

# POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



## WYKŁADY ZJAZDOWE





# Światowy Rok Fizyki

Zgromadzenie Ogólne ONZ ogłosiło rok 2005 Międzynarodowym Rokiem Fizyki. W rezolucji przyjętej 10 czerwca br., uznając zasadniczą rolę fizyki w wyjaśnianiu zjawisk przyrody oraz znaczenie fizyki dla gospodarczego i kulturalnego rozwoju społeczeństw, Zgromadzenie Ogólne ONZ poparło organizowanie obchodów Międzynarodowego Roku Fizyki i zachęciło wszelkie ośrodki nauki i kultury do jak najszerzej współpracy z Towarzystwami Fizycznymi w organizacji tych obchodów.

Udział w obchodach Międzynarodowego Roku Fizyki zgłosiły już 63 kraje z całego świata. Celem nadrzędnym, jaki stawiają sobie organizatorzy, jest całoroczna promocja fizyki, ukazanie istotnej roli, jaką odgrywa ona w życiu społeczeństw. W Polsce obchody Światowego Roku Fizyki w imieniu Polskiego Towarzystwa Fizycznego nadzoruje Krajowy Komitet Organizacyjny, którego przewodniczącą jest autorka tego komunikatu. Honorowy patronat nad obchodami ŚRF w Polsce objął Prezydent RP Aleksander Kwaśniewski. Patronat medialny sprawuje Program 1 TVP.

Uroczyste rozpoczęcie obchodów w Polsce nastąpi o północy z 31 grudnia 2004 na 1 stycznia 2005 r. na Balu u Fizyków na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. PTF planuje wiele imprez na terenie całego kraju oraz uczestnictwo w różnych imprezach międzynarodowych.

Największa część programu ŚRF2005 skierowana będzie do szerokiej publiczności, a szczególnie do ludzi młodych – młodzieży szkolnej i studentów – zainteresowanych problematyką nauk ścisłych oraz ich roli cywilizacyjnej i gospodarczej. Planuje się wiele imprez centralnych, które będą się odbywać na terenie całego kraju, m.in.:

- konkurs fizyczno-fotograficzny „Fotografujemy zjawiska fizyczne”,
- konkurs na przygotowanie najlepszej prezentacji multimedialnej popularyzującej zjawisko fizyczne,
- konkurs na przygotowanie strony internetowej „Jak to działa?”,
- wykonanie ogólnopolskiego doświadczenia fizycznego przez uczniów szkół średnich, przy współpracy z TVP1.

Zostanie nagranych kilka programów telewizyjnych o roli i przyszłości poszczególnych działów fizyki: fizyka w medycynie, fizyka w środkach przekazu informacji, przyszłość energetyki, fizyka w ochronie środowiska i fizyka atmosfery, fizyka pojazdów dziś i jutro.

Wielu nauczycieli z całej Polski przygotowuje własne projekty zgłoszone do Komitetu Organizacyjnego ŚRF2005, mające na celu organizację lokalnych konkursów, turniejów wiedzy, pokazów doświadczeń oraz spotkań młodzieży z fizykami z dużych ośrodków naukowych.

W dniach 11–16 września 2005 r. odbędzie się w Warszawie XXXVIII Zjazd Fizyków Polskich, a w drugiej połowie września – IX Festiwal Nauki. Planowana jest także organizacja międzynarodowych konferencji naukowych, m.in. konferencji „Foton 2005”, która odbędzie się w Warszawie na przełomie sierpnia i września 2005 r. Pierwszego dnia tej konferencji wykład popularny wygłosi profesor Roger Penrose. Przy okazji konferencji na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego przewidywane jest zorganizowanie wystawy poświęconej Marii Skłodowskiej-Curie i Albertowi Einsteinowi.

Polska będzie także uczestniczyć w imprezach międzynarodowych, m.in. w programie „Fizyka oświetla świat”. Więcej szczegółów można znaleźć na stronie [fizyka2005.fuw.edu.pl/index2.php](http://fizyka2005.fuw.edu.pl/index2.php).

*Marta Kicińska-Habior*

RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący), Mieczysław Budzyński, Andrzej Dobek, Witold Dobrowolski, Zofia Gołąb-Meyer, Adam Kiejna, Józef Szudy

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

KOMITET REDAKCYJNY

Jerzy Gronkowski (redaktor naczelny), Mirosław Łukaszewski, Magdalena Staszal, Marek Więckowski, Barbara Wojtowicz

Adres Redakcji:

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, e-mail: postepy@fuw.edu.pl, Internet: www.fuw.edu.pl/~postepy

KORRESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Maciej Piętka (Białystok), Marian Głowacki (Częstochowa), Stanisław Zachara (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Krystian Roleder (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Małgorzata Nowina Konopka (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Marcin Ostrowski (Łódź), Ewa Pawelec (Opole), Lidia Skibińska (Poznań), Małgorzata Klisowska (Rzeszów), Małgorzata Kuzio (Słupsk), Janusz Typek (Szczecin), Józefina Turlo (Toruń), Aleksandra Miłoś (Warszawa), Bernard Jancewicz (Wrocław), Justyna Jankiewicz (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Maciej Kolwas (prezes), Katarzyna Chałasińska-Macukow i Reinhard Kulesa (wiceprezesi), Helena Białkowska (sekretarz generalny), Marek Kowalski (skarbnik), Bernard Jancewicz, Franciszek Krok, Maria Mucha, Andrzej Ptok, Barbara Sagnowska i Mirosław Trociuk (członkowie)

Adres Zarządu:

ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, tel./fax: (22) 6212668, e-mail: ptf@fuw.edu.pl, Internet: ptf.fuw.edu.pl

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW PTF

Andrzej Maziewski (Białystok), Stefan Kruszewski (Bydgoszcz), Danuta Płusa (Częstochowa), Eugeniusz Czuchaj (Gdańsk), Andrzej Klimasek (Gliwice), Karol Kołodziej (Katowice), Janusz Braziewicz (Kielce), Reinhard Kulesa (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogusław Broda (Łódź), Ryszard Pietrzak (Opole), Andrzej Dobek (Poznań), Aleksander B. Szymański (Rzeszów), Grzegorz Karwasz (Słupsk), Adam Bechler (Szczecin), Andrzej Bielski (Toruń), Jerzy Garbarczyk (Warszawa), Adam Kiejna (Wrocław), Andrzej Więckowski (Zielona Góra)

REDAKTORZY NACZELNI INNYCH CZASOPISM

WYDAWANYCH POD EGIDĄ PTF

Jerzy Prochorow – *Acta Physica Polonica A*, Andrzej Staruszkiewicz – *Acta Physica Polonica B*, Andrzej Jamiołkowski – *Reports on Mathematical Physics*, Marek Kordos – *Delta*, Zofia Gołąb-Meyer – *Foton*, Adam Smólski – *Fizyka w Szkole*

Czasopismo 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

Opracowanie okładki: Amm Studio, tel.: (22) 6689990, e-mail: amm@amm.com.pl, Internet: www.amm.com.pl

Druk i oprawa: „UNI-DRUK”, Warszawa, ul. Buńczuk 7b

ISSN 0032-5430

SPIS TREŚCI

S. Zachara – XXXVII Zjazd Fizyków Polskich	98
A. Białas – Natura boi się próżni	101
S. Pokorski – Pola, cząstki, czasoprzestrzeń: od Faradaya do LHC	104
B. Kamys – Czas życia ciężkich hiperjader: niemezonyowy rozpad hiperonu $\Lambda$	109
Z. Wilamowski – Spintronika	115
LISTY DO REDAKCJI	119
B. Broda – Fizyka i topologia	120
K. Cieślak, T. Dohnalik – Obrazowanie MR przy użyciu spolaryzowanego $^3\text{He}$ – jak chcemy badać sznurze płuca w Krakowie	123
WSPOMNIENIA: Andrzej Zieliński (1938–2003)	128
Jan Kwieciński (1938–2003)	129
ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI	130
RECENZJE	131
NOWI PROFESOROWIE	136
KRONIKA	140

*Drodzy Czytelnicy,*

*Przedstawiamy dziś Wam zeszyt zjazdowy w nieco innej niż ostatnio postaci – tym razem nie będzie ani zeszytu, ani tomu dodatkowego, natomiast w obecnym i kolejnym zeszycie znajdziecie wybrane wykłady zjazdowe, plenarne i sekcyjne. Mamy nadzieję, że tym z Państwa, którzy byli na zjeździe w Gdańsku, przypomną one mile tam spędzone chwile, a tym, którzy na zjeździe nie byli, dadzą choć częściowy obraz tematyki obrad zjazdowych.*

*Zeszyt zawiera również stałe działy Postępów – wspomnienia, relację z konferencji, recenzje, notki o nowych profesorach, wreszcie kronikę, więc liczymy na to, że każdy z Państwa znajdzie w nim dla siebie coś ciekawego. Ponadto polecamy rozmowę z dr. Janem Łażewskim (laureatem Nagrody im. Henryka Niewodniczańskiego), który wierzy w przewagę być nad mieć, przeprowadzoną przez niestrudzoną Małgorzatę Nowinę Konopkę, naszego nowego korespondenta z Krakowa.*

*Z przyjemnością donoszę też Państwu, że od niedawna mamy nowego kolegę redakcyjnego – Marka Więckowskiego, doktoranta z Instytutu Fizyki Teoretycznej UW. Witamy w zespole!*

*Mirek Łukaszewski*

*Na okładce:*

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego prof. Eugeniusz Czuchaj otwiera XXXVII Zjazd Fizyków Polskich



# XXXVII Zjazd Fizyków Polskich

## GDAŃSK, 15–18 WRZEŚNIA 2003

W dniach 15–18 września 2003 r. odbył się w Gdańsku XXXVII Zjazd Fizyków Polskich zorganizowany przez Zarząd Główny i Oddział Gdański Polskiego Towarzystwa Fizycznego przy współudziale Uniwersytetu Gdańskiego i Politechniki Gdańskiej.

Wzięło w nim udział 430 osób z różnych ośrodków naukowych (w tym wielu nauczycieli, uczniów i studentów oraz goście zagraniczni). Większość uczestników stanowili członkowie PTF.

Biuro Zjazdu, sale wykładowe i wystawowe, stołówka i miejsca noclegowe znajdowały się w kampusie UG w pobliżu hali sportowej „Olivia”. W ciągu trzech pierwszych dni obrady odbywały się głównie w nowo wybudowanym budynku Wydziału Prawa UG, a czwartego dnia – w gmachu głównym PG. Zjazd zorganizowano według tradycyjnego porządku. W godzinach przedpołudniowych odbywały się sesje plenarne (średnio 6 wykładów dziennie z różnych dziedzin fizyki), w godzinach popołudniowych zaś – równoległe sesje plenarne i plakatowe.

Podczas ceremonii otwarcia prof. Eugeniusz Czuchaj, przewodniczący Komitetu Organizacyjnego, przywitał uczestników i przybyłych gości. Wymienił nielicznych sponsorów, nadmieniając, że polskie ministerstwo edukacji („jak by się teraz nie nazywało”) pomimo starań o dotację nie wsparło finansowo Zjazdu. Nadmienił również, że w Zjeździe bierze udział wielu fizyków zagranicznych, głównie z krajów ościennych, z przedstawicielami odpowiednich towarzystw fizycznych na czele. Na zakończenie życzył wszystkim, aby naczelny cel Zjazdu – integracja fizyków polskich – został w pełni osiągnięty. Po przemówieniach prof. A. Ceynowy, rektora UG, pani A. Fotygi, wiceprezydent Gdańska, i pana J. Kozłowskiego, marszałka Sejmiku Wojewódzkiego, głos zabrał prezes PTF, prof. Maciej Kolwas, który wręczył nagrody i medale PTF-u za rok 2003. Medale Mariana Smoluchowskiego za rok 2003/2004 otrzymali Andrzej Biały (UJ) i Stefan Pokorski (UW) (informacja o nagrodach PTF 2003 – patrz *PF* 54(5), 186 (2003); szczegółowa informacja o laureatach Medalu Smoluchowskiego 2003/2004 – patrz *PF* 55(1), 2 (2004)). Honorowy dyplom PTF otrzymał sekretarz Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego (DPG) dr W. Haselbarth za budowę przyjaznych stosunków pomiędzy PTF i DPG. Wręczono również dyplom dla A. i J. Stasiewiczów (ojca i syna) z Bia-

łogostoku, laureatów konkursu „Komputerowe wspieranie eksperymentu”.

Bardzo interesujący wykład inauguracyjny „Ciemna materia we Wszechświecie – największy nierozwiązany problem w fizyce” wygłosił dr Stanisław Bajtlik z Centrum Astronomicznego PAN im. Mikołaja Kopernika w Warszawie. W dniu otwarcia Zjazdu wygłosili też wykłady laureaci Nagrody Mariana Smoluchowskiego–Emila Warburga oraz Medalu Smoluchowskiego: F. Haake – „Decoherence or why the macroworld behaves classically”, S. Pokorski – „Pola, cząstki, czasoprzestrzeń: od Faradaya do LHC”, A. Biały – „Natura boi się próżni”.

Do uczestników Zjazdu przemówił prof. Romuald Brazis z Litwy, który przedstawił działalność polskiego uniwersytetu w Wilnie (Universitas Studiorum Polona Vilnensis). Studiuje tam ponad 100 studentów pochodzenia polskiego z litewskim obywatelstwem, którzy najpierw przez 1–2 lata uczą się języka polskiego. Uniwersytet ten ukończyło ponad 500 osób, a ponad 22 tys. młodych Polaków z Litwy czeka na studia w języku ojczystym.

W kolejnych dniach Zjazdu wygłoszono następujące wykłady plenarne: E. Richter-Wąs (UJ) – „Poszukiwanie bozonów Higgsa i supersymetrii”, M. Pfützner (UW) – „Na granicach świata nuklidów”, S.L. Woronowicz (UW) – „Wpływ kwantów na matematykę”, J. Dera (IO PAN) – „Fotosynteza w oceanach i jej teledetekcja satelitarna”, A. Oleś (AGH) – „Współczesne trendy metod eksperymentalnych fizyki ciała stałego”, B. Kamys (UJ) – „Czas życia ciężkich hiperjader: niemezonowy rozpad hiperonu  $\Lambda$ ”, J. Lukierski (UWr) – „Od Modelu Standardowego do M-teorii”, R. Horodecki (UG) – „Fenomen informacji kwantowej w fizyce”, A. Ślawska-Waniewska (IF PAN) – „Nanostruktury biomagnetyczne w organizmie człowieka”, R. Naskręcki (UAM) – „Od fotochromizmu do komputera optycznego”, K. Sznajd-Weron (UWr) – „Fizyka poza fizyką”, W. Niedzicki (TVP) – „Oswoic fizykę”, M. Bugajski (ITE) – „Nanotechnologie fotoniczne”, F. Krok (PW) – „Przewodniki superjonowe w zastosowaniu do przetwarzania i magazynowania energii”, Z. Wilamowski (IF PAN) – „Spintronika”, J. Badur (IMP PAN) – „Fizyka spalania bezpromieniowego”, A. Januszajtis (PG) – „Gdańscy pionierzy nauki”.

W godzinach popołudniowych odbywały się obrady w sekcjach, sesje plakatowe oraz imprezy towarzyszące.



W sekcjach reprezentowane były różne dziedziny fizyki. Poniżej przedstawiono nazwy sekcji, nazwiska animatorów sekcji (w nawiasach) i spisy wykładów.

A. Fizyka jądrowa i cząstek elementarnych (R. Kulessa, UJ).

H. Białkowska (IPJ) – „Zderzenia jąder przy superwysokich energiach i gęstościach”, M. Jeżabek (IFJ) – „Masy neutrin jako przejaw zjawisk spoza Modelu Standardowego”, K. Bodek (UJ) – „Neutron swobodny: laboratorium do badania oddziaływań fundamentalnych”.

B. Fizyka w medycynie (A. Kostrzewska, AMwB). R. Krzymiński (UAM) – „Fizyka w diagnostyce i terapii medycznej”, S. Kruszewski (AMwB) – „Metody spektroskopii fluorescencyjnej w badaniach farmaceutycznych”, L. Dobrzyński (UwB) – „Fizyka jądrowa w medycynie”, B. Gonet (PAM) – „Jonowy rezonans cyklotronowy w magnetoterapii: nadzieje czy złudzenia?”.

C. Fizyka w ekonomii i socjologii (J. Hołyst, PW).

D. Stauffer (Univ. Köln) – „How to convince others: Monte Carlo simulations of Sznajd model”, M. Nowak (UJ) – „Zastosowania teorii macierzy przypadkowych do analiz finansowych”, J. Hołyst (PW) – „Sieci ewoluujące: od fizyki do Internetu”.

D. Dydaktyka fizyki (W. Nawroć, UAM).

R. Kutner (UW) – „Termodynamika statystyczna w doświadczeniach numerycznych”, W. Dobrogowski, A. Maziewski (UwB) – „Komputerowe wspomaganie nauczania fizyki”, G. Generowicz (Gimn. nr 1 w Kaliszu) – „Współpraca z ESA przy projekcie »The Education Kit« jako rezultat pobytu na festiwalu »Physics on Stage 2« w Noordwijk (Holandia)”, M. Masłowska (Gimn. w Koźminku) – „Jak festiwal »Physics on Stage 2« wzbogacił moje nauczanie fizyki w gimnazjum”, H. Budzińska – „Dni przedmiotów matematyczno-przyrodniczych w gimnazjum jako forma popularyzacji wiedzy”.

E. Fizyka atomowa, molekularna i optyka (FAMO) (M. Żukowski, UG).

K. Cieślak, T. Dohnalik (UJ) – „Zastosowanie spolaryzowanych optycznie gazów szlachetnych do obrazowania płuc”, D. Diczek (UMK) – „Przetrzywanie impulsów świetlnych w parach rubidu”, R. Drozdowski (UG) – „Spektroskopia koherentnie wzbudzonych stanów He populowanych w zderzeniach z jonami”, H. Janus (UO) – „Wykorzystanie wodorowej linii Balmera do diagnostyki wyładowań elektrycznych z barierą dielektryka”, M. Zubek (PG) – „Badanie zderzeń elektronów o niskich energiach”.

