie mamy lokalnie, oraz zapewnia pracę na unikalnej i drogiej aparaturze jednocześnie wielu użytkownikom.

3) Dzięki oddziaływaniu z fizycznie istniejącymi przyrządami mamy gwarancję, że wyniki są takie same, jak otrzymane bezpośrednio w laboratorium.

4) Pozwala na zdalne rozwiązywanie problemów z aparaturą oraz dokonywanie zmian i modyfikacji w jej konfiguracji.

5) Wprowadza się dane audio i wideo, które stwarzają odczucie obecności (telepresence) w miejscu informacji (np. laboratorium).

Dostęp do unikalnych przyrządów oraz kontakt z ekspertami danej dziedziny naukowej zwiększa motywację do uczenia się przedmiotów przyrodniczych oraz stymuluje zainteresowanie nauką. Przykłady takich projektów to:

www.amc.anl.gov – TelePresence Microscopy (Argonne National Laboratory) – projekt umożliwia wykorzystanie uczniom/studentom nowoczesnego mikroskopu elektronowego (ME) przez Internet. W pierwszym etapie zainteresowane klasy/grupy opracowują propozycje badań/obserwacji za pomoca ME. Następnie, po zakwalifikowaniu i uzyskaniu dostępu do mikroskopu, klasa przesyła materiał/próbki do badań. W wyznaczonym czasie loguje się do mikroskopu, używając przeglądarki WWW, i pod okiem naukowca wykonuje badania i obserwacje. Dodatkowo korzysta z wideokonferencji lub zwykłego telefonu w celu konsultacji otrzymanych wyników z obsługą mikroskopu.

chickscope.beckman.uiuc.edu – Chickscope (Beckman Institute at the University of Illinois at Urbana-Champaign) – jest projektem umożliwiającym pracę w czasie rzeczywistym na spektrometrze NMR przeznaczonym do obrazowania struktury układów biologicznych. Układ zawiera spektrometr NMR (170 MHz) wyposażony w magnes nadprzewodzący (4,7 T), system gradientowy i konsolę pomiarową. Uczniowie/studenci dzięki zdalnemu dostępowi do przyrządu mogą obserwować rozwój embrionu kurczaka, zmieniać ustawienie próbki i wykonywać zdjęcia. Strona poświęcona projektowi zawiera materiały dydaktyczne, takie jak zdjęcia, filmy wideo itp., daje możliwość zapoznania się z procesem uzyskiwania danych pomiarowych, współpracy z uczonymi różnych dziedzin oraz innymi uczniami biorącymi udział w projekcie.

bugscope.beckman.uiuc.edu – Bugscope (Beckman Institute at the University of Illinois at Urbana-Champaign) – udostępnia układ do obserwacji i uzyskiwania obrazów z transmisyjnego mikroskopu elektronowego Philips CM 200 (TEM) z wykorzystaniem sieci Internet. Można kontrolować powiększenie, pochylenie wiązki elektronowej, poziom jej zogniskowania oraz wykonywać zdjęcia. Uczestniczące w projekcie klasy mają możliwość obsługiwania na odległość TEM oraz obserwowania w bardzo dużym powiększeniu wybranych przez siebie owadów. Specjalnie do tego celu opracowano łatwe w obsłudze oprogramowanie.

Już ten krótki przegląd propozycji zawartych w Internecie potwierdza jego bardzo duże walory dydaktyczne. Dodatkowo w tabeli 1 podano wybrane adresy stron WWW umożliwiających zdalny dostęp do przyrządów

pomiarowych z możliwością wykonania wirtualnego doświadczenia.

3. Scenariusz lekcji

Ogromny rozwój w ostatnich latach przeżywa usługa World Wide Web (WWW). Dzięki wprowadzeniu na strony WWW grafiki, animacji, dźwięku, filmów itp., stały się one wiodącym medium w przekazywaniu informacji użytkownikom sieci. Szczególnie istotną zaletą coraz większej ilości stron WWW jest ich interaktywny charakter, dzięki zastosowaniu takich narzędzi, jak ActiveX i Java. Tego typu strony mogą być z powodzeniem wykorzystane do ilustracji i wspomagania zajęć z fizyki.

Na przykładzie strony WWW Explore Science, która znajduje się pod adresem: www.explorescience.com, omówiona zostanie metodyka wykorzystania Internetu na lekcji fizyki oraz zostanie podany przykładowy scenariusz lekcji dla klasy III LO: „Analiza drgań harmonicznych w układach mechanicznych z wykorzystaniem komputera podłączonego do Internetu".

Interaktywna strona WWW Explore Science to ciekawe miejsce dla tych, którzy poszukują prostych i poglądowych symulacji dla zilustrowania zajęć lekcyjnych z fizyki, prowadzonych na poziomie gimnazjum lub szkoły średniej. Zawiera ona szereg programów modelujących zjawiska z takich działów fizyki, jak mechanika, fale elektromagnetyczne, optyka, drgania mechaniczne itp. Przetłumaczoną przeze mnie na jezyk polski wersję tej strony można znaleźć pod adresem: physics.uwb.edu.pl/ptf/es/start.htm.

Symulacja, którą wykorzystamy na lekcji, umożliwia zapoznanie się z relacją między okresem, przyspieszeniem grawitacyjnym, długością wahadła, masą i współczynnikiem sprężystości w czasie ruchu harmonicznego. Model zakłada idealny ruch harmoniczny (przybliżenie małego kąta) oraz brak oporów powietrza. Suwaki umieszczone w górnej części ekranu (rys. 2) pozwalają na zmianę współczynnika sprężystości, długości wahadła oraz masy, natomiast suwak widoczny w dolnej części ekranu umożliwia zmianę przyspieszenia grawitacyjnego. Uczniowie obserwują zachowanie się układów modyfikując podane parametry i porównują uzyskane wyniki z doświadczeniem przeprowadzonym w klasie. Dzięki dostępowi do Internetu mogą dodatkowo wyszukiwać informacje dotyczące tematu zajęć, korzystając z wyszukiwarek Altavista, Yahoo, Hotbot itp. Połączenie doświadczenia wykonywanego praktycznie przez uczniów z analizą modelu daje duże korzyści dydaktyczne w procesie nauczania fizyki.

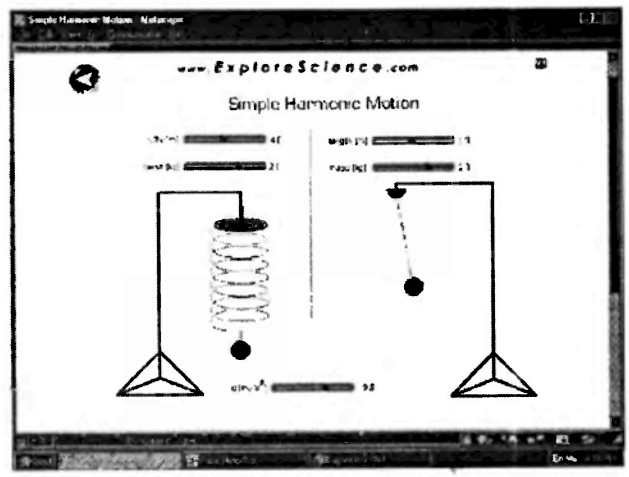
Metody aktywizujące spełniają coraz większą rolę w procesie nauczania. Jedną z tych metod, którą wykorzystamy na zajęciach z fizyki wspomaganych Internetem, jest praca w grupach. Daje ona dobre efekty dydaktyczne oraz wpływa na doskonalenie umiejętności współpracy i współdziałania uczniów przy rozwiązywaniu danego zadania. Jednocześnie doskonalone są umiejętności prowadzenia dyskusji i merytorycznego objaśnienia uzyskanych wyników.