F. Fizyka fazy skondensowanej (M. Grinberg, UG).

J. Kalinowski (PG) – „Konwersja elektryczności na światło w materii organicznej: zasady i perspektywy aplikacyjne”, M. Kisielewski (UwB) – „Magnetyczne uporządkowanie w ultracienkich warstwach”, R. Micnas (UAM) – „Nowe rezultaty w nadprzewodnictwie wysokotemperaturowym”.

G. Fizyka w biologii molekularnej (D. Shugar, UW).

R. Stolarski (UW) – „Magnetyczny rezonans jądrowy od Sterna–Gerlacha do biologii molekularnej”, M. Bochtler (IIMCB) – „Protein crystallography”, M. Cieplak (IF

PAN) – „Zwijanie i rozciąganie białek: rola geometrii natywnej”, J. Antosiewicz (UW) – „Fizycy i metody hydrodynamiczne w biologii molekularnej”.

H. Fizyka matematyczna (R. Alicki, UG).

B. Broda (UŁ) – „Topologia i fizyka”, A. Nowicki (UŁ) – „Modyfikacje relatywistycznych symetrii: aktualny stan badań”, R. Olkiewicz (UŁ) – „Matematyczne modele dekoherencji”, R. Streater (King's College, London) – „Entropy is not produced in Euler hydrodynamics”.

P. Fizyka dla przemysłu (W. Sadowski, PG).

M. Trela (IMP PAN) – „Zjawiska fizyczne w dwufazowych strumieniach naddźwiękowych”, P. Doerffer (IMP PAN) – „Model przepływu przez ściany porowate: zastosowania transsoniczne”, A. Ćwikła, M. Mrozowski (PG) – „Dokładna pełnofalowa analiza numeryczna rezonatora konfokalnego”, T. Król (IO PAN) – „Fizyczne skutki zanieczyszczenia morza substancjami ropopochodnymi”.

K. Fizyka komputerowa (J. Rybicki, PG).

J. Tejchman (PG) – „Zastosowanie automatów komórkowych do opisu przepływów materiałów sypkich w silosach”, K.W. Wojciechowski (IFM PAN) – „Auksetyki: gdy mniej jest warte więcej”, J. Rybicki (PG) – „Symulacje dynamiczno-molekularne nanomechanicznych właściwości metali”, J. Pozorski (IMP PAN) – „Metoda cząstek rozmytych w mechanice płynów”, W. Niedzicki (TVP) – „Fizyka dla humanisty”.

Jak wynika z powyższego zestawienia, wiele prac dotyczyło dydaktyki fizyki. Wygląda na to, że zaczyna się ją wreszcie traktować jak dyscyplinę naukową. Z tą dziedziną były zresztą związane różne imprezy, wystawy i spotkania towarzyszące, cieszące się dużym zainteresowaniem nie tylko uczestników Zjazdu, ale również nauczycieli i uczniów województwa pomorskiego.

Przeprowadzono konkurs „Fizyka na scenie 3” i wyłoniono laureatów. Uczestnicy konkursu (było ich 26) przedstawili swoje wystąpienia w języku angielskim, gdyż pretendowali do udziału w festiwalu „Physics on Stage 3” w Noordwijk (Holandia). Konkurs odbył się w dwóch kategoriach: pokazy i przedstawienia. Pokazy przedstawili: 1) dr J. Jarosz i dr A. Szczygielska z Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach – „The egg: a symbol of life”, 2) mgr M. Masłowska i mgr M. Poniatowska z Gimnazjum w Koźminku – „Why don't herrings swim in a lake and what this has to do with the crunchy carrot?”. Przedstawienia: 1) mgr K. Raczowska-Tomczak i jej uczniowie z Gimnazjum w Opolu – „Lesson of physics for Icar”, 2) mgr D. Bartnik i jej uczniowie z Liceum w Cieszynie – „Defeat of Lydia Bee”, 3) mgr F. Gawkowska i jej uczniowie z Liceum w Zambrowie – „Trial of radioactivity”.

Przez cztery dni Zjazdu można było oglądać pokazy, zorganizowane głównie dzięki dużemu zaangażowaniu pracowników i studentów z Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku (PAPS): T. Wróblewski (PAPS) odpowiedzialny był za „Fizykę w zabawkach”, G. Karwasz (PAPS) prezentował „Drogę do fizyki współczesnej”, A. Okoniewska (PAPS) zorganizowała pokazy „205 lat ogniwa Volty”. W. Dobrogowski (Uniwersytet w Bia-

łymstoku) odpowiedzialny był za prezentację eksperymentów z fizyki wspomaganych komputerowo.

18-osobowa Grupa Twórcza „Quark”, kierowana przez mgr U. Woźnikowską-Bezak z Pałacu Młodzieży im. prof. A. Kamińskiego w Katowicach prezentowała pokazy z różnych dziedzin fizyki w ramach „Objazdowego Laboratorium Fizyki”.

Pokazano również filmy dydaktyczne, multimedia w nauczaniu i podręczniki fizyki. Powyższe pokazy, wystawy i filmy obejrzało ponad 3 tysiące uczniów, głównie z trójmiejskich szkół.

Podczas Zjazdu odbywały się różne zebrania:

Zebranie Delegatów PTF-u, na którym omawiano strategię działalności Towarzystwa i wybrano nowe władze (patrz *PF* 54(5), 186 (2003));

zebranie robocze przedstawicieli towarzystw fizycznych IPSEC (Informal Physical Societies Exchange Conference);

zebranie grupy FAMO (Komitet Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optyki PAN), na którym głównie relacjonowano wykorzystywanie aparatury Laboratorium FAMO, znajdującego się na terenie IF UMK w Toruniu.

Prof. Maziewski zorganizował nieformalne spotkanie, na którym dyskutowano wykorzystanie internetu w nauczaniu fizyki (Białystok, Toruń i Warszawa tworzą już tzw. laboratoria internetowe).

Zjazd obejmował również imprezy towarzyszące. W pierwszym dniu Zjazdu uczestnicy mogli wziąć udział

we mszy św. odprawionej dla nich przez ks. biskupa Z. Pawłowicza w Katedrze Oliwskiej z udziałem Chóru Katedralnego i wysłuchać koncertu organowego w wykonaniu prof. R. Peruckiego. Wcześniej osoby towarzyszące uczestnikom Zjazdu zwiedziły Gdynię i jej Akademię Morską. Drugiego dnia uczestnicy obejrzały spektakl Michaela Frayna „Kopenhaga” w sopockim Teatrze Kameralnym. Przedstawienie to wzbudziło duże zainteresowanie, ponieważ podejmuje ciągle aktualny problem odpowiedzialności naukowców za wyniki ich badań.

Zorganizowano zwiedzanie wystawy „Fusion EXPO” umiejscowionej w gdańskim forcie „Grodzisko”. Z uwagi na trudności organizacyjne niewiele czasu zostało natomiast na zwiedzanie gdańskiej Starówki.

Trzeciego dnia Zjazdu w Operze Leśnej odbyło się spotkanie towarzyskie – kolacja, w trakcie której wystąpił folklorystyczny Zespół Kaszubski z Chmielna, a J. Grzywacz opowiedział o Sopocie. Uczestnicy Zjazdu mogli również zwiedzić Centrum Informatyczne TASK (PG) oraz tunel transsoniczny i Regionalne Laboratorium Techniki Laserowej (IMP PAN).

Na zakończenie Zjazdu w Auditorium Novum PG prof. Reinhard Kulesa opowiedział o Światowym Roku Fizyki 2005.

*Stanisław Zachara*  
Sekretarz Komitetu Organizacyjnego  
Instytut Fizyki UG  
Gdańsk



Zdjęcie grupowe uczestników Zjazdu



# Natura boi się próżni\*

Andrzej Białas

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński*

---

## Nature abhors a vacuum

---

Szanowni Państwo, będę mówił o próżni, czyli po prostu o niczym. Może to brzmi nie całkiem poważnie, ale jest to tzw. najprawdziwsza prawda (czyli po prostu *p r a w d a*, wg klasyfikacji ks. prof. Tischnera): próżnia to przecież właśnie takie miejsce, gdzie nie ma nic – dokładnie nic! W tym sensie fizycy (a wcześniej filozofowie) od wieków rozprawiali o niczym i – jak dobrze wiemy choćby z codziennych obserwacji – nie byli i nie są w tym zajęciu osamotnieni. W przeciwieństwie jednak do deliberacji kawiarnianych (i nie tylko kawiarnianych) polityków, fizyczna dyskusja o niczym prowadzi do bardzo interesujących i ważnych wniosków, o czym postaram się Szanownych Państwa przekonać.

Zagadnienie istnienia lub nieistnienia próżni zostało postawione i przedyskutowane (jak większość ważnych kwestii, z którymi borykamy się do dziś) już w starożytności. Było ono konsekwencją sporu między zwolennikami atomistycznej i ciągłej budowy materii. Łatwo to zrozumieć. Jeżeli bowiem materia składa się z atomów, to pomiędzy nimi nie ma nic, czyli musi być próżnia. Jeżeli natomiast materia ma budowę ciągłą, to wypełnia ona całą przestrzeń, a więc próżnia nie istnieje.

Najbardziej kompletne podsumowanie tej dyskusji znajdujemy (jakżeby inaczej) u Arystotelesa. Był on zdecydowanym zwolennikiem ciągłej budowy materii i w związku z tym przedstawił kilka argumentów przeciwko istnieniu próżni. Większość z nich ma charakter rozważań filozoficznych, np. „czy nic może istnieć” lub „czy nic może mieć jakąś objętość”. Muszę uczciwie przyznać, że te rozważania były dla mnie za trudne i dlatego nie potrafię wiele na ten temat powiedzieć. Natomiast zupełnie zachwycił mnie jeden argument, odwołujący się bezpośrednio do rzeczywistości. Jest to argument o niemożności ruchu. Arystoteles zauważył mianowicie, że próżnia – jako miejsce, w którym nie ma nic – musi być idealnie symetryczna, czyli żaden punkt ani żaden kierunek nie może być w niej

w jakikolwiek sposób wyróżniony. Wynika stąd, że dowolne ciało będące w spoczynku, a otoczone próżnią, nie może się poruszyć: ruch bowiem musi się odbywać w jakimś kierunku, a to łamie zasadę idealnej symetrii. Warto może wspomnieć, że Arystoteles zauważył jeszcze inną konsekwencję symetrii: stwierdził mianowicie, że ciało w próżni raz wprowadzone w ruch nie mogłoby się nigdy zatrzymać. Powód jest prosty: ponieważ wszystkie punkty w próżni są równoważne, nie da się wybrać punktu, w którym zatrzymanie miałoby nastąpić. Konkluzja jest oczywista: ponieważ codzienne obserwacje pokazują, że 1) ciała się poruszają, 2) poruszające ciała zawsze w końcu się zatrzymują, próżnia nie istnieje.

Historia ta nasuwa zaraz obrazoburczy wniosek, że czasem lepiej zignorować wyniki eksperymentu (choć może lepiej nie robić z tego zasady postępowania)<sup>1</sup>. Ale trudno nie zgodzić się z podstawową myślą wielkiego filozofa: przestrzeń idealnie pusta musi być idealnie symetryczna. Dzisiaj możemy dodać: względem wszystkich parametrów, za pomocą których chcielibyśmy ją opisać.

Teza o nieistnieniu próżni została spopularyzowana w wiekach średnich. Wtedy również pojawiło się słynne sformułowanie, że „natura nie znosi próżni”. Nie wiadomo na pewno, kto pierwszy użył tego sformułowania, ale jest ono powszechnie akceptowane już w pismach uczonych scholastyków XIII w., którzy rozwinęli argumenty Arystotelesa i dodali nowe.

Powstanie nowoczesnej fizyki zdecydowanie odmieniło poglądy na ten temat. Torricelli, Galileusz, von Guericke, a przede wszystkim Newton śmiało posługiwali się pojęciem próżni. Tę historię oczywiście wszyscy bardzo dobrze znamy. Tak było aż do czasów najnowszych, jeżeli nie liczyć krótkiego epizodu na przełomie XIX i XX wieku, gdy powstała i szybko zgasła hipoteza eteru. W dodatku, wraz z utrwaleniem się w naszym stuleciu atomistycznego poglądu na struk-

---

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku (wrzesień 2003) z okazji otrzymania Medalu Mariana Smoluchowskiego. Pierwotna wersja wykładu została opublikowana w *Wiedzy i Życiu*, nr 12/1993, s. 28.

<sup>1</sup> Widać stąd również, jak trudne musiało być przyjęcie newtonowskiego prawa bezwładności, skoro myśl o nim ma tak długą historię.

ture materii, rola próżni jeszcze wzrosła: próżnia jest równie potrzebna atomistom współczesnym, jak była potrzebna Demokrytowi z Abdery 25 wieków temu. Prosty przykład: w wodzie materia zajmuje objętość ok. biliona milionów razy mniejszą niż objętość wody – reszta to próżnia! W rezultacie pojęcie próżni zostało zaakceptowane przez naukę oraz technikę i dzięki temu weszło do codziennego życia.

W tej sytuacji sformułowanie zawarte w tytule przestało mieć jakikolwiek sens fizyczny i zostało relegowane do słownika sloganów politycznych. Problem wydawał się więc definitywnie rozstrzygnięty i nie wart dalszego zainteresowania. Jednak przed kilkudziesięciami laty znowu powrócił i znowu jest tematem nie tylko poważnych debat, ale i niezwykle kosztownych badań eksperymentalnych. To właśnie chciałbym Państwu opisać.

Nikt oczywiście nie kwestionuje istnienia próżni „technicznej”, z którą mamy do czynienia w wielu urządzeniach. Próżnia techniczna to jednak niepełnie to samo, co „miejsce, w którym nic nie ma”: litr gazu pod ciśnieniem  $10^{-12}$  atmosfery zawiera ciągle ok. 25 bilionów cząsteczek.

Aby wyjaśnić, na czym polega problem, zacznijmy od tego, że w ciągu ostatniego półwiecza fizyka odniosła oszałamiające sukcesy w poszukiwaniu i identyfikacji elementów budowy świata materialnego. Bo proszę tylko pomyśleć: wiemy już w tej chwili, że wszystkie obiekty na Ziemi są zbudowane z zaledwie trzech rodzajów cząstek elementarnych. Są to – rzecz jasna – konstrukcje skomplikowane, ale musimy się chyba zgodzić, że zredukowanie nieskończonej różnorodności świata do kilku elementów jest nie byle jakim osiągnięciem. Ponadto, wszystkie znane nam w przyrodzie siły można zredukować do czterech sił (oddziaływań) elementarnych. I znowu, gdy pomyślimy o różnorodności sił występujących wokół nas – nie mówiąc już o zjawiskach występujących w laboratoriach i w kosmosie – musimy przyznać, że sprowadzenie ich do zaledwie czterech różnych oddziaływań między cząstkami elementarnymi zakrawa niemal na cud.

Ale na tym nie koniec; odkryto, że te siły elementarne wynikają z fundamentalnych zasad symetrii. To naprawdę niebywałe: równania opisujące nasz świat są konsekwencją prostych reguł symetrii. Ze względu na doniosłość tego odkrycia opiszemy je nieco dokładniej. Proszę nie wpadać w panikę: będę mówił prawdę i tylko prawdę, ale na szczęście nie całą<sup>2</sup>...

Istnieje kilka rodzajów cząstek elementarnych (oprócz tych z których składa się Ziemia, inne wystę-

pują w przestrzeni kosmicznej, a także zostały wytworzone w laboratoriach). Są one pogrupowane w pary i w trójki. Wewnątrz każdej pary i każdej trójki cząstki są zupełnie równoważne. Oznacza to, że w ramach jednego, jak mówimy, „multipletu” można swobodnie zamieniać cząstki między sobą. W konsekwencji, równania opisujące zachowanie się takich układów różnych, ale równoważnych cząstek muszą być symetryczne względem dowolnej zamiany równoważnych cząstek. Okazuje się, że taka reguła symetrii w połączeniu z podstawowymi zasadami mechaniki kwantowej ma dwie niesłychanie ważne konsekwencje:

1) cząstki podlegające tej symetrii muszą ze sobą oddziaływać – oddziaływanie jest konsekwencją symetrii;

2) równania opisujące oddziaływanie pomiędzy cząstkami są wyznaczone jednoznacznie (ich forma zależy jedynie od liczby wymienianych obiektów), czyli symetria narzuca kształt świata.

Trudno nie zgodzić się ze stwierdzeniem, że to nadzwyczajne odkrycie zasługuje na miano nowej fundamentalnej zasady przyrody. Pozostaje oczywiście kwestią dyskusji, czy odkryliśmy już wszystkie symetrie rządzące naszym światem (tj. czy odkryliśmy już wszystkie oddziaływania). Wiele wskazuje na to, że nie. Dużo wysiłku poświęca się obecnie na zbadanie tego ważnego zagadnienia.

To wielkie i fascynujące odkrycie „rządów symetrii” – nawiązujące jakby do starożytnych idei platońskich – ma jednak istotny mankament. Okazuje się, że taka idealna symetria implikuje równocześnie, że wszystkie cząstki muszą mieć masę równą zero, co jest w rażącej niezgodności z doświadczeniem. Krótko mówiąc, natura odrzuca tę idealną symetrię. Można stąd wyciągnąć wniosek, że cała konstrukcja jest fałszywa i że myśl o symetrii jako podstawie konstrukcji świata należy po prostu odrzucić. Ale konstrukcja ta jest tak piękna, a w dodatku nikt dotąd nie potrafił podać żadnej innej, że odrzucenie jej wydaje się gestem naprawdę rozpaczliwym<sup>3</sup>.