W czasie zajęć uczniowie szukają związku między parametrami opisującymi układ drgający na podstawie przeprowadzonych doświadczeń i symulacji oraz weryfikują opis teoretyczny drgań harmonicznych. Dzięki temu nabierają umiejętności posługiwania się komputerem osobistym podłączonym do Internetu, zastosowania programów interaktywnych do symulacji zjawisk fizycznych oraz analizowania sytuacji fizycznej na podstawie modelu. W końcowym efekcie wpływa to na ugruntowanie wiedzy o drganiach harmonicznych i doskonalenie umiejętności budowania prostych układów doświadczalnych. Środki dydaktyczne, jakie wykorzystamy na lekcji, to:

— instrukcja ze schematem doświadczenia wraz z zadaniami do wykonania dla danej grupy,

— komputery z dostępem do Internetu,

— proste przyrządy (sprężyny, ciężarki, sznurki) służące do budowy układów drgających.



Rys. 2. Model wahadła sprężynowego i wahadła matematycznego.

4. Przebieg lekcji

1) Czynności przygotowawcze: podział klasy na grupy 2–3 osobowe, wybranie kierowników poszczególnych grup, zajęcie miejsca przy komputerach.

2) Powtórzenie wiadomości o drganiach harmonicznych w układach mechanicznych.

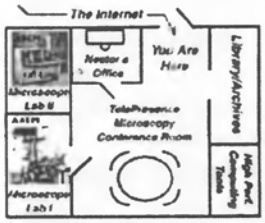
3) Podanie tematu lekcji – Analiza drgań harmonicznych w układach mechanicznych z wykorzystaniem komputera podłączonego do Internetu.

4) Omówienie metodyki wykorzystania programów interaktywnych i symulacji komputerowych. Wyjaśnienie idei doświadczenia.

5) Przydzielenie poszczególnym grupom zadań doświadczalnych oraz rozdanie instrukcji ich wykonania. Uczniowie otrzymują także materiały niezbędne do zestawienia układu doświadczalnego.

6) Uczniowie zestawiają układ doświadczalny zgodnie z instrukcją i wykonują eksperyment. Dokonują symulacji prostych układów drgających z wykorzystaniem programu dostępnego na stronie internetowej.

Tabela 1. Wybrane adresy stron WWW umożliwiających dostęp do nowoczesnej aparatury pomiarowej.

Logo	Adres internetowy i opis
	wwl.itg.uiuc.edu/MRI spektrometr NMR umożliwiający obrazowanie obiektów biologicznych
	wwl.itg.uiuc.edu/TEM laboratorium wyposażone w mikroskop elektronowy
Neutron Scattering at the High Flux Isotope Reactor	**neutrons.ornl.gov** wykorzystanie rozpraszania neutronów w badaniach ciała stałego
 *Microscopy & Microanalysis WWW Server*	**www.amc.anl.gov** projekty z zastosowaniem mikroskopu elektronowego
Experiment at a Distance Remote Laboratory Education ALCOM	**olbers.kent.edu/alcomed/Remote/index.html** badanie własności elektrooptycznych ciekłych kryształów oraz inne doświadczenia
The Internet Spectrograph	**modsquad.phys.utk.edu/spectrograph** spektrograf umożliwiający uzyskanie widm różnych gazów
	chickscope.beckman.uiuc.edu projekt z wykorzystaniem spektrometru NMR
	bugscope.beckman.uiuc.edu projekt z zastosowaniem mikroskopu elektronowego
	www.EducatorsCorner.com wiele bardzo ciekawych doświadczeń z różnych dziedzin nauki
MaRBLe	**www.mal.uic.edu/marble** interaktywne laboratorium elektroniki

7) Kierownik danej grupy oraz jej członkowie przedstawiają na forum klasy uzyskane wyniki obserwacji doświadczeń i symulacji komputerowych oraz formułują wnioski. Jednocześnie prezentowane są odpowiedzi na pytania i problemy zawarte w instrukcji wykonania doświadczenia. Dodatkowo poszczególni członkowie grupy odpowiadają na pytania dotyczące drgań harmonicznych.