Aby tego uniknąć, należało teorię pozbawić symetrii, zachowując równocześnie symetrię jej równań. Innymi słowy, należało dostosować idealnie symetryczną teorię do rzeczywistości, która ewidentnie tej symetrii nie akceptuje. Wyjście z tego dylematu okazało się możliwe: uważamy obecnie, że symetria praw fizyki rządzących cząstkami elementarnymi jest zburzona przez samą przestrzeń, w której te prawa działają, czyli przez przestrzeń, w której zanurzony jest świat. Oczywiście oznacza to, że sama „pusta” przestrzeń, w której istniejemy, jest niesymetryczna. To

<sup>2</sup> Pierwsze ograniczenie: w tym wykładzie nie będę się zajmował siłami grawitacji. Przede wszystkim dlatego, że ich natura nie jest jeszcze do końca wyjaśniona.

<sup>3</sup> Warto może w tym miejscu przypomnieć znaną anegdotę o rozmowie Einsteina z Bohrem. Pewnego ranka Einstein mówi: – Niels, wczoraj wieczorem wpadłem na pomysł niezwykle pięknej teorii. Była tak piękna, że właściwie nie mogłem spać całą noc. Niestety, dziś rano wyliczyłem, że nie zgadza się ona z doświadczeniem. – Na to Bohr: – Drogi Albercie, jeżeli ta Twoja teoria nie zgadza się z doświadczeniem, to może ona nie była aż tak piękna...



proste stwierdzenie – matematycznie równoważne zjawiskom powszechnie znanym z teorii fazy skondensowanej – było jednak w tym przypadku bardzo trudne do zaakceptowania, bo przecież już od czasów Arystotelesa wiemy, że pusta przestrzeń musi być symetryczna względem wszystkich możliwych transformacji. Skąd więc może tam wziąć się asymetria? Odpowiedź może być tylko jedna: widocznie przestrzeń, w której żyjemy (i w której działają prawa fizyki), nie jest pusta, a więc „prawdziwa” próżnia nie istnieje. Wracamy do początków: natura faktycznie boi się próżni.

Jeszcze raz krótko podsumujemy ten dość (niestety) skomplikowany wywód. Współczesna fizyka mówi nam, że natura odrzuca idealną symetrię praw przyrody poprzez odrzucenie próżni. Dodać wypada, że hipoteza ta została potwierdzona w wielu niesłychanie precyzyjnych eksperymentach i w związku z tym jest powszechnie akceptowana.

Rzecz jasna, dla fizyka to nie koniec, lecz raczej początek problemu. Narzucają się bowiem dwa dalsze pytania: z jakiego powodu przestrzeń samorzutnie czymś się wypełnia? I czym się wypełnia?

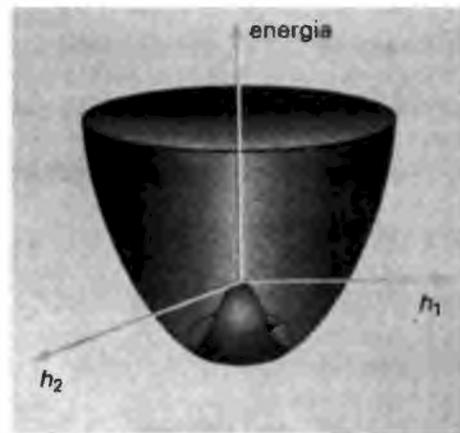
Wydaje nam się, że znamy odpowiedź na pierwsze pytanie. Wynika ona z ogólnych praw fizyki, które mówią, że każdy układ dąży do osiągnięcia stanu o najmniejszej energii. Widocznie więc dokładnie pusta przestrzeń („teoretyczna” próżnia) ma większą energię niż pozornie pusta przestrzeń („fizyczna” próżnia), w której istnieje świat. W rezultacie prawdziwa, symetryczna próżnia jest niestabilna i musi zamienić się w niesymetryczną próżnię pozorną, którą obserwujemy w naszych doświadczeniach.

Aby zilustrować, jak to jest możliwe, rozważmy hipotetyczny przykład dwu pól  $h_1$  oraz  $h_2$ , dla których wykres energii oddziaływania jest przedstawiony na rysunku. Jak widać, układ ten jest zupełnie symetryczny ze względu na obrót dookoła osi pionowej, czyli np. względem wzajemnej zamiany pól  $h_1$  oraz  $h_2$ . Widać również, że najmniejszą energię mamy nie w symetrycznym punkcie  $h_1 = h_2 = 0$  (czyli tam, gdzie nie ma pola), tylko w którymkolwiek z punktów na dnie. Wobec tego układ zajmie pozycję w jednym z tych punktów, gdzie oczywiście mamy różne od zera albo pole  $h_1$ , albo  $h_2$ , albo oba. Zauważmy jednak, że stan ten nie jest symetryczny: istotnie, pod wpływem obrotu dookoła osi pionowej zmienia się on w inny stan (oczywiście o tej samej, najmniejszej energii). Jest to właśnie szukany przez nas mechanizm łamania symetrii: otrzymaliśmy istotnie „próżnię” asymetryczną, ale nie jest ona pusta (bo oba pola  $h_1$  oraz  $h_2$  nie znikają), czyli nie jest próżnią w pełnym znaczeniu tego słowa.

Sądźmy obecnie, że opisany tu mechanizm jest faktycznie realizowany w przyrodzie. Jeżeli to prawda, to musi istnieć owo hipotetyczne pole  $h$  (zwane polem Higgsa, od nazwiska fizyka, który ten mechanizm zaproponował), wypełniające całą przestrzeń i łamiące jej symetrię. I właśnie poprzez oddziaływanie z po-

lem Higgsa cząstki uzyskują nieznikające masy, co likwiduje niezgodność teorii z doświadczeniem. Jeżeli jednak pole Higgsa faktycznie istnieje, to powinniśmy móc zaobserwować i zbadać własności jego kwantów, czyli cząstek Higgsa. I to jest właśnie głównym celem przygotowywanych obecnie eksperymentów w dziedzinie wysokich energii: po to buduje się w Genewie nowy, ogromny akcelerator.

Znaczenie tych badań dla zrozumienia świata będzie ogromne. Nie chodzi bowiem o odkrycie „jeszcze jednej cząstki”. Chodzi o odkrycie najbardziej fundamentalnej cząstki, decydującej o charakterze przestrzeni, w której zanurzony jest świat. Zauważmy ponadto, że poważne potraktowanie wykresu na rysunku oznacza, że przestrzeń idealnie pusta (opisana punktem  $h_1 = h_2 = 0$ ) zawiera ogromne ilości energii, które wyzwala ją w czasie jej zamiany na „próżnię” fizyczną. Być może tego typu energia była kiedyś główną „siłą napędową” rozwoju Wszechświata, a może nawet „powodem” jego powstania. Trudno się dziwić, że dokładne zbadanie procesu łamania symetrii jest oczekiwane z dużą niecierpliwością. Szczególnie chcielibyśmy wiedzieć, czy pole Higgsa jest polem elementarnym, czy raczej stanem związanym jakichś innych pól, których własności nie potrafimy dzisiaj nawet sformułować. Dalszy rozwój fizyki cząstek i kosmologii zależy w istotny sposób od odpowiedzi na to pytanie.



Podsumowując, powtórzmy jeszcze raz najważniejszy wniosek: współczesna fizyka mówi, że konstrukcja świata opiera się na sprzeczności między idealnie symetrycznymi prawami teorii a naturą, która tej symetrii nie akceptuje i łamie ją „spontanicznie”, wypełniając całą przestrzeń tajemniczym polem Higgsa.

Czy to już ostatnie słowo fizyki? Tego nie wiemy. Można jednak bronić poglądu, że cała ta konstrukcja jest nieco sztuczna i niepokojąco przypomina hipotezę eteru, po której nie zostało nawet śladu. To mało prawdopodobne, ale faktycznie – gdyby pola Higgsa nie znaleziono, obecna teoria świata musiałaby zostać poddana zasadniczej rewizji. A tytuł wykładu o próżni można będzie wówczas zacerpnąć z Szekspira.

# Pola, cząstki, czasoprzestrzeń: od Faradaya do LHC\*

Stefan Pokorski

*Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski*

---

Fields, particles, and spacetime: from Faraday to LHC

*Abstract:* A review of current research directions in the theory of elementary interactions is presented.

---

## Wstęp

W artykule tym chciałbym w wielkim skrócie przedstawić kierunki współczesnych badań nad oddziaływaniami elementarnymi na tle dotychczasowych wyników badań nad strukturą materii.

W tytule wykładu nieprzypadkowo pojawia się nazwisko Faradaya – genialnego eksperymentatora – oraz nazwa budowanego obecnie w Europejskim Laboratorium Cząstek Elementarnych (CERN) w Genewie nowego akceleratora, zwanego wielkim zderzaczem hadronów (LHC, Large Hadron Collider). Michael Faraday (1791–1867) odkrył zjawisko indukcji elektromagnetycznej oraz wprowadził do fizyki pojęcie pola jako obiektu fizycznego, istniejącego niezależnie od cząstek materii i zdolnego do przenoszenia oddziaływań między nimi. Wyniki Faradaya i jego koncepcja pola stały się punktem wyjścia dla teorii pola elektromagnetycznego stworzonej przez Jamesa Clerka Maxwella, mającej fundamentalne znaczenie dla dalszych badań nad oddziaływaniami elementarnymi. Obecna teoria oddziaływań elementarnych, zwana Modelem Standardowym, jest ogromnym sukcesem i ukoronowaniem badań doświadczalnych oraz teoretycznych prowadzonych od ponad stu lat. Mimo tego sukcesu wiele podstawowych pytań dotyczących struktury materii na bardzo małych odległościach pozostaje wciąż bez odpowiedzi. Mamy nadzieję, że doświadczenia wykonane przy użyciu LHC, w których analizowane będą zderzenia protonów przy energii 14 TeV (14 bilionów elektronowoltów, czyli ponad dwa mikrodżule) w układzie środka masy, doprowadzą do nowego przełomu w naszym rozumieniu oddziaływań elementarnych.

## Podstawowe koncepcje

U podstaw teorii Maxwella, jak to dziś doskonale rozumiemy, leżą trzy zasadnicze koncepcje fizyczne

o fundamentalnym znaczeniu dla fizyki wszystkich oddziaływań elementarnych.

1. Pole (sił) jako obiekt fizyczny – w teorii Maxwella jest nim oczywiście pole elektromagnetyczne. Na poziomie kwantowym pole jest obiektem kwantowym i kwanty pola, podobnie jak cząstki znane w fizyce klasycznej jako składniki materii, są także cząstkami elementarnymi. Dualizm korpuskularno-falowy leżący u podstaw kwantowej teorii pola jest obecnie najbardziej fundamentalnym obrazem fizycznym struktury materii.

2. Symetrie i związane z nimi zasady zachowania – teoria Maxwella to nie tylko pierwsza teoria relatywistycznie niezmiennicza, ale także teoria z symetrią cechowania związaną z zasadą zachowania ładunku elektrycznego. Symetrie cechowania odgrywają podstawową rolę we współczesnej teorii oddziaływań elementarnych.

3. Unifikacja oddziaływań – szukanie wspólnej teorii pozornie różnych zjawisk fizycznych, jak oddziaływań elektrycznych i magnetycznych w przypadku teorii Maxwella.

Według naszej obecnej wiedzy elementarnymi składnikami materii są kwarki (oddziałujące silnie, słabo i elektromagnetycznie) oraz leptony (oddziałujące słabo i elektromagnetycznie). Idea pola kwantowego, poszukiwanie nowych symetrii przyrody i dążenie do unifikacji oddziaływań były przewodnikiem w stworzeniu obecnej teorii oddziaływań elementarnych, znanej jako Model Standardowy. Model Standardowy opisuje z bardzo dużą dokładnością wszystkie badane doświadczalnie (a więc zachodzące przy energiach do 1 TeV) procesy elementarne.

Ładunki cząstek odpowiedzialne za oddziaływanie elektromagnetyczne nazywamy ładunkami elektrycznymi. Fakt, że cząstki elementarne oddziałują także silnie i słabo, oznacza, że mają one także inne ła-

---

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku (wrzesień 2003) z okazji otrzymania Medalu Mariana Smoluchowskiego.



dunki. Ładunki odpowiedzialne za oddziaływania silne nazwano kolorem.

Wiemy dziś, że każdy z sześciu kwarków, charakteryzujących się określoną masą i określonym ładunkiem elektrycznym (tab. 1), może mieć trzy różne ładunki silne. W przyrodzie np. istnieją trzy kwarki  $d = (d_r, d_b, d_g)$  z masą ok.  $6 \text{ MeV}/c^2$  i ładunkiem elektrycznym  $-(1/3)e$ . Podstawą kwantowej teorii oddziaływań silnych, zwanej chromodynamiką kwantową, jest symetria (niezmienniczość) względem obrotów w tej abstrakcyjnej trójwymiarowej przestrzeni stanów kwarkowych różniących się ładunkami silnymi. Oddziaływania silne są przenoszone przez wymianę gluonów ( $g$ ) – kwantów pola odpowiedzialnego za te oddziaływania, podobnie jak oddziaływania elektromagnetyczne przenoszone są przez wymianę fotonu ( $\gamma$ ) – kwantu pola elektromagnetycznego. Podstawą naszego rozumienia obu typów oddziaływań jest więc kwantowa teoria pola. Jest jednak między nimi zasadnicza różnica: w przeciwieństwie do fotonów, gluony oddziałują nie tylko z kwarkami, ale także między sobą. Właściwość ta ma zasadnicze znaczenie dla uwięzienia kwarków w hadronach oraz dla asymptotycznej swobody kwarków i leptonów, czyli „słabnięcia” oddziaływań silnych wraz ze wzrostem energii zderzenia.

Tabela 1. Cząstki elementarne

Nazwa	Masa [GeV/c <sup>2</sup> ]	Ładunek elektryczny [e]	Spin [ $\hbar$ ]
Kwarki (o trzech kolorach)			
u	0,003	2/3	1/2
d	0,006	-1/3	1/2
s	0,17	-1/3	1/2
c	1,4	2/3	1/2
b	4,4	-1/3	1/2
t	175	2/3	1/2
Leptony			
e	0,0005	-1	1/2
$\nu_e$	$\approx 0$	0	1/2
$\mu$	0,106	-1	1/2
$\nu_\mu$	$\approx 0$	0	1/2
$\tau$	1,78	-1	1/2
$\nu_\tau$	$\approx 0$	0	1/2
Bozony pośredniczące			
$\gamma$	0	0	1
$g$ (8 kolorów)	0	0	1
$W^\pm$	80,4	$\pm 1$	1
$Z^0$	91,2	0	1
Cząstka Higgsa (?)			
$H^0$	$\geq 100$	0	0

Fizyka oddziaływań słabych jest równie ciekawa. Podobnie jak dla oddziaływań silnych, u jej podstaw

leży niezmienniczość względem obrotów, tym razem w dwuwymiarowej przestrzeni stanów cząstek różniących się ładunkami słabymi – kwarki i leptony tworzą bowiem dublety

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix},$$

o identycznych ładunkach słabych. Oddziaływania słabe są przenoszone przez wymianę bozonów  $W^\pm$  oraz  $Z^0$  – kwantów pola odpowiedzialnego za te oddziaływania. Pojawiają się jednak dwa bardzo ważne nowe elementy: 1) kwanty tego pola mają niezerową masę  $M_{W,Z}$  rzędu  $100 \text{ GeV}/c^2$ ; 2) oddziaływania elektromagnetyczne i słabe są zunifikowane w ramach jednej teorii oddziaływań elektroslabych. Oznacza to, że zjawiska elektromagnetyczne i słabe są przejawem tej samej fundamentalnej fizyki, która wygląda różnie jedynie przy energiach  $E \ll M_{W,Z}c^2$ , natomiast przy energiach  $E \gg M_{W,Z}c^2$  procesy elektromagnetyczne i słabe mają podobne właściwości, w szczególności porównywalne przekroje czynne. Przekonać się o tym można, porównując np. przekroje czynne na zderzenia  $e p$  oraz  $\nu p$  dla różnych energii zderzenia. Z punktu widzenia teorii zunifikowanej mogłoby się wydawać, że niezerowe masy bozonów  $W$  oraz  $Z$  są w sprzeczności z zerową masą fotonu. Okazuje się jednak, że jest to konsekwencją jeszcze jednej podstawowej właściwości oddziaływań elektroslabych, zwanej spontanicznym naruszeniem symetrii. Mechanizm spontanicznego naruszenia symetrii wymaga istnienia cząstki o spinie 0, zwanej cząstką Higgsa, która pozostaje jedynym wciąż niepotwierdzonym doświadczalnie elementem Modelu Standardowego. Warto zauważyć, że cząstka Higgsa byłaby jedyną cząstką elementarną o spinie 0, co ma głębokie konsekwencje teoretyczne. Spontaniczne naruszenie symetrii jest właściwością stanu podstawowego (próżni) – próżnia jest najprawdopodobniej nieskończonym rezerwuarem cząstek o zerowym spinie, obojętnych elektrycznie, ale naładowanych słabo, których oddziaływanie z bozonami  $W^\pm$  i  $Z^0$  nadaje im niezerowe masy efektywne.

### Pytania wciąż bez odpowiedzi

Czym więc zajmuje się współczesna fizyka oddziaływań elementarnych? Mimo sukcesu Modelu Standardowego wciąż bez odpowiedzi pozostaje wiele pytań:

1) wyjaśnienie wartości skali masy bozonów  $W$  i  $Z$  (czyli skali masowej różnicującej oddziaływania słabe i elektromagnetyczne) za pomocą bardziej podstawowych parametrów – w Modelu Standardowym pochodzenie masy jest wyjaśnione przez mechanizm spontanicznego naruszenia symetrii, ale sama skala masy jest wolnym parametrem teorii wyznaczanym doświadczalnie;

2) struktura mas kwarków i leptonów oraz istnienie trzech rodzin fermionów różniących się tylko masą, a identycznych z punktu widzenia znanych oddziaływań;

3) istnienie dalszej unifikacji oddziaływań elementarnych – wielkiej unifikacji oddziaływań silnych i elektroślabych, a także unifikacji wszystkich oddziaływań elementarnych łącznie z grawitacją;

4) ogromny postęp doświadczalny w pomiarach wielkości istotnych dla modeli kosmologicznych i dla astrofizyki stawia przed nami takie podstawowe pytania, jak pochodzenie ciemnej materii i ciemnej energii (niezerowej stałej kosmologicznej), wyjaśnienie znikomej ilości antymaterii we Wszechświecie (problem bariogenezy), mechanizm istnienia epoki wykładniczej ekspansji Wszechświata (epoki inflacyjnej); pytania te stanowią bardzo istotne wyzwanie dla teorii oddziaływań elementarnych.

Spodziewamy się więc istnienia głębszej teorii, która udzieli nam odpowiedzi na te pytania. Ale skoro tych pytań jest wciąż tyle, to dlaczego Model Standardowy jest aż tak zgodny z doświadczeniem? Można to zrozumieć przez analogię ze związkami między elektrodynamiką i teorią elektroślabą. Elektrodynamika kwantowa opisuje z ogromną dokładnością wszelkie procesy z udziałem leptonów i fotonów zachodzące przy energiach  $E \ll M_{W,Z}c^2$ . Z drugiej strony wiemy obecnie, że jest ona tylko fragmentem teorii elektrośłabej i np. do rozpraszania  $ee \rightarrow ee$  oprócz wymiany fotonów daje wkład wymiana bozonu  $Z$ . Podstawową właściwością świata kwantowego jest to, że wymiana kwantów pola o bardzo dużej masie  $M$  ma wpływ na procesy zachodzące przy energiach znacznie mniejszych:  $E \ll Mc^2$ . To wzajemne powiązanie fizyki kwantowej przy różnych skalach energii upraszcza się jednak w sposób zasadniczy, gdy procesy zachodzące w pewnym obszarze energii dają się opisać w ramach renormalizowalnej kwantowej teorii pola. Fizyka przy skali  $M$  daje wtedy do procesów zachodzących przy energii  $E \ll Mc^2$  jedynie poprawki rzędu  $E/(Mc^2)$ . Choć pełną teorią jest teoria elektrośłaba, elektrodynamika kwantowa jest dającą się z niej wyprowadzić renormalizowalną teorią efektywną. Jest ona poprawną (doświadczalnie) teorią procesów elektromagnetycznych dla energii dużo mniejszych od charakterystycznej dla pełnej teorii elektrośłabej skali masy  $M_{W,Z}$ , z dokładnością do poprawek rzędu  $E/(M_{W,Z}c^2)$ .

Interesującą ilustracją tych rozważań jest moment magnetyczny mionu. Od wielu lat jego pomiary były jednym z najważniejszych sprawdzianów precyzyjnych przewidywań elektrodynamiki kwantowej. Najnowsze doświadczenia wykonane w Brookhaven National Laboratory (USA) pozwoliły osiągnąć dokładność pomiaru momentu magnetycznego tak dużą, że rachunki teoretyczne wykonane w ramach elektrodynamiki kwantowej przestały się zgadzać z wynikami doświadczalnymi. Dopiero przewidywania teoretyczne oparte na pełnej teorii elektrośłabej, a więc uwzględ-

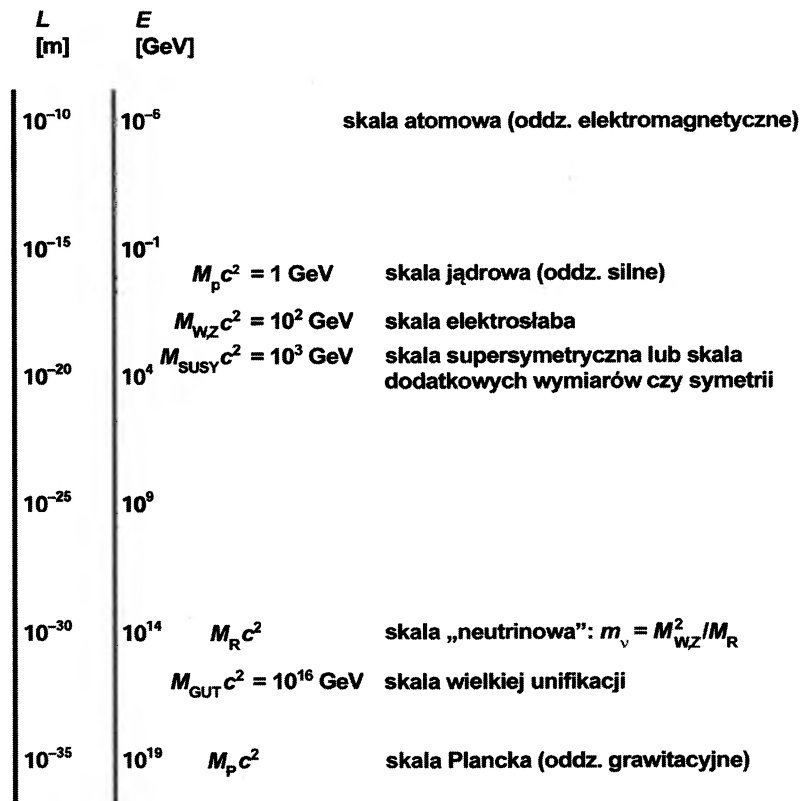
niające efekty słabe (wymiany  $W$  i  $Z$ ) w procesach elektromagnetycznych są zgodne z tymi pomiarami. Sądzymy, że sytuacja z Modelem Standardowym jest podobna. Model Standardowy jest teorią renormalizowalną i najprawdopodobniej jest teorią efektywną, będącą doskonałym przybliżeniem głębszej teorii, dla zjawisk zachodzących przy skali masy  $M_{W,Z}$ . Poprawki do tej teorii renormalizowalnej są rzędu  $M_{W,Z}/\Lambda$ , gdzie  $\Lambda$  jest skalą masy charakterystyczną dla nowej fizyki. Zgodność Modelu Standardowego z doświadczeniem świadczy jedynie o tym, że nowe skale  $\Lambda$  są wystarczająco duże, by te poprawki można było pominąć przy obecnej dokładności doświadczalnej. Precyzyjne pomiary wykonane przy użyciu akceleratora LEP (poprzednika LHC) dają ograniczenie  $\Lambda \geq 1 \text{ TeV}/c^2$ , a więc jest możliwe (a nawet wielce prawdopodobne, jak będzie o tym mowa w następnym rozdziale) istnienie nowej skali fizycznej w obszarze energii LHC.

Reasumując: spodziewamy się, że Model Standardowy jest renormalizowalnym niskoenergetycznym przybliżeniem głębszej teorii, podobnie jak elektrodynamika kwantowa jest jeszcze bardziej niskoenergetycznym przybliżeniem Modelu Standardowego.

## Poszukiwanie głębszej teorii

Sądzymy, że teoria głębsza od Modelu Standardowego udzieli nam odpowiedzi na postawione wcześniej pytania. Odpowiedzi te wymagają najprawdopodobniej istnienia nowych cząstek i nowych oddziaływań na odległościach mniejszych niż  $10^{-18} \text{ m}$ , z nowymi charakterystycznymi skalami masy, analogicznie do związków między elektrodynamiką kwantową i Modelem Standardowym. Spójrzmy więc na poszukiwanie głębszej teorii oddziaływań elementarnych z perspektywy poszukiwania nowych skal masowych w przyrodzie.

Na skali energii lub – równoważnie – odległości (rys. 1) warto umiejscowić znane doświadczalnie skale masy (odległości) charakterystyczne dla struktury materii i oddziaływań elementarnych. Wraz z poznawaniem struktury materii widać wyraźnie stopniowe przechodzenie do coraz wyższych charakterystycznych skal masy i ogromną hierarchię między skalą oddziaływań słabych a następną znaną z doświadczenia skalą masy – masą Plancka:  $M_P/M_{W,Z} \approx 10^{16}$ . Masa Plancka  $M_P = \sqrt{\hbar c/G}$  jest skalą masową wyznaczoną przez siłę oddziaływań grawitacyjnych, czyli przez stałą grawitacyjną  $G$ . Ta hierarchia skal jest nie tylko zaskakująca w świetle naszych dotychczasowych odkryć, ale przede wszystkim prowadzi do zasadniczych trudności teoretycznych przy próbach spójnego zanurzenia Modelu Standardowego w głębszej teorii, np. teorii wielkiej unifikacji (GUT, Grand Unification Theory). Problem hierarchii, ściśle związany ze wspomnianym wcześniej pytaniem o pochodzenie skali elektrośłabej, stymulował badania teoretyczne przez ostatnich kilkanaście lat. Jak się okazuje, istnienie kolejnych skal fizycz-



Rys. 1. Skale odległości i energii

nych nieco tylko wyższych od skali elektroslabej (czyli blisko obecnej granicy doświadczalnej na nową skalę fizyczną  $\Lambda \geq 10^3 \text{ GeV}/c^2$ ) jest znacznie bardziej naturalne i dlatego bardzo prawdopodobne. Zanim jednak przejdę do krótkiego omówienia tego głównego nurtu badań teoretycznych i spodziewanej roli LHC w wyborze poprawnej koncepcji, warto dodać jeszcze kilka uwag ogólnych.

Można się spodziewać co najmniej kilku nowych pośrednich skal fizycznych, potrzebnych z różnych powodów. Odkrycie nowych skal fizycznych  $\Lambda$  wymaga albo dokładności doświadczenia przy energii  $E$  tak dużej, by stały się widoczne nowe efekty rzędu  $E/(\Lambda c^2)$ , albo energii doświadczenia  $E$  rzędu  $\Lambda c^2$ , umożliwiającej bezpośrednią produkcję nowych obiektów fizycznych. Nowe skale energii, nawet bardzo odległe od energii dostępnej w eksperymentach, można więc doświadczalnie odkryć pod warunkiem, że dają jakościowo nowe efekty, np. naruszające obowiązujące w Modelu Standardowym prawo zachowania liczby leptonowej lub liczby barionowej. Jedną z tych skal została niedawno najprawdopodobniej odkryta – jest odpowiedzialna za masę neutrin:  $M_\nu \approx M_{W,Z}^2 / M_R$ . Gdyby zaobserwowano rozpad pro-

tonu, np.  $p \rightarrow \pi^0 e^+$ , oznaczałoby to odkrycie skali wielkiej unifikacji oddziaływań silnych i elektroslabych. Oczekiwania związane z LHC dotyczą bezpośredniego odkrycia cząstki Higgsa oraz nowych obiektów fizycznych związanych z charakterystyczną skalą  $\Lambda \approx (10^3\text{--}10^4) \text{ GeV}/c^2$ , która najprawdopodobniej istnieje w przyrodzie.

Jak już wspominałem, problem hierarchii jest ściśle związany z dążeniem do wyznaczenia skali elektroslabej  $M_{W,Z}$  z bardziej podstawowych założeń, a więc do pełniejszego zrozumienia mechanizmu naruszenia symetrii elektroslabej. Samo odkrycie cząstki Higgsa (lub doświadczalne udowodnienie, że jej nie ma poniżej  $1 \text{ TeV}/c^2$ ) będzie nie tylko uzupełnieniem brakującego elementu Modelu Standardowego, ale także zasadniczym pomostem do głębszej teorii. Okazuje się, że właściwości cząstki Higgsa (lub jej brak), jej masa i oddziaływania z kwarkami i leptonami będą podstawową wskazówką co do istnienia i charakteru nowej skali fizycznej rzędu  $10^3 \text{ GeV}/c^2$ , rozwiązującej problem hierarchii<sup>1</sup>, a nawet pochodzenie skali  $M_{W,Z}$ . Argumenty za istnieniem tej skali fizycznej są bardzo ogólne i silniejsze od istniejących obecnie konkretnych propozycji teoretycznych. Tak więc nie tylko odkrycie cząstki Hig-

<sup>1</sup> Problem hierarchii jest ściśle związany z obecnością w Modelu Standardowym cząstki Higgsa o zerowym spinie. Z jednej strony jest ona potrzebna do zapewnienia unitarności teorii i wyjaśnienia różnych od zera mas kwarków i leptonów, z drugiej zaś jej obecność uniemożliwia spójne zanurzenie Modelu Standardowego w głębszej teorii z bardzo dużą nową skalą fizyczną. Próby zapewnienia unitarności Modelu Standardowego bez cząstki Higgsa prowadziły jak dotąd do przewidywań sprzecznych z doświadczeniem.



gsa, ale również odkrycie tej nowej skali fizycznej będzie możliwe dzięki akceleratorowi LHC budowanemu obecnie w Genewie.

Są trzy podstawowe idee teoretyczne zaproponowane jako uogólnienie Modelu Standardowego i rozwiązujące problem hierarchii. Choć wszystkie przewidują nową fizykę przy skali rzędu  $10^3$  GeV, to ich przewidywania różnią się zasadniczo i są łatwe do doświadczalnej weryfikacji w LHC. Tymi trzema ideami są:

1. Istnienie dodatkowej symetrii przyrody, zwanej supersymetrią, przyporządkowującej każdej obecnie znanej cząstce elementarnej jej supersymetrycznego partnera o identycznych właściwościach z wyjątkiem masy i spinu – partnerami fermionów byłyby cząstki o spinie 0, partnerami kwantów pola o spinie 1 byłyby fermiony o spinie  $1/2$ . Nową skalą fizyczną byłyby wtedy masy cząstek supersymetrycznych.

2. Istnienie co najmniej jednego dodatkowego wymiaru przestrzennego – nasza czasoprzestrzeń byłaby wtedy nie  $(1+3)$ -, ale np.  $(1+4)$ -wymiarowa, z tym że ten czwarty wymiar przestrzenny odpowiadałby np. okręgowi o bardzo małym promieniu. Skala elektroslaba może wtedy być wyznaczona przez promień  $R$  tego dodatkowego wymiaru.

3. Dekonstrukcja wymiarów, czyli istnienie większej symetrii w 3 wymiarach przestrzennych zamiast dodatkowych wymiarów – dodatkowe symetrie musiałyby być spontanicznie naruszone i skalę elektroslabą można byłoby wyznaczyć jako funkcję skali spontanicznego naruszenia tych symetrii.

Każda z tych teorii prowadzi do bardzo konkretnych przewidywań dla doświadczeń z użyciem LHC.

Supersymetryczne uogólnienie Modelu Standardowego przewiduje istnienie supersymetrycznych partnerów znanych cząstek. Teorie z dodatkowymi wymiarami prowadzą do bardzo ciekawego nowego spojrzenia na oddziaływania grawitacyjne i możliwego do weryfikacji doświadczalnej w LHC przewidywania, że istnieją masywne grawitony, czyli cząstki o spinie 2 oddziałujące wyłącznie grawitacyjnie. Modele oparte na dekonstrukcji wymiarów przewidują istnienie nowych bozonów cechowania z masami rzędu  $10^3$  GeV/ $c^2$ .

## Podsumowanie

Model Standardowy zamyka kolejny ważny rozdział w badaniach nad strukturą materii i jednocześnie otwiera następny, precyzyjnie stawiając pytania. Należy nań patrzeć jako na „niskoenergetyczną” teorię efektywną, będącą w pewnym obszarze energii dobrym przybliżeniem bardziej fundamentalnej, na razie nieznannej teorii. Istnienie tej głębszej teorii oznacza odkrywanie nowych oddziaływań i nowych skal fizycznych. Teoria ta opiera się zapewne na nowych symetriach przyrody i dalszej unifikacji. Zaproponowane koncepcje teoretyczne wskazują na nową fizykę już w zakresie energii rzędu  $10^3$  GeV. Jej odkrycie oraz odkrycie cząstki Higgsa to zadanie stojące przed LHC. Ten budowany obecnie akcelerator będzie więc miał przełomowe znaczenie dla fizyki oddziaływań elementarnych.

Serdecznie dziękuję dr. Zygmuntowi Ajdukowi za współpracę przy przygotowaniu zarówno wykładu wygłoszonego przeze mnie na XXXVII Zjeździe Fizyków Polskich, jak i tego artykułu.



XXXVII Zjazd Fizyków Polskich (Gdańsk 2003): wystawa zabawek fizycznych

# Czas życia ciężkich hiperjąderek: niemezony rozpad hiperonu $\Lambda^*$

Bogusław Kamys

Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński

## Lifetimes of heavy hypernuclei: the nonmesonic $\Lambda$ decay

*Abstract:* Experiments devoted to determination of the lifetimes of heavy hypernuclei are presented and implications of the obtained value on the weak  $\Lambda$ -nucleon interaction are discussed. The lifetime of the  $\Lambda$  hyperon in heavy hypernuclei – as measured by the COSY-13 Collaboration in proton–Au, Bi and U collisions using the internal proton beam at synchrotron ring COSY-Jülich – is equal to  $\tau_\Lambda = (145 \pm 11)$  ps. This value for  $\tau_\Lambda$  is compatible with the lifetime extracted from other experiments – antiproton annihilation on Bi and U targets – but much more accurate. Theoretical models based on the meson exchange picture and assuming the validity of the phenomenological  $\Delta I = 1/2$  rule predict the lifetimes of heavy hypernuclei to be significantly larger (2–3 standard deviations). Such large differences may indicate that the assumptions of these models are not fulfilled.

## Wstęp

W roku 2003 obchodziliśmy 50-lecie najbardziej chyba spektakularnego odkrycia dokonanego przez fizyków polskich w XX w. – odkrycia hiperjąderek przez fizyków warszawskich, Mariana Danysza i Jerzego Pniewskiego. *Postępy Fizyki* opublikowały z tej okazji specjalny artykuł prof. Janusza Zakrzewskiego [1].