8) Ocena i podsumowanie:

Uczniowie oceniani są za wykonane doświadczenia oraz prezentację uzyskanych wyników. Dodatkowo oceniani są za udział w dyskusji związanej z tematem lekcji oraz odpowiedzi na zadane im pytania. Otrzymane wyniki oraz jakość prezentacji zostają podsumowane i omówione przez prowadzącego zajęcia.

5. Wirtualna szkoła

Zajęcia odbywające się równolegle w szkołach posiadających dostęp do Internetu stwarzają możliwość wymiany informacji między uczniami oraz prowadzenia dyskusji np. nad wynikami wykonanego doświadczenia. W ten sposób zostaje utworzona wirtualna szkoła, gdzie klasy współpracują nad bieżącymi tematami zajęć dzięki technologii teleinformatycznej.

Uwzględnienie zajęć wspomaganych Internetem w planie szkoły oraz poszczególnych klas ułatwia organizację dalszych przedsięwzięć związanych z wykorzystaniem sieci. Nawiązanie kontaktu między szkołami, uzgodnienie i opracowanie wspólnego projektu/programu pozwala na lepszą koordynację działań związanych z wprowadzeniem Internetu na zajęcia. W tym przypadku Internet można wykorzystać do:

— prowadzenia dyskusji na temat aktualnie omawianych zagadnień fizycznych z wykorzystaniem e-mail, list i grup dyskusyjnych,

— organizowania wideokonferencji umożliwiających kontakt wizualny i głosowy między uczestniczącymi w przedsięwzięciu uczniami i nauczycielami (łącze ISDN – Integrated Services Digital Network, oprogramowanie MS NetMeeting lub CU-SeeMe),

— pracy nad wspólnym projektem.

Uzyskane wyniki oraz zebrane materiały w trakcie realizacji projektu mogą być opracowane w postaci strony WWW, która stanowić będzie dobre źródło informacji dla innych szkół, chcących w przyszłości realizować podobne przedsięwzięcia.

Wiele zajęć może być prowadzonych interdyscyplinarnie przy udziale nauczycieli różnych przedmiotów, co w dużym stopniu usprawnia realizację projektów oraz aktywizuje całe środowisko do współpracy (np. anglista – tłumaczenie stron WWW, informatyk – przygotowanie sieci i oprogramowania, fizyk – demonstracje doświadczeń, modele zjawisk fizycznych).

6. Wnioski

Dokładnie zaplanowanie i dobre zorganizowanie zajęć z wykorzystaniem Internetu ułatwia w znacznym stopniu osiągnięcie celu dydaktycznego oraz pozwala uniknąć kłopotów technicznych na lekcji. Uczniowie oraz nauczyciele powinni być wcześniej wprowadzeni w metodykę korzystania z usług internetowych. Niezbędnym warunkiem powodzenia przedsięwzięcia jest prawidłowe i sprawne działanie sieci, łatwość dostępu do stron WWW, działanie poczty elektronicznej oraz łącza ISDN między szkołami w przypadku wykorzystania wideokonferencji.

Na zakończenie należy wymienić korzyści płynące dla uczniów z wykorzystania Internetu na zajęciach w szkole:

— umożliwia bezpośredni kontakt z uczonymi, specjalistami danego działu fizyki.

— zapoznaje z nowoczesną technologią teleinformatyczną,

— uczy sprawnego wyszukiwania informacji na temat związany z omawianym zagadnieniem,

— uczy współpracy i pracy w grupach w celu szybszego rozwiązania problemu,

— zajęcia są bardziej atrakcyjne i aktywizują do samodzielnego zdobywania i weryfikowania informacji.

Internet rozwiązuje również szereg problemów, z którymi borykają się nauczyciele fizyki, np. brak odpowiednich przyrządów, materiałów poglądowych, opisów doświadczeń, oprogramowania itp. Jak każda nowa technologia stosowana w nauczaniu, wymaga w początkowej fazie zwiększonego wysiłku dla opracowania materiałów dydaktycznych oraz metodyki prowadzenia lekcji. Wykorzystując Internet na zajęciach uzyskujemy doskonałe narzędzie wzbogacające proces dydaktyczny. Jednak najważniejsze, aby Internet sam w sobie nie przesłonił celu związanego z nauczaniem fizyki.