Hiperjądro to jądro atomowe, w którym jeden z nukleonów zastąpiony został hiperonem, czyli bariorem o własnościach bardzo podobnych do nukleonu, lecz w którego skład zamiast kwarku u lub d wchodzi kwark dziwny s. Obserwacja pierwszego hiperjądra [2] nastąpiła w wyniku interpretacji śladów cząstek promieniowania kosmicznego pozostawionych w emulsji fotograficznej naświetlonej w locie balonowym. Interpretacja ta była tak nieoczekiwana, że nawet Cecil Powell (laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1950 r. za odkrycie mezonu  $\pi$  w promieniowaniu kosmicznym), któremu z pewnością nie można było odmówić śmiałości w stawianiu hipotez interpretacyjnych, odradzał jej natychmiastowe opublikowanie. W liście do prof. Danysza pisał m.in.: „I think it would be best, either to wait until a second example of the same phenomenon is found, or to publish a photograph of it with a minimum of the descriptive material” (Myślę, że najlepiej byłoby albo poczekać do wykrycia drugiego przykładu tego samego zjawiska, albo opublikować tylko zdjęcie z minimalnym opisem). Polscy fizycy byli jed-

nak pewni poprawności swych rozważań i po wnikliwym rozpatrzeniu możliwej interpretacji alternatywnej postanowili podtrzymać swą hipotezę o zaobserwowaniu nowego obiektu jądrowego – hiperjądra. W ten sposób zapoczątkowali nowy rozdział badań, który od tej pory zaowocował wielką liczbą publikacji i ciągle jest aktywnie rozwijany. Dzieje się tak dlatego, że badanie hiperjąderek daje niezwykłą możliwość obserwacji silnych i słabych oddziaływań między barionami zawierającymi „dziwny” kwark s obok „zwykłych” kwarków u oraz d. Powoduje to jakościową zmianę sytuacji, np. hiperon w hiperjądrecie nie podlega zakazowi Pauliego, więc może obsadzać wszystkie poziomy energetyczne, długozasięgowej części silnego oddziaływania hiperon  $\Lambda$ -nukleon nie można opisać przez wymianę pojedynczego pionu jak dla dwu nukleonów, bo izospin hiperonu  $\Lambda$  ( $I = 0$ ) nie może złożyć się z izospinem pionu ( $I = 1$ ) na izospin nukleonu ( $I = 1/2$ ), słabe oddziaływanie prowadzące do przekształcenia kwarku s w kwark u lub d może przejawiać inne aspekty niż przy przekształceniu kwarku d w kwark u itd.

Wśród wielu następnych odkryć znowu najbardziej spektakularne przypadło w udziale grupie warszawskiej. W roku 1963, a więc 10 lat po opublikowaniu odkrycia „zwykłych” hiperjąderek, grupa kierowana przez profesorów Danysza i Pniewskiego zaobserwowała pierwsze podwójne (zawierające dwa hiperony  $\Lambda$ ) hiperjądro [3]. Można tu mówić o niezwykłym wprost szczęściu tej grupy naukowej, gdyż od

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku (wrzesień 2003) w sesji plenarnej.

tego czasu, mimo bardzo intensywnych badań, odkryto jedynie kilka niebudzących żadnych wątpliwości przypadków obserwacji podwójnych hiperjader.

Z historią rozwoju fizyki hiperjader można się zapoznać, korzystając z artykułu prof. Zakrzewskiego [1], a także wcześniejszych artykułów Pniewskiego [4,5] oraz Davisa i Pniewskiego [6,7] opublikowanych w *Postęпах Fizyki*. Prace te przedstawiają wiele problemów związanych z własnościami hiperjader. W tym artykule chciałbym omówić jedną z ich najważniejszych cech – czas życia i specyficzny proces odpowiedzialny za ich rozpad – niemezonowy rozpad hiperonu  $\Lambda$ .

## Rozpady hiperjader

Hiperjadro jest trwałym obiektem tak długo, jak długo nie rozpadnie się związany w nim hiperon, a więc czas życia hiperjadra jest zdeterminowany przez czas życia hiperonu. Rozpad hiperonu  $\Lambda$  może zachodzić tylko w wyniku oddziaływania słabego. Bierze się to stąd, że hiperon jest barionem obdarzonym dziwnością, a ta wielkość zachowywana jest w oddziaływaniu silnym i kulombowskim. Mogłyby więc one spowodować rozpad tylko wtedy, gdyby jednym z produktów rozpadu była cząstka dziwna. Jedyną lżejszą od hiperonu  $\Lambda$  cząstką dziwną jest kaon, ale zasada zachowania liczby barionowej wymagałaby, żeby w rozpadzie hiperonu kaonowi (który jest mezonem) towarzyszył jakiś barion. Z kolei jedynymi barionami lżejszymi od hiperonu  $\Lambda$  są nukleony, a suma mas nukleonu i kaonu jest większa od masy hiperonu, więc zasada zachowania energii wyklucza takie rozpady.

Swobodny hiperon lambda rozpada się w prawie 100% przypadków przez rozpad mezonowy  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$  lub  $\Lambda \rightarrow n + \pi^0$ , wydzielając energię równą ok. 38 MeV. Rozpad z emisją protonu zachodzi w ok. 64%, a z emisją neutronu – w ok. 36% przypadków.

Hiperon związany w jądrze może rozpadać się w inny sposób, zwany rozpadem niemezonowym:  $\Lambda + n \rightarrow n + n$  lub  $\Lambda + p \rightarrow n + p$ , w którym wydzielana jest energia ok. 180 MeV. Rozpad ten dominuje dla wszystkich hiperjader z wyjątkiem najlżejszych (lżejszych od jądra węgla). Dzieje się tak dlatego, że w hiperjadrach rozpad mezonowy jest praktycznie wzbroniony przez zakaz Pauliego. Energia nukleonu z rozpadu mezonowego jest bowiem zdecydowanie mniejsza od energii Fermiego (stosunek mas nukleonu i pionu powoduje, że przy równych pędach produktów rozpadu pion zabiera ponad 80% energii). W przeciwieństwie do rozpadu mezonowego rozpad niemezonowy nie jest blokowany przez zakaz Pauliego, ponieważ wydzielająca się w nim energia jest znacznie większa, a ponadto dzieli się między cząstki o równej masie, a więc każdy z wylatujących nukleonów ma energię przekraczającą energię Fermiego nukleonów w jądrze.

Oczywiście rozpad ten jest także spowodowany oddziaływaniem słabym i stanowi specyficzny, nieleptonowy, czterofermionowy proces zachodzący z niezachowaniem dziwności.

W tabeli 1 przedstawiono podział procesów oddziaływania słabego, a niemezonowy rozpad hiperonu  $\Lambda$  zapisany jest pogrubionymi symbolami.

Tabela 1. Podział oddziaływań słabych

Oddziaływanie	$\Delta S = 0$	$\Delta S = 1$
leptonowe	$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$ $\nu_e e^- \rightarrow \nu_e e^-$	
półleptonowe	$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$ $\bar{\nu}_e p \rightarrow n e^+$	$K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$
nieleptonowe	$NN \rightarrow NN$	$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ $\Lambda N \rightarrow \Lambda N$ $\Lambda \rightarrow \pi^- p$

Jedynym badanym dotychczas doświadczalnie czterofermionowym, nieleptonowym procesem analogicznym do niemezonowego rozpadu hiperonu  $\Lambda$  jest rozpraszanie nukleonów wywołane oddziaływaniem słabym. Proces ten, jako zachowujący dziwność, konkuruje z rozpraszaniem wywołanym przez oddziaływania silne i kulombowskie. W związku z tym efekt oddziaływania słabego jest zawsze przysłaniany przez znacznie większe efekty silnego oddziaływania nukleonów, a w przypadku procesu najłatwiejszego do badania – rozpraszania proton–proton – dodatkowo przez oddziaływanie kulombowskie. Z tego powodu rozpraszanie wywołane słabym oddziaływaniem może być zauważone tylko dzięki łamaniu parzystości pojawiającemu się w oddziaływaniu słabym, a wzbronionemu w oddziaływaniu silnym i kulombowskim. Tego typu badania wymagają więc przeprowadzania niezwykle precyzyjnych eksperymentów [8], wyznaczających efekty o ok. 7 rzędów wielkości mniejsze niż te, które są spowodowane przez oddziaływania silne i kulombowskie. Co więcej, takie doświadczenia nie dają informacji o tej części amplitudy procesu, która spełnia zasadę zachowania parzystości.

Niemezonowy rozpad hiperonu, zachodzący wyłącznie przez oddziaływanie słabe i dlatego pozwalający na obserwację zarówno przyczynku zachowującego parzystość, jak i ją naruszającego, budzi od wielu lat duże zainteresowanie fizyków. Liczba nowych prac poświęconych temu procesowi jest tak znaczna, że co kilka lat pojawiają się artykuły przeglądowe, których zawartość poświęcona jest głównie temu procesowi [9–11].

W odróżnieniu od rozpadu mezonowego nie jest dobrze poznany stosunek  $\Gamma_n/\Gamma_p$  częstości występowania rozpadu niemezonowego spowodowanego przez zderzenie hiperonu odpowiednio z neutronem i z protonem. Co więcej, stosunek  $\Gamma_n/\Gamma_p$  przewidywany przez



teorię jest mniejszy od jedności, podczas gdy wyniki doświadczeń – mimo braku zgodności między sobą – konsekwentnie wskazują, że stosunek ten jest większy od jedności. Tę niezgodność nazwano „zagadką  $\Gamma_n/\Gamma_p$ ”. Jej rozwiązaniu poświęca się wiele wysiłku, ponieważ wartość  $\Gamma_n/\Gamma_p$  jest związana bezpośrednio z regułami wyboru oddziaływania słabego. Na przykład, w mezonowym rozpadzie hiperonu  $\Lambda$  (podobnie jak w rozpadach kaonów) znana wartość  $\Gamma_n/\Gamma_p$  wskazuje na dominację procesu zachodzącego ze zmianą izospinu  $\Delta I = 1/2$ , mimo że nie ma zakazu rozpadu ze zmianą izospinu  $\Delta I = 3/2$ . Fakt ten określa się mianem „reguły  $\Delta I = 1/2$ ” słabych rozpadów cząstek dziwnych.

Istnieją przesłanki doświadczalne oparte na pomiarze czasów życia najlżejszych hiperjader, wskazujące na możliwość łamania reguły  $\Delta I = 1/2$  w niemezonowym rozpadzie hiperonu  $\Lambda$ . Niestety, dokładność wyznaczania czasów życia lekkich hiperjader nie jest wystarczająco duża, aby jednoznacznie stwierdzić łamanie tej reguły. Pomiarów czasów życia ciężkich hiperjader mogą dostarczyć nowej, niezależnej informacji o mechanizmie rozpadu niemezonowego, tym bardziej że stosunek liczby neutronów do liczby protonów w ciężkich jądrach jest większy od jedności, więc łatwiej zauważyć różnice w procesach wywołanych protonami i neutronami.

## Wczesne pomiary czasu życia hiperjader

W doświadczalnym badaniu rozpadu niemezonowego niezbędny jest precyzyjny pomiar czasu życia hiperjader, co nie jest łatwym zadaniem. Dla lekkich hiperjader przeprowadzono wiele wyrafinowanych pomiarów (np. [12–15]), w których czas życia hiperjader powstających w reakcji ( $\pi^+$ ,  $K^+$ ) mierzono bezpośrednio, jako różnicę czasu rejestracji cząstki powodującej powstanie hiperjadera, kaonu i nukleonów wylatujących z rozpadu. Obecność kaonu traktowano jako wskazówkę, że w reakcji powstawał hiperon  $\Lambda$  (cząstka o przeciwnej dziwności do kaonu, zapewniająca zachowanie dziwności), a bilans energii rejestrowanych cząstek pozwalał na wyznaczenie masy hiperjadera. Stopień komplikacji pomiaru czasu życia tą metodą rośnie wraz z masą hiperjadera, gdyż coraz trudniej jest odróżnić nukleony z rozpadu hiperjadera od nukleonów wysyłanych w wyniku innych, bardziej prawdopodobnych procesów. Z tego powodu nie udało się dotychczas zastosować takiej metody do najcięższych hiperjader.

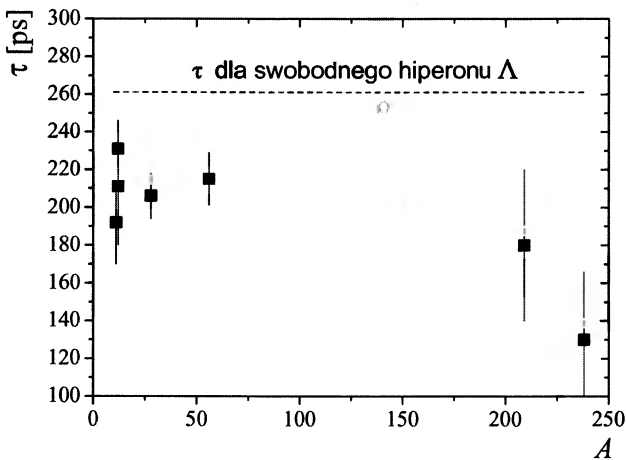
Pod koniec lat 80. zaproponowano inną metodę pomiaru czasu życia, która nadaje się szczególnie do badania ciężkich hiperjader. Metoda ta wykorzystuje rozszczepienie ciężkich jąder atomowych. Proces rozszczepienia jest dominującym sposobem deekscytacji (ok. 90%) wzbudzonych najcięższych jąder atomowych – jak jądra uranu – ale zachodzi również ze znacznym (kilka lub kilkanaście procent) prawdopodobieństwem dla jąder lżejszych, jak jądra złota, ołowiu czy bizmutu. Czas życia rozszczepiających się wzbudzonych

jąder atomowych jest bardzo krótki (rzędu  $10^{-18}$  s), więc przyjęło się nazywać taki proces rozszczepieniem natychmiastowym. Tak krótki czas od wzbudzenia do rozpadu powoduje, że rozpad zachodzi praktycznie w miejscu, gdzie znajdowało się wzbudzone jądro po zderzeniu z cząstką powodującą to wzbudzenie. Czas życia hiperjader jest jednak znacznie dłuższy (rzędu  $10^{-10}$  s), bo określa go czas życia hiperonu  $\Lambda$ , który dopiero rozpadając się dostarcza do jądra energię powodującą rozszczepienie. Stąd takie rozszczepienie nazywane jest opóźnionym (o czas życia hiperonu). Czas opóźnienia jest wystarczająco długi, aby hiperjądro poruszające się z pędem odrzutu wniesionym przez cząstkę padającą rozpadło się w pewnej mierzalnej odległości od miejsca, gdzie zostało utworzone w wyniku reakcji. Rozkład odległości miejsca rozpadu od miejsca utworzenia hiperjadera zależy oczywiście od czasu życia hiperonu i od prędkości odrzutu hiperjadera. Można oszacować, że średnia odległość przebyta przez hiperjądro przed opóźnionym rozszczepieniem jest równa ułaskowi milimetra, a więc może być zmierzona z rozsądną precyzją. Znając rozkład prędkości lotu hiperjader i mierząc rozkład położenia hiperjader w chwili rozszczepienia, uzyskuje się informację o rozkładzie czasów życia hiperjader.

Powyższą ideę zastosowały dwie grupy badawcze: jedna z Charkowa wytwarzająca hiperjądra przez bombardowanie jąder atomowych elektronami [16], a druga z CERN-u, która badała hiperjądra powstające w wyniku reakcji wywołanych antyprotonami [17,18]. Obie grupy zastosowały do pomiaru rozkładu położenia hiperjader ulegających opóźnionemu rozszczepieniu metodę cieniową, używaną wcześniej do rejestracji długo żyjących izomerów rozszczepienia zwykłych jąder atomowych [19]. Metoda ta wykorzystuje fakt, że fragmentom rozszczepienia natychmiastowego jąder można zasłonić dostęp do detektora pozycyjnie czułego i rejestrować w „cieniu” rzucanym przez przesłonę na detektor tylko fragmenty z opóźnionego rozszczepienia, ponieważ te ostatnie procesy zachodzą w miejscu odsuniętym od naświetlanej próbki o ułaski milimetra, a więc przesłona nie stanowi dla nich przeszkody. Rozkład punktów rejestracji fragmentów rozszczepienia w obszarze „cienia” w detektorze pozycyjnie czułym jest powiększonym i odwróconym obrazem rozkładu punktów emisji, przy czym powiększenie jest równe stosunkowi odległości przesłony od detektora i odległości przesłony od naświetlanej próbki. W ten sposób można otrzymać nawet kilkudziesięciokrotne powiększenie rozkładu, co pozwala na wystarczającą precyzję pomiaru położenia.

Wbrew oczekiwaniom te pomiary czasów życia ciężkich hiperjader nie wniosły zbyt wielu nowych informacji do badania rozpadu niemezonowego, gdyż wyniki obu grup były obciążone dużymi błędami, a co gorsza, różniły się o rząd wielkości. Czas życia uzyskany z doświadczeń z elektronami wynosił  $2700 \pm 500$  ps dla  $Bi + e$  [16], natomiast eksperymenty z an-

typrotonami dawały dla tarczy Bi oraz U odpowiednio  $180 \pm 40$  ( $\pm 60$ ) ps oraz  $130 \pm 30$  ( $\pm 30$ ) ps (w nawiasach podano błędy systematyczne) [18]. Rysunek 1 ilustruje ówczesny stan wiedzy o czasach życia hiperjader ze względu na niemezonowy rozpad (wynik charkowski nie jest pokazany z uwagi na skalę rysunku). Jak widać, wyniki doświadczalne – szczególnie dla ciężkich hiperjader – były obciążone zbyt dużymi błędami, aby można było wnioskować o tym, czy zależność czasu życia od liczby masowej hiperjadera jest funkcją malejącą, rosnącą czy też jest to stała o wartości o kilkadziesiąt pikosekund mniejszej od czasu życia swobodnego hiperonu  $\Lambda$  ( $263 \pm 2$  ps).



Rys. 1. Najbardziej precyzyjne pomiary czasu życia hiperjader od boru do uranu ze względu na rozpad niemezonowy, wykonane przed rozpoczęciem eksperymentu COSY-13

### Pomiary w ramach projektu COSY-13

Aby uzyskać bardziej miarodajne wyniki, grupa fizyków z Uniwersytetu Jagiellońskiego i Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie rozpoczęła na początku lat 90. we współpracy z fizykami niemieckimi z Centrum Badawczego Jülich w ramach projektu COSY-13 pomiary czasów życia ciężkich hiperjader produkowanych w zderzeniach protonów z jądrami atomowymi. Postanowiono wykorzystać także w tym celu metodę cieniową, ale w odróżnieniu od pomiarów grup charkowskiej i CERN-owskiej eksperyment został przeprowadzony na wewnętrznej wiązce protonów pierścienia synchrotronowego COSY w Jülich. Pozwalało to na zastosowanie bardzo cienkich tarcz (ok.  $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ), co zapewniało brak pochłaniania i hamowania wytworzonych hiperjader w tarczy, a równocześnie – dzięki wielokrotnemu przechodzeniu przyśpieszonych protonów przez tarczę – dawało liczbę zderzeń protonów z jądrami tarczy tak dużą, jak przy bardzo intensywnych wiązkach zewnętrznych.

Przed projektem COSY-13 nie wytwarzano hiperjader w zderzeniach protonów z jądrami atomowymi (wykorzystywano głównie wiązki pionów lub ka-

onów), więc przeprowadzono obliczenia teoretyczne, które dały przekonujące argumenty dotyczące wielkości przekrojów czynnych oraz własności powstających hiperjader [20,21]. W szczególności dostarczyły one informacji o rozkładach ich prędkości odrzutu. Wiarygodność wyników została sprawdzona przez porównanie do istniejących danych doświadczalnych dotyczących kaonów stowarzyszonych z hiperonami  $\Lambda$ , a także do danych doświadczalnych zwykłych jader rozszczepiających się pod wpływem wiązki protonów.

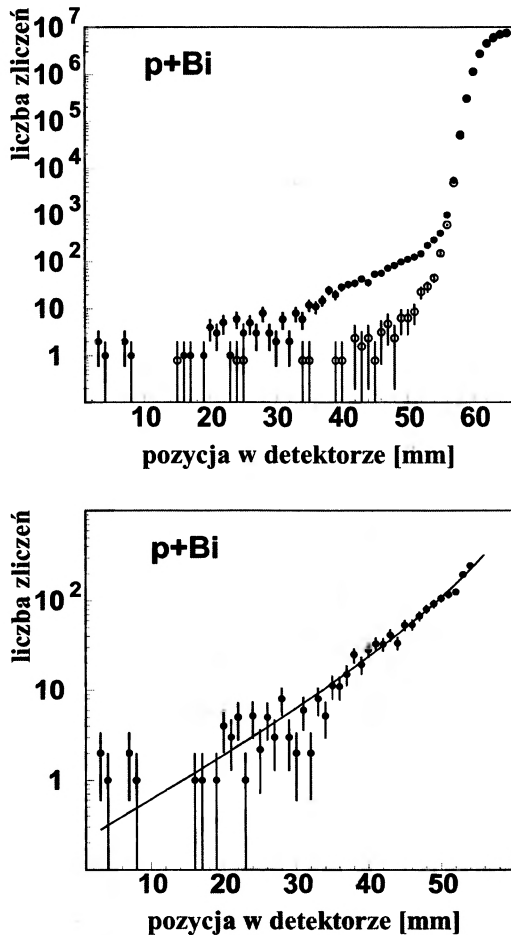
W ciągu kilku następnych lat przeprowadzono serię pomiarów czasów życia hiperjader powstających w zderzeniach wiązki protonów z tarczami uranu [22,23], bizmutu [24] i złota [25], ulepszając systematycznie technikę pomiarową i zmniejszając zarówno błędy systematyczne, jak i niepewności statystyczne. Eksperyment przeprowadzono zawsze przy dwóch wartościach energii protonów, dobierając je tak, aby przy mniejszej energii nie mogły być produkowane hiperony (a więc rejestrowane zdarzenia nie pochodziły od rozpadu hiperjader, lecz pozwalały na oszacowanie tła), a przy energii większej żeby rejestrowane były zarówno produkty rozpadu hiperjader, jak i tło. Zwykle były to wartości energii 1,0 GeV i 1,9 GeV. Na rysunku 2 pokazane są typowe rozkłady położenia produktów w pomiarze z tarczą bizmutową, zarejestrowane przez pozycyjnie czułe liczniki proporcjonalne.

W pracy [26] zaproponowano prosty model teoretyczny, który na podstawie zależności czasu życia od masy hiperjadera pozwala wyciągnąć wnioski o stosunku częstości zachodzenia rozpadów niemezonowych wywołanych zderzeniami hiperonu  $\Lambda$  z neutronami i z protonami, a w pracy [27] podsumowano wyniki projektu COSY-13.

Największym osiągnięciem tego projektu było otrzymanie nowych, najbardziej precyzyjnych pomiarów czasu życia ciężkich hiperjader. Okazało się, że w granicach niepewności pomiarowej czas życia hiperjader o liczbach masowych z zakresu od  $A = 180$  do  $A = 225$  jest taki sam i wynosi  $(145 \pm 11)$  ps. Wynik ten świetnie zgadza się ze średnią pomiarów otrzymanych w doświadczeniach CERN-owskich  $(143 \pm 36)$  ps, ale jest obciążony trzykrotnie mniejszą niepewnością. Oczywiście aż tak dobra zgodność jest przypadkowa (przy poprawnie oszacowanych niepewnościach), niemniej świadczy ona o zgodności wyników otrzymanych przez dwie niezależne grupy stosujące zupełnie inną aparaturę.

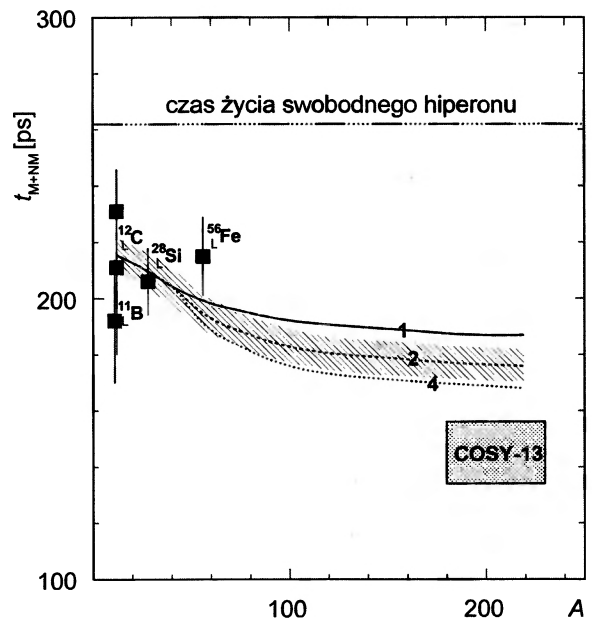
Precyzyjny wynik pomiarów długości czasu życia ciężkich hiperjader pozwala na stwierdzenie, że czasy życia hiperjader maleją wraz z masą hiperjadera, co jest zgodne z przewidywaniami teorii, ale dotychczasowe teorie – zakładające stosowalność fenomenologicznej reguły  $\Delta I = 1/2$  – zawyżają oszacowania czasu życia w znaczący sposób [27]. Na rysunku 3 wyraźnie widać, że obliczenia modelowe odtwarzają jakościowo zależność czasu życia od masy hiperjader, ale zawyżają o 2–3 niepewności doświadczalne wartość czasu życia

ciężkich hiperjader. Oznacza to, że założenia teorii nie uwzględniają poprawnie pewnych ważnych czynników. Najbardziej narzucającą się modyfikacją założeń jest zakwestionowanie stosowności w rozpadzie niemezonowym fenomenologicznej reguły  $\Delta I = 1/2$ , wynikającej z obserwacji rozpadu mezonowego hiperonu  $\Lambda$ , a także z rozpadów kaonów.



Rys. 2. Rozkłady położenia produktów rozpadu hiperjader wytworzonych w zderzeniach protonów o energii 1,0 GeV i 1,9 GeV z tarczą bizmutową. U góry: zarejestrowane rozkłady; puste kółka – pomiar przy energii 1,0 GeV (czyli tło), pełne kółka – pomiar przy 1,9 GeV (odpowiadający sumie efektu i tła). U dołu: rozkład produktów rozszczepienia opóźnionego hiperjader otrzymany w wyniku odjęcia tła od pomiaru przy większej energii (kółka) oraz teoretyczny rozkład położenia (linia) obliczony metodą Monte Carlo przy założeniu czasu życia hiperjader równego 161 ps.

Niemezonowy rozpad hiperjader ciągle stanowi dla fizyków interesujący problem. W przypadku lekkich hiperjader ostatnio opublikowane prace teoretyczne [28–30] i doświadczalne [31] sugerują zbliżanie się do rozwiązania zagadki  $\Gamma_n/\Gamma_p$ , lecz wyjaśnienie doświadczalnych wartości czasu życia ciężkich hiperjader stanowi dalej wyzwanie dla teorii.



Rys. 3. Czasy życia hiperjader ze względu na rozpad niemezonowy. Doświadczalne wyniki dla lekkich hiperjader pokazane są jako kwadraty, a wyniki projektu COSY-13 jako zakreśloną prostokąt. Długość poziomego boku prostokąta pokazuje zakres badanych hiperjader, a długość pionowego boku określa niepewność wyznaczenia czasu życia. Krzywe oznaczone symbolami 1, 2 i 4 to przewidywania modelu teoretycznego [26] dla trzech różnych stosunków częstości zachodzenia rozpadów hiperonu wywołanych zderzeniami z neutronami i z protonami, przy czym krzywa 2 to najniższej położona krzywa, jaką można otrzymać przy założeniu prawdziwości reguły  $\Delta I = 1/2$ . Zakreśloną obszar obejmujący te krzywe pokazuje, jaka jest niedokładność absolutnej normalizacji obliczeń teoretycznych.

## Literatura

- [1] J.A. Zakrzewski, *Postępy Fizyki* **54**, 51 (2003).
- [2] M. Danysz, J. Pniewski, *Phil. Mag.* **44**, 348 (1953).
- [3] M. Danysz, K. Garbowska, J. Pniewski, T. Pniewski, J. Zakrzewski i in., *Phys. Rev. Lett* **17**, 29 (1963); *Nucl. Phys.* **49**, 121 (1963).
- [4] J. Pniewski, *Postępy Fizyki* **30**, 517 (1979).
- [5] J. Pniewski, *Postępy Fizyki* **37**, 113 (1986).
- [6] D.H. Davis, J. Pniewski, *Postępy Fizyki* **39**, 199 (1988).
- [7] D.H. Davis, J. Pniewski, *Postępy Fizyki* **41**, 3 (1990).
- [8] S. Kistryn i in., *Phys. Rev. Lett.* **58**, 1616 (1987).
- [9] J. Cohen, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **25**, 139 (1990).
- [10] E. Oset, A. Ramos, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **41**, 191 (1998).
- [11] W.M. Alberico, G. Garbarino, *Phys. Rep.* **369**, 1 (2002).
- [12] H. Noumi i in., *Phys. Rev. C* **52**, 2936 (1995).
- [13] H. Bhang i in., *Phys. Rev. Lett.* **81**, 4321 (1998).
- [14] H. Park i in., *Phys. Rev. C* **61**, 054004 (2000).
- [15] O. Hashimoto i in., *Phys. Rev. Lett.* **88**, 042503 (2002).
- [16] V.I. Noga i in., *Sov. J. Nucl. Phys.* **43**, 856 (1986); **46**, 769 (1987).
- [17] J.P. Bocquet i in., *Phys. Lett. B* **182**, 146 (1986); **192**, 312 (1987).
- [18] T.A. Armstrong i in., *Phys. Rev. C* **47**, 1957 (1993).



*B. Kamys – Czas życia ciężkich hiperjader: niemezonowy rozpad hiperonu  $\Lambda$*

- [19] V. Metag i in., *Nucl. Instrum. Methods* **114**, 445 (1974).
- [20] Z. Rudy i in. (m.in. T. Demski, L. Jarczyk, B. Kamys, P. Kulessa, A. Strzałkowski), *Z. Phys. A* **351**, 217 (1995).
- [21] Z. Rudy i in. (m.in. L. Jarczyk, B. Kamys, P. Kulessa, A. Strzałkowski), *Z. Phys. A* **354**, 445 (1996).
- [22] H. Ohm i in. (m.in. K. Pysz, Z. Rudy, L. Jarczyk, B. Kamys, P. Kulessa, A. Strzałkowski), *Phys. Rev. C* **55**, 3062 (1997).
- [23] P. Kulessa i in. (m.in. L. Jarczyk, B. Kamys, K. Pysz, Z. Rudy), *Acta Phys. Polon. B* **33**, 603 (2002).
- [24] K. Pysz i in. (m.in. P. Kulessa, Z. Rudy, B. Kamys, L. Jarczyk, A. Strzałkowski), *Nucl. Instr. Meth.* – *Phys. Res. A* **420**, 356 (1999).
- [25] B. Kamys i in. (m.in. P. Kulessa, K. Pysz, Z. Rudy), *Eur. Phys. J. A* **11**, 1 (2001).
- [26] Z. Rudy i in. (m.in. L. Jarczyk, B. Kamys, P. Kulessa, A. Strzałkowski), *Eur. Phys. J. A* **5**, 127 (1999).
- [27] W. Cassing i in. (m.in. L. Jarczyk, B. Kamys, P. Kulessa, K. Pysz, Z. Rudy), *Eur. Phys. J. A* **16**, 549 (2003).
- [28] G. Garbarino, A. Pareño, A. Ramos, arXiv:nucl-the/0311071.
- [29] G. Garbarino, A. Pareño, A. Ramos, arXiv:nucl-the/0312040.
- [30] W.M. Alberico, arXiv:nucl-the/0402010.
- [31] H. Bhang, *Acta Phys. Polon. B* (w druku).



Prof. BOGUSŁAW KAMYS prowadzi badania w zakresie fizyki jądrowej i fizyki cząstek. W latach 1999–2002 był koordynatorem międzynarodowego projektu COSY-13 (poświęconego pomiarowi czasu życia najcięższych hiperjader), a obecnie jest koordynatorem międzynarodowego projektu PISA (dotyczącego reakcji spalacji i fragmentacji jąder atomowych protonami), prowadzonych we współpracy z uniwersytetami w Bochum, Dreźnie, Giessen, Mesynie i Monachium oraz Centrum Badawczym Jülich. Jest kierownikiem specjalizacji fizyka jądrowa w Instytucie Fizyki UJ, kierownikiem Studiów Doktoranckich w IF UJ oraz prodziekanem ds. studiów Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ.



XXXVII Zjazd Fizyków Polskich (Gdańsk 2003): sala obrad

# Spintronika\*

Zbysław Wilamowski

Instytut Fizyki PAN, Warszawa

---

## Spintronics

*Abstract:* Basic ideas and recent developments in the new field of spintronics are discussed.

---

### Wstęp

Spintronika, czy – jak kto woli – elektronika spinowa to ostatnio bardzo modny kierunek rozwoju fizyki. Zajmuje się nią wielu fizyków i technologów w licznych ośrodkach badawczych. Słowo „modny” w badaniach naukowych znaczy tyle co „potrzebny”, a przynajmniej „perspektywiczny”, i tylko wtedy ktoś decyduje się subsydiować takie badania. Również w Polsce Komitet Badań Naukowych finansuje duży projekt zamawiany „Elektronika spinowa”. Finansowanie tych badań wiąże się z nadzieją na znalezienie alternatywnej ścieżki rozwoju dla klasycznej elektroniki, opartej na manipulowaniu ładunkiem elektronowym w strukturach półprzewodnikowych. Od kilku lat myśli się o wykorzystaniu spinu jako dodatkowego stopnia swobody w urządzeniach elektronicznych. Rzuca się hasła: „ tranzystor spinowy”, „spinowe procesory”, proponuje się dziesiątki sposobów „manipulowania spinami”. Wiele już zrobiono, lecz mimo to powyższe hasła należy ciągle traktować jako cele perspektywiczne – obecnie wciąż jeszcze jest to poziom badań podstawowych, z ogromnym udziałem badań materiałowych. W zakres spintroniki wchodzi różnorodny zagadnienia, od podstawowych elementów mechaniki kwantowej przez nowe zjawiska i nowe materiały aż po próbę budowy elementów elektroniki spinowej. Duża jest też różnorodność celów.

Przy całym ogromie badań nie jest wcale łatwo powiedzieć, co oznacza samo słowo „spintronika”. Trudność w precyzyjnym zdefiniowaniu tego pojęcia wiąże się właśnie z wielką mnogością i różnorodnością pomysłów oraz realizowanych projektów. Jest ona spotęgowana przez fakt, że te interdyscyplinarne badania podjęli specjaliści wcześniej zajmujący się różnymi dziedzinami fizyki [1,2], elektroniki i teorii informacji [3]. Co innego mają na myśli badacze zajmujący się uprzednio fizyką metali [1], inaczej widzą problem specjaliści w dziedzinie fizyki półprzewodników [2], a jeszcze inaczej inżynierowie elektronicy.

Z kolei informatycy w procesach manipulacji spinem upatrują możliwość zbudowania zupełnie nowego typu procesora logicznego, związanego z kwantowym charakterem spinu.

### Spin elektronu i konsekwencje zakazu Pauliego

Czym jest spin, fizycy wiedzą od bardzo dawna. Ścisłe pojęcie spinu wprowadza relatywistyczne równanie Diraca. Na użytek fizyki ciała stałego możemy jednak traktować spin elektronu jako jego własny moment pędu, a jego połówkowa wartość oznacza, że pojedynczy elektron może znajdować się w dwóch różnych stanach kwantowych, odpowiadających dwóm różnym rzutom spinu. W nieobecności pola magnetycznego dwa stany elektronu są jednak trudno rozróżnialne – mają tę samą energię, charakteryzują się identyczną funkcją falową i jednakowo reagują na pole elektryczne. W tym sensie rzut spinu jest nierozróżnialny w wielkiej klasie zjawisk i jako taki często pomijany.