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2000 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. Dostawa egzemplarzy następuje w uzgodniony sposób.

2. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej. Wpłaty przyjmuje „RUCH" S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy na konto w PBK SA XIII O/Warszawa nr 11101053-16551-2700-1-67 lub w kasach Oddziału. Dostawa odbywa się pocztą zwykłą, z wyjątkiem zlecenia dostawy pocztą lotniczą, której koszt w pełni pokrywa zamawiający.

3. Terminy przyjmowania wpłat od osób zamieszkałych w kraju: do 5 grudnia – na I półrocze roku następnego, do 5 czerwca – na II półrocze roku bieżącego (prenumerata krajowa) oraz do 20 listopada – na I półrocze roku następnego, do 20 maja – na II półrocze roku bieżącego (prenumerata zagraniczna).

4. Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru w danym roku kalendarzowym.

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.

PL ISSN 0032-5430

SPIS TREŚCI

PROGRAM ZJAZDU 3
IMPREZY POPULARNONAUKOWE TOWARZYSZĄCE ZJAZDOWI 5
OD REDAKCJI 7
SŁOWO WSTĘPNE 8

Wykłady plenarne

J. Królikowski – Akceleratory i kosmos w badaniach oddziaływań fundamentalnych 10
B. Lesyng – Fizyka i komputery u progu XXI wieku 12
L.H. Wöste – Zastosowania femtosekundowej spektroskopii laserowej: od klastrów do chmur 18
A. Dziewoński – Rewolucja w naukach o Ziemi 23
C. Radzewicz – Femtosekundowe impulsy światła w badaniach przyrody 30
J.I. Friedman – Nowe horyzonty fizyki cząstek 39
A.K. Wróblewski – Fizyka w Polsce wczoraj, dziś i jutro 44
A.D. Erlykin, A.W. Wolfendale – Pochodzenie promieni kosmicznych 55

Sesja satelitarna: Fizyka stosowana

A. Oleś – Uwagi na temat fizyki stosowanej 63
W. Dobrogowski, J. Świekło – Współczesne sterowanie eksperymentem fizycznym na podstawie wykorzystania programu LabView 64

Sesja satelitarna: Promieniotwórcze skażenie środowiska i energetyka jądrowa

S. Taczanowski – Przyszłościowe koncepcje energetyki jądrowej 68
Z. Pietrzak-Flis – Skażenia promieniotwórcze środowiska i człowieka w Polsce 70
Z. Mnich, F. Rogowski, M. Zalewski – Ocena medycznych skutków skażeń promieniotwórczych 72
A. Hrynkiewicz – Czy Polska potrzebuje energetyki jądrowej? (wprowadzenie do dyskusji okrągłego stołu) 74

Sesja satelitarna: Fizyka związana z Ziemią

A. Guterch – Fizyka związana z Ziemią 77

Sesja satelitarna: Nauczanie fizyki

J. Warczewski – O niektórych głównych nurtach dydaktyki fizyki w Polsce 80

Sesja satelitarna: Fizyka i medycyna

A.M. Kostrzewska – Podsumowanie sesji „Fizyka i medycyna" 83

Sesja satelitarna: Fizyka matematyczna

A. Strasburger – Kilka uwag na marginesie sesji poświęconej fizyce matematycznej 84
P. Klimczewski, A. Sym – Co starego w solitonach? 85
M. Błaszak – Teoria separowalności układów bihamiltonowskich 87
J.L. Cieśliński – Transformacja Darboux–Bäcklunda i algebry Clifforda 89
P. Podleś – Kwantowe przestrzenie Minkowskiego 91

Imprezy popularnonaukowe

M. Piętka – Popularyzacja nauki podczas XXXV Zjazdu Fizyków Polskich 93
G. Karwasz – Fizyka i zabawki – obrazki z wystawy 97
J. Turło – Czy radon w naszych domach stanowi zagrożenie? 99
S.A. Różański – World Wide Web na lekcjach fizyki 104