Przy analizie oddziaływań spinowych musimy pamiętać o dwóch cechach spinu. Po pierwsze, związanemu z nim momentowi pędu odpowiada moment magnetyczny, a ten ulega wpływowi pola magnetycznego. Po drugie, połówkowość spinu oznacza, że obsadzanie stanów elektronowych przebiega ściśle według zakazu Pauliego, zabraniającego obsadzania tego samego stanu przez dwa elektrony. Jeśli dany stan jest już obsadzony przez elektron o określonej orientacji spinu, to drugi elektron musi mieć spin przeciwny. W tym sensie można powiedzieć, że spin rządzi i może sterować wychwytem elektronów. To już jest wystarczający powód, by myśleć o wykorzystaniu spinu jako elementu logicznego. Praktyczna realizacja, choć możliwa, nie jest jednak aż tak prosta. Spinowo selektywny wychwyty pojedynczych elektronów zachodzi w bardzo małych strukturach elektronicznych, tzw. kropkach kwantowych, ale jego realizacja wymaga bardzo niskich temperatur i trudno się spodziewać praktycznego zastosowania takich elementów w elektronice.

---

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku (wrzesień 2003) w sesji plenarnej.

Konsekwencje zakazu Pauliego są jednak znacznie szersze. To on prowadzi do pojawienia się oddziaływań wymiennych i w konsekwencji do zjawiska ferromagnetyzmu. A samą ideę selektywnego wychwyty realizuje się nie tylko w kropkach kwantowych, ale np. również przez selektywne wiązanie się ekscytynu, czyli wzbudzonej pary elektron–dziura w półprzewodniku, z dodatkowym elektronem. Taki trójcząstkowy obiekt nazywamy trionem. Zaletą jego jest to, że za pomocą kołowo spolaryzowanego światła możemy selektywnie pobudzać ekscytyn lub trion o znanym momencie pędu, a na podstawie polaryzacji luminescencji związanej z rekombinacją wnioskować o ich końcowej konfiguracji spinowej.

Nie można więc pominąć reguł spinowych przy obsadzaniu małych obiektów kwantowych, ale w strukturach makroskopowych znaczenie zakazu Pauliego maleje. I tak, o dwukrotnej degeneracji spinowej w niemagnetycznych (diamagnetycznych) półprzewodnikach i metalach pamiętamy tylko wtedy, gdy wyznaczamy liczbę elektronów mogących obsadzić dane pasmo elektronowe. Ponieważ jednak dwa podpasma spinowe są identyczne i tak samo obsadzone, efektów spinowych nie widać bezpośrednio. Sytuacja zmienia się drastycznie, gdy pojawia się silne rozszczepienie spinowe pasm elektronowych i związana z nim polaryzacja spinowa nośników. Takie rozszczepienie jest pomijalnie małe w diamagnetykach, ale może być bardzo duże w ferromagnetykach i tzw. półprzewodnikach półmagnetycznych, czyli półprzewodnikach domieszkowanych jonami metali przejściowych. Szczególnie obiecujące wydają się złącza takich materiałów o różnych własnościach magnetycznych, w których polaryzacja spinowa po obu stronach złącza mogłaby być sterowana z zewnątrz. Analogia do półprzewodnikowego złącza p–n, które zmieniło cywilizację XX wieku, sama się narzuca, a drogę od złącza przez tranzystor do procesorów o wielkiej skali integracji już przechodziliśmy.

Podsumowując, efektów spinowych możemy oczekiwać albo w klasie małych obiektów kwantowych typu kropki czy ekscytyny, albo w makroskopowych strukturach łączących różne materiały magnetyczne, gdzie rolę pojedynczego spinu elektronowego może odgrywać namagnesowanie całej drobiny magnetycznej.

## Oddziaływania spinowe

Oddziaływania spinowe są rodzajem oddziaływań elektromagnetycznych. W wielu przypadkach, gdy dotyczy to oddziaływań statycznych lub wolnozmiennych, można jednak mówić odrębnie o kulombowskich oddziaływaniach między ładunkami elektrycznymi oraz o oddziaływaniach momentów magnetycznych i pola magnetycznego. Statyczne pole magnetyczne znosi degenerację spinową i powoduje energetyczne rozszczepienie poziomów spinowych, proporcjonalne do przyłożonego pola magnetycznego (rozszczenie zeemanowskie). Jest ono małe, ale łatwo mierzalne. W polach magnetycznych uzyskiwanych w la-

boratoriach odpowiada ono energii promieniowania mikrofalowego i można je niezwykle precyzyjnie zmierzyć za pomocą rezonansów magnetycznych. Samo zjawisko rezonansu magnetycznego, oprócz bardzo szerokich zastosowań w różnych dziedzinach fizyki, chemii, biologii i medycyny, może być również stosowane w spintronice. Otóż gdy w zewnętrznym polu magnetycznym przykładamy dodatkowo rezonansowo dopasowane promieniowanie mikrofalowe, to w sposób ciągły potrafimy zmieniać rzut momentu spinowego. Spin oscyluje wtedy między swoimi stanami kwantowymi. Oscylacje takie przewidziane zostały wiele lat temu przez Rabiego, a obecnie są wykorzystywane w technice rezonansów magnetycznych. Ważne jest to, że tym sposobem potrafimy precyzyjnie obrócić spin o zadany kąt, proporcjonalny do amplitudy i czasu trwania impulsu mikrofalowego.

Do klasy oddziaływań spinowych należy również zaliczyć oddziaływania spinowo-orbitalne i oddziaływania wymienne. Sprzężenie spinowo-orbitalne jest pewnym kwantowym uogólnieniem sprzężenia momentu magnetycznego z polem magnetycznym. Jeśli potraktować ruch kwantowej cząstki o prędkości proporcjonalnej lokalnie do gradientu potencjału jako ruch ładunku elektrycznego, to zgodnie z zasadami elektrodynamiki jest to równoważne temu, że cząstka (konkretnie myślimy o spinie) „widzi” efektywne pole magnetyczne, z którym się sprzęga. Z punktu widzenia spintroniki jest to niezwykle ważne oddziaływanie, gdyż bezpośrednio sprzęga własności elektronowe ze spinem. W tym sensie daje ono możliwość korespondencji, czyli sterowania lub odczytu własności spinowych za pomocą dobrze już opanowanych technik klasycznej elektroniki.

Równie ważne są oddziaływania wymienne. Mówimy o nich „spinowe”, choć ich pochodzenie nie ma żadnego związku z magnetycznym oddziaływaniem dipolowym – jest ono konsekwencją oddziaływania kulombowskiego i zakazu Pauliego. W najprostszym przypadku, gdy w jednym dołku potencjału, np. w atomie, chcemy pomieścić dwa elektrony, w stanie podstawowym muszą one mieć antyrównoległe spiny. Odwrócenie jednego spinu, tak by oba były równoległe, wiąże się z koniecznością przeniesienia elektronu do stanu wzbudzonego. Tak więc całkowita energia układu istotnie zależy od wzajemnej orientacji spinów. Efekt jest nieco bardziej subtelny, gdy np. chcemy obsadzić dwa elektrony na orbitalu lub w pasmie o większej krotności degeneracji. Na przykład na powłoce typu d atomu można upakować po pięć elektronów o każdej ze spinowych orientacji. Jeśli wkładamy elektrony o tych samych spinach, to ponieważ muszą one zajmować różne orbitale, ich wzajemne przekrycie, a więc i energia kulombowskiego odpychania, są mniejsze niż wówczas, gdy spiny są antyrównoległe i któryś ze stanów orbitalnych może być zajmowany przez oba elektrony. Średnio więc energia stanów o spinach równoległych jest mniejsza niż stanów o spinach antyrównoległych.



Zamiast więc szczegółowo dyskutować obsadzenia stanów wieloelektronowych i analizować oddziaływania elektron–elektron, mówimy o ferromagnetycznym oddziaływaniu wymiennym między spinami elektronowymi, choć spiny służą tu jedynie rozróżnianiu stanów kwantowych.

Trudno przecenić rolę oddziaływań wymiennych w spintronice. W omawianym przypadku powłoki atomowej oddziaływanie wymienne stanowi podstawę empirycznej reguły Hunda, która określa powstawanie atomowych momentów magnetycznych metali przejściowych. Z kolei oddziaływanie wymienne między momentami atomowymi prowadzi do pojawienia się ferromagnetyzmu, czyli stanu, w którym spiny atomowe i spiny elektronów przewodnictwa są spontanicznie spolaryzowane.

Można wyróżnić również kilka typów oddziaływań wymiennych między momentami magnetycznymi różnego typu. I tak, sprzężenie spinów atomowych ze spinami jądrowymi nazywamy sprzężeniem nadsubtelnym. Interesuje nas to o tyle, że manipulując spinami rdzeniowymi możemy zmieniać polaryzację spinów jądrowych, a te charakteryzują się bardzo długą pamięcią spinową. Myśli się również o odwrotnym efekcie, tzn. o zmianie spinów elektronowych przez obrót spinów jądrowych, a trzeba pamiętać, że bardzo dobrze obecnie rozwinięta technika jądrowego rezonansu magnetycznego pozwala na precyzyjne, selektywne obracanie poszczególnych spinów jądrowych.

Sprzężenie spinów rdzeni atomowych (powłok d lub f) ze spinami nośników pasmowych (typu s lub p) jest innym ważnym typem sprzężenia wymiennego. To właśnie sprzężenie sp–d jest odpowiedzialne za gigantyczne rozszczepienie spinowe elektronów i dziur przewodnictwa w półprzewodnikach półmagnetycznych, a także za pojawienie się ferromagnetyzmu w rozcieńczonych stopach magnetycznych.

Różnorodność typów oddziaływań spinowych stwarza szeroki wybór metod zapisywania, manipulowania oraz odczytu stanu spinowego.

## Materiały i elementy spintroniczne

Jak już powiedziano powyżej, do materiałów spintronicznych możemy zaliczyć zarówno niemagnetyczne (diamagnetyczne) półprzewodniki, jeśli tylko elementy z nich budowane są rozmiarów nanoskopowych i bez nazbyt dużego wzrostu potencjału mogą pomieścić jedynie pojedyncze elektrony, jak i materiały typowo magnetyczne. Klasyczne magnetyki to metale lub izolatory ferromagnetyczne (pomijam tu omawianie różnorodności struktur magnetycznych) oraz wspomniane już półprzewodniki półmagnetyczne. W klasycznych ferromagnetykach oddziaływanie wymienne między jonami magnetycznymi prowadzi do pojawienia się spontanicznego namagnesowania i poniżej temperatury Curie, często znacznie przekraczającej temperaturę pokojową, możemy traktować namagnesowanie jako trwałe.

Natomiast półprzewodniki półmagnetyczne, czyli magnetycznie rozcieńczone stopy półprzewodnikowe (ang. diluted magnetic semiconductors, DMS) w nieobecności pola magnetycznego nie mają żadnego momentu magnetycznego, ale w zewnętrznym polu magnetycznym, które magnesuje jony paramagnetyczne, obserwuje się silne rozszczepienie spinowe pasm elektronowych. Takim „kanonicznym” stopem DMS jest  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ . Powłoki d manganu obsadzone są przez pięć elektronów i zgodnie z regułą Hunda charakteryzują się dużym spinem całkowitym  $S = 5/2$ . Przy niewielkich zawartościach Mn w stopie, powiedzmy dla  $x < 0,05$ , są to spiny paramagnetyczne, które mogą być namagnesowane zewnętrznym polem magnetycznym. Ponieważ wymienne sprzężenie sp–d między spinami elektronów przewodnictwa i jonów Mn jest silne, rozszczepienie spinowe pasm elektronowych jest na tyle duże, że nieliczne nośniki mogą obsadzać tylko jedno podpasmo spinowe. Innymi słowy, polaryzacja spinowa nośników w DMS może być stuprocentowa, czyli większa niż w metalach ferromagnetycznych, gdzie duża koncentracja elektronów powoduje, że obsadzone są oba pasma spinowe.

Ferromagnetyki, znane od niepamiętnych czasów, obecnie są wykorzystywane jako nośniki pamięci magnetycznych – taśmy i dyski magnetyczne lub magnetooptyczne stosowane są już od dawna. Również z ferromagnetycznych metali zbudowane są współczesne czytniki informacji magnetycznej wykorzystujące zjawisko gigantycznego magnetooporu (ang. giant magneto-resistance, GMR). Sam efekt jest ideowo prosty: polega na zmianie oporu dwuwarstwy metali ferromagnetycznych. W zależności od wzajemnej orientacji namagnesowania, a zatem i orientacji spinów elektronowych w warstwach, możliwy lub wzbroniony jest przepływ elektronów przez złącze. Pewną modyfikacją GMR jest tunelowy magnetoopór (ang. tunneling magneto-resistance, TMR). Mówimy o nim wówczas, gdy warstwy metaliczne oddzielone są cienką warstwą izolatora. Tunelowanie przez nią elektronów silnie zależy od polaryzacji spinowej po obu stronach bariery izolującej. Takie struktury są mikroskopowym, prostym i bardzo czułym czujnikiem pola magnetycznego. Ich prostota polega na tym, że pomiar oporu elektrycznego, czyli jeden z najprostszych pomiarów fizycznych, pozwala odczytać sposób namagnesowania pobliskiego elementu pamięci magnetycznej.

Odkrycie na przełomie lat 80. i 90. i zastosowanie GMR było pierwszym, ale bardzo spektakularnym sukcesem spintroniki. W kilka lat po nim cały światowy przemysł zaprzestał produkcji głowic elektromagnetycznych. Obecnie wszystkie sprzedawane głowice wykorzystują zjawisko GMR.

Nie umniejszając znaczenia GMR, należy jednak zaznaczyć, że trudno budować bardziej wymyślne struktury oparte wyłącznie o klasyczne ferromagnetyki. Mają one jedną wadę: znane ferromagnetyki są metalami lub izolatorami. Przyroda nie zna ferromagne-

tycznych półprzewodników, w każdym razie nie znających takich ferromagnetyków, których własności można byłoby istotnie zmieniać za pomocą napięć elektrycznych. Ta cecha jest atrybutem półprzewodników, gdzie przyłożenie do bramki napięcia równego ułamkowi wolta zasadniczo zmienia opór tranzystora.

Wykonano wiele prób skonstruowania tranzystora spinowego ze struktur ferromagnetyczny półprzewodnik–ferromagnetyk. W ferromagnetycznym metalu spiny elektronów przewodnictwa są silnie spolaryzowane, a własności półprzewodnika są podatne na przykładanie napięcia. Wydawało się więc, że będzie można uzależnić przepływ prądu przez takie struktury od wzajemnej orientacji namagnesowania warstw ferromagnetyka i napięcia przykładanego do półprzewodnika. Ten najbardziej naturalny pomysł był jednak niewypałem. Głównym powodem okazało się niedopasowanie oporów metalu i półprzewodnika. Ponieważ opór warstwy półprzewodnikowej decyduje o oporze całej struktury, opór całkowity okazał się zbyt mały czuły na polaryzację spinową. Od niej zależy opór złącza metal–półprzewodnik, ale nie opór całego elementu.

Bardziej skuteczne okazały się struktury zbudowane z różnych półprzewodników półmagnetycznych. Tutaj dopasowanie oporów jest lepsze i polaryzacja spinowa może być duża. Rzeczywiście udaje zbudować złącze, np.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}/\text{CdTe}$ , przez które do  $\text{CdTe}$  w zewnętrznym polu magnetycznym wstrzykiwane są elektrony o tylko jednej polaryzacji spinowej. Dowodzi tego na przykład pomiar foto- lub elektroluminescencji, w której znak polaryzacji kołowej zależy od polaryzacji spinowej rekombinujących nośników. Niestety, konieczność przykładania zewnętrznego pola magnetycznego znacznie ogranicza zastosowanie DMS. W szczególności opór struktury DMS–zwykły półprzewodnik–DMS nie może być przełączany, jak w elementach typu GMR i TMR, bo namagnesowanie DMS jest wymuszane zewnętrznym polem i nie może być łatwo przełączane.

Ten i wiele innych przykładów pokazują, że do rozwoju spintroniki, przynajmniej jej części opartej na momentach magnetycznych drobin magnetycznych, bardzo potrzebny jest półprzewodnikowy materiał ferromagnetyczny, taki, w którym moment magnetyczny mógłby być łatwo przełączany i jakoś sterowany przykładanymi napięciami elektrycznymi. Niestety, przyroda takiego materiału nie stworzyła, a więc jest to wyzwanie dla współczesnej technologii materiałowej.

## Półprzewodniki ferromagnetyczne

Liczba doniesień literaturowych o odkryciu półprzewodnika ferromagnetycznego jest ogromna [4]. Wiadomości takie publikują czasami nawet gazety codzienne. Trudność polega na odróżnieniu, czy badany materiał jest jednorodnym materiałem magnetycznym, czy też rejestrowane namagnesowanie pochodzi od małych wytrąceń materiałów magnetycznych

w niemagnetycznej objętości kryształu. Ponieważ z natury rzeczy do otrzymywania materiałów, które nie istnieją w przyrodzie, trzeba używać różnych, termodynamicznie nierównowagowych technik wzrostu, wytrącenia różnych faz są zjawiskiem naturalnym. Klasa jednorodnych półprzewodników ferromagnetycznych nie jest liczna. Należą do niej głównie stopy typu DMS, które dodatkowo mają dużą koncentrację nośników. W takich przypadkach nie tylko namagnesowanie lokalnych spinów, np. Mn, powoduje polaryzację spinową nośników (dziur bądź elektronów), ale również nośniki, gdy jest ich wystarczająco dużo, przez samo oddziaływanie sp–d mogą polaryzować spiny lokalne. Może więc dojść do dodatniego sprzężenia zwrotnego i pojawienia się porządku ferromagnetycznego. W grupie trójskładnikowych DMS opartej na półprzewodnikach II–VI mangan jest domieszką izoelektronową i do uzyskania nośników takie kryształy trzeba dodatkowo domieszkować donorami lub akceptorami. Trudno jest jednak robić to bardzo efektywnie. Uzyskuje się próbki ferromagnetyczne, ale ich temperatura krytyczna nie przekracza kilku kelwinów.

Dużo bardziej obiecujące jest domieszkowanie manganem GaAs. W tym przypadku domieszka Mn jednocześnie wnosi zarówno lokalny spin jonu  $\text{Mn}^{2+}$  ( $S = 5/2$ ), jak i dodatkową dziurę. Stopy  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$  stanowią ciągle najbardziej obiecujący półprzewodnik ferromagnetyczny. Nie otrzymano jeszcze próbek o temperaturze Curie wyższej od pokojowej, ale uzyskano już temperatury przekraczające 170 K, a prace ciągle trwają i nie widać granic fizycznych, które nie pozwalałyby uzyskać wyższej temperatury. Poszukuje się również innych materiałów, opartych na innych półprzewodnikach i różnych domieszkach magnetycznych. Stan badań sprzed dwóch lat i ówczesne perspektywy poszukiwań zostały omówione w artykule [2]. Do dziś sytuacja zmieniła się o tyle, że mniejsze szanse widzimy w otrzymaniu ferromagnetyka opartego na półprzewodnikach szeroko- przerwowych, np. typu GaN. Tam sprzężenie sp–d jest silniejsze i można było się spodziewać wyższej temperatury Curie, ale okazało się, że domieszka Mn w GaN ma inny charakter – nie uwalnia dziury do pasma walencyjnego, ale wiąże ją na stanie domieszkowym. Brak nośników uniemożliwia więc pojawienie się omówionego typu ferromagnetyzmu przenoszonego przez swobodne nośniki.

## Literatura

- [1] J. Barnaś, „Spin w elektronice”, *Postępy Fizyki* **53D**, 78 (2002).
- [2] T. Dietl, „Dlaczego półprzewodniki półmagnetyczne”, *Postępy Fizyki* **53D**, 14 (2002).
- [3] M. Horodecki, „Niezwykłe cechy informacji kwantowej”, *Postępy Fizyki* **53D**, 35 (2002).
- [4] D.D. Awschalom, M.E. Flatté, N. Samarth, „Spintronika”, *Świat Nauki*, sierpień 2002, s. 42.

Prof. ZBYSŁAW WILAMOWSKI zajmuje się fizyką półprzewodników, zwłaszcza ich własnościami spinowymi. Jego prace dotyczą m.in. własności centrów paramagnetycznych w półprzewodnikach, korelacji w przestrzennym rozkładzie takich centrów, oddziaływania spinów lokalnych z elektronami przewodnictwa, własności dwuwymiarowych struktur półprzewodnik-antyferromagnetyk oraz własności spinowych dwuwymiarowego gazu elektronowego. Ostatnio przy użyciu rezonansów magnetycznych bada półprzewodniki ferromagnetyczne. Kieruje dużym projektem zamawianym KBN „Elektronika spinowa”. Mazur z pochodzenia i z charakteru, poza fizyką lubi wszystko, co można znaleźć na Mazurach: jezioro, las, ziemię. Tam też ucieka, jak tylko czas i pogoda pozwalają.



## LISTY DO REDAKCJI

### Wykładowcy PTF

W roku 1995 ukazała się w *Postęпах Fizyki* informacja o powołaniu Wykładowców Polskiego Towarzystwa Fizycznego (S. Hoffmann, *Postępy Fizyki* **46**, 405 (1995)). W historii PTF stanowiło to pewne novum. Akcja była wzorowana na praktyce powszechnej od dawna w zachodnich zrzeszeniach fizyków. Zadaniem Wykładowców PTF było przybliżenie tendencji rozwojowych w wybranych działach fizyki szerokiemu gronu osób zainteresowanych.

Inicjatorem, animatorem i gorącym orędownikiem tej formy działania PTF był prof. Stanisław Hoffmann z Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu, wiceprezes PTF w owym czasie. Na łamach *Postępów* tak o tym pisał: „Polskie Towarzystwo Fizyczne kierując się chęcią ułatwienia popularyzacji najnowszych osiągnięć wiedzy oraz ułatwienia organizowania spotkań naukowych z wybitnymi przedstawicielami polskiej fizyki, powołało z początkiem bieżącego roku Wykładowców PTF. Wykładowcy mianowani są na dwa lata. W tym okresie mogą być zapraszani w pierwszej kolejności przez Oddziały PTF, ale również przez inne towarzystwa lub organizacje do wygłaszania wykładów z proponowanej listy tematów”.

Tę zaszczytną, prestiżową funkcję ówczesny prezes PTF, prof. Henryk Szymczak z Instytutu Fizyki PAN w Warszawie, powierzył na okres dwóch lat (1995–96) pięciu osobom. Wyłoniono je w drodze konkursu z ok. 30-osobowej grupy kandydatów zgłoszonych przez zarządy oddziałów PTF. Byli to profesorowie: Maria Giller, Andrzej Hryniewicz, Jerzy Langer, Wojciech Nawrociak

i autor tego listu (tytuły i streszczenia oferowanych wykładów można znaleźć we wspomnianej notatce w *Postępie*). W roku 1997 następnym prezes, profesor Politechniki Warszawskiej Ireneusz Strzałkowski, przedłużył okres działania tego gremium na kolejną kadencję.

Niestety, na niej zakończyła się ta ciekawa inicjatywa prof. Hoffmanna. Wstrzymanie przez KBN dotacji – naprawdę niewielkiej – spowodowało zaniechanie kontynuowania tej pożytecznej działalności w następnych latach. Mimo deklaracji zgłaszanych przez kolejne Zarządy Główne PTF nie zdołano jej dotąd wznowić. Niestety, akcja okazała się więc efemerydą. A szkoda, bo było to wyjątkowo pożyteczne działanie. Poczynania owej pierwszej grupy nie doczekały się oficjalnego podsumowania i omówienia efektów działalności, choć wykłady cieszyły się dużym zainteresowaniem i Wykładowcy z trudem tylko mogli zadośćuczynić wszystkim zaproszeniom.

W ramach tej formy działania wygłoszono co najmniej 100 wykładów. Odbyły się one we wszystkich Oddziałach PTF, w różnych – krajowych i zagranicznych – ośrodkach naukowych, ale także dla szerszej publiczności. Szacując bardzo ostrożnie, wysłuchało ich 5–8 tys. osób, przy czym bardziej miarodajna jest chyba ta druga liczba. Wysłuchało ich również sporo uczniów szkół licealnych. Zainteresowane wprowadzeniem tego rodzaju działalności były inne stowarzyszenia naukowe (Polskie Towarzystwo Geograficzne, Polskie Towarzystwo Biologiczne). Cóż, skoro jednak nie powiodło się to fizykom, nawet nie spróbowały podjąć podobnych działań...

Henryk Wrembel  
Bydgoszcz

# Fizyka i topologia\*

Bogusław Broda

Katedra Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Łódzki

## Physics and topology

**Abstract:** A short overview of connections between physics and topology is given: the Gordian knot, Gauss linking number, vortex theory of atom, Dirac monopole, Aharonov–Bohm effect, Yang–Mills and topological field theory.

W niniejszym artykule zwięźle opisujemy pewne związki między fizyką a topologią. Topologia to ważny dział matematyki badający te własności przestrzeni, które zachowują się przy ich deformacjach. Ścisłej, interesować się będziemy topologią rozmaitości, czyli takich przestrzeni, które intuicyjnie odpowiadają przestrzeni w rozumieniu fizycznym. Innymi słowy, jeżeli zapomnimy o własnościach metrycznych przestrzeni (odległość), to pozostaje nam topologia.



Rys. 1. Kilka przykładów nietrywialnych węzłów (trywialny jest na rys. 4). Zgodnie z teorią lorda Kelvina z połowy XIX w., przypisującą różnym pierwiastkom różne węzły, jest to odpowiednik tablicy Mendelejewa.

Wydaje się, że pierwszymi nietrywialnymi obiektami topologicznymi, które mogły interesować już starożytnych, były węzły, czyli pętle niedające się rozplątać bez rozcięcia (rys. 1). Symbolem tego zainteresowania jest słynna zagadka starożytności – węzeł gordyjski [1]. Z tego, co wiemy na temat węzła gordyjskiego (a wiemy niewiele i są to trochę sprzeczne informacje), węzeł ten nie miał widocznych końców, co sugeruje, że były one ze sobą połączone, a całość była bardzo ściśle zaciśnięta. Legenda głosiła, że ten, kto węzeł rozwiąże, będzie władał Azją, ale przez długie lata nikomu się to nie udawało. Dopiero Aleksander Wielki w 333 r. p.n.e. rozwiązał problem (nie węzeł!), przecinając węzeł mieczem. To bardzo kontrowersyjne i radykalne rozwiązanie było najwyraźniej prawidłowe, bo przepowiednia się ziściła. Do kwestii węzła gordyjskiego jeszcze powrócimy pod koniec artykułu (będzie akcent polski!).

Wykonujemy teraz długi skok przez stulecia (ostatecznie w topologii długość się nie liczy) do czasów fizyki nowożytnej. Tu napotykamy pierwszy wyraźny ślad naukowej teorii węzłów i splotów (więcej niż jedna pętla to już nie węzeł, a splot) w elektrodynamice klasycznej. Okazuje się [2], że z dobrze znanego prawa Ampère'a

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = mI,$$

gdzie  $\mathbf{H}$  jest natężeniem pola magnetycznego, a  $I$  – natężeniem prądu przebiegającego powierzchnią<sup>1</sup> rozpiętą na pętli  $C$ , można „wyciągnąć” pewną informację topologiczną zakodowaną w liczbie  $m$ , zwanej w tym kontekście liczbą Gaussa. Tutaj natężenie  $\mathbf{H}$  wytwarzane jest przez prąd płynący w drugiej pętli ( $C'$ , rys. 2) i możemy je wyznaczyć z prawa Biota–Savarta.

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku (wrzesień 2003) w sekcji Fizyka matematyczna.

<sup>1</sup> Na dowolnej pętli, również zawężonej, można rozpiąć powierzchnię bez samoprzecięć – nie jest to wcale oczywiste, ale jak pokazał konstrukcyjnie Seifert, możliwe.





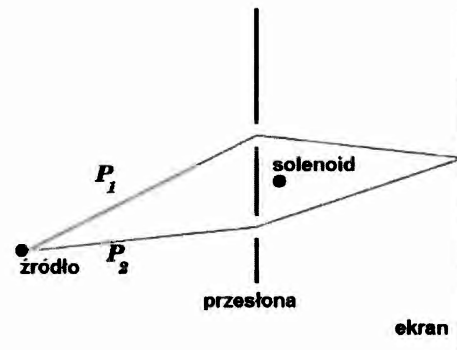
Rys. 2. Splot Hopfa, dla którego  $|m| = 1$ . Jeden z okręgów to  $C$ , a drugi  $C'$ .

Pierwszą „poważną” teorią fizyczną, aspirującą do opisu struktury materii w skali atomowej i odnoszącą się do topologii (teorii węzłów) w całej jej głębi, była wirowa teoria atomu lorda Kelvina ( Williama Thomsona). W 1867 r. przedłożył on niezwykle śmiałą hipotezę, według której atomy miały być węzłami utworzonymi z wirowych rurek eteru. Inspiracją dla tego pomysłu była seria wykładów przeprowadzonych przez jego kolegę, P.G. Taita (późniejszego badacza i „systematyka” węzłów), na temat pracy Helmholtza o wodnych wirach. Wykłady wzbogacone były o pokazy, na których demonstrował on stosunkowo dużą stabilność wirów dymu. Możemy sobie wyobrazić kółka dymu papierosowego puszczane przez palacza – są one stosunkowo trwałe, trudno je przeciąć nożyczkami, odbijają się sprężyste i wibrują. Historia wirowej teorii atomu Kelvina została barwnie (również dosłownie) opisana przez J. Lomonaco [3]. Natomiast słynny matematyk, laureat Medalu Fieldsa („matematycznego Nobla”<sup>2</sup>), sir Michael F. Atiyah (niestroniący, wbrew „dobrej tradycji” matematycznej, od problemów fizycznych) zauważa [4], że teoria Kelvina wyjaśnia zarówno trwałość atomu, jak i różnorodność występujących w przyrodzie pierwiastków. Mimo swego niepodważalnego piękna, teoria ta musiała jednak w końcu odejść do lamusa. Jak się wydaje, jej idee odżyły na nowo w pracy [5].

Trwały powrót idei topologicznych (a zwłaszcza geometrycznych) do fizyki można wiązać z powstaniem w 1915 r. ogólnej teorii względności Alberta Einsteina (w przyszłym roku będziemy świętować Światowy Rok Fizyki, symbolicznie związany z jego największymi osiągnięciami), a w szczególności z takimi pojęciami, jak horyzont zdarzeń i osobliwości (czasoprzestrzeni). Jednak najbardziej spektakularnym wydarzeniem okazała się późniejsza praca P.A.M. Diraca z 1931 r. [2], w której – wykorzystując elementarne, acz subtelne rozważania topologiczne oraz kwantowe – dokonał on „kwantyzacji” ładunku elektrycznego i magnetycznego. Z pracy tej wynika, że w przyrodzie mogą występować tylko takie ładunki elektryczne  $q$  i magnetyczne  $g$  (trywialne jest stwierdzenie, że ładunki ma-

gnetyczne z  $g = 0$  „istnieją”), których iloczyn jest zawsze równy jakiejś liczbie całkowitej. Stąd, w szczególności, odkrycie monopola magnetycznego ( $g \neq 0$ ) implikowałoby obserwowaną, ale jak dotąd niewyjaśnioną kwantyzację ładunku elektrycznego.

Do pewnego stopnia pokrewne zagadnienie dotyczy (magnetycznego) zjawiska Aharonova–Bohmy [2], które polega na tym, że na ekranie (rys. 3) obserwujemy przesunięcie obrazu interferencyjnego elektronów, gdy przez solenoid przepuścimy prąd. Z czysto klasycznego punktu widzenia nie jest to zrozumiałe, gdyż solenoid ma tę własność, że pole magnetyczne na zewnątrz solenoidu jest zawsze zerowe. Interferujące elektrony z wiązek  $P_1$  oraz  $P_2$  reagują jednak na pole, chociaż tam, gdzie się znajdują, właściwie go nie ma. Wniosek wypływający z tej lekcji jest taki, że sens fizyczny ma nie tylko pole elektromagnetyczne, ale również potencjał tego pola (w tym przypadku nietrywialny), któremu do tej pory przypisywano jedynie pomocnicze znaczenie matematyczne.



Rys. 3. Schemat „eksperymentu” Aharonova–Bohmy

W latach pięćdziesiątych XX w. Yang i Mills uogólnili elektrodynamikę, która sama jest teorią swobodną, na teorię z nieabelową grupą cechowania, zwane teoriami Yanga–Millsa. Zapoczątkowało to najnowszy kierunek rozwoju topologii i części fizyki [2]. W latach 70. znaleziono wiele interesujących i ważnych (również dla dalszego rozwoju topologii) rozwiązań równań Yanga–Millsa, w tym słynne instantony oraz nowy typ monopoli. Jednak prawdziwy renesans idei topologicznych w fizyce to przełom lat 80. i 90., a „pierwsze skrzypce” w tej dziedzinie przejął Edward Witten z Princeton (też laureat Medalu Fieldsa). Zaproponował on kilka wielce egzotycznych modeli kwantowej teorii pola (tzw. topologiczną teorię pola), które w przeciwieństwie do „normalnych” teorii, jak elektrodynamika bądź chromodynamika, nie opisują oddziaływań między cząstkami, lecz topologią. W szczególności wzmiankowane liczby Gaussa można otrzymać, kwantując (abelową) teorię Cherna–Simonsa, która jest teorią z grupą cechowania, tak jak elektrodyna-

<sup>2</sup> Pojawiła się niedawno konkurencja dla Medalu Fieldsa w postaci norweskiej Nagrody Abela.

mika, ale różni się od niej m.in. tym, że otrzymujemy w jej ramach równania różniczkowe pierwszego, a nie drugiego rzędu. Stopniowo staliśmy się świadkami osobliwego zjawiska stosowania fizyki do matematyki (topologii), a nie, jak to zwykle bywa, matematyki do fizyki. Uwieńczeniem tego okresu jest równanie Seiberga–Wittena, upraszczające stworzoną wcześniej przez matematyków (m.in. przez „fieldsowca” Donaldsona) teorię rozmaitości najbardziej skomplikowanych, czterowymiarowych (tajemnicza i zarazem uderzająca jest zbieżność z czterowymiarowością naszej czasoprzestrzeni).

Jako fizycy musimy w końcu postawić pytanie, czy to, o czym mówiliśmy, to w znacznej mierze igraszki matematyczne, czy też mamy na uwadze jakieś zastosowania fizyczne. Poza już wzmiankowanymi można wymienić: 1) w teorii cząstek i pól – rozwiązywalne modele teorii pola, kwantową grawitację, w trzech wymiarach generację masy bez „boskiej” cząstki Higgsa; 2) w fizyce fazy skondensowanej – badanie i opis struktur topologicznych (hel, ciekłe kryształy), zjawisko Halla i nadprzewodnictwo z udziałem anyonów (egzotycznych cząstek o ułamkowych statystykach), komputery kwantowe. Oczywiście mamy również bardzo bezpośrednie zastosowania topologii, np. do mocowania lin (teoria „zaciśnięć”).

Kilka lat temu dwóch polskich naukowców zaproponowało rozwiązanie zagadki węzła gordyjskiego [6]. Otóż węzeł ów mógł zostać utworzony przez odpowiednie splątanie węzła trywialnego (rys. 4) w ten sposób, że został on „sprytnie” zaciśnięty (zaczepiony) na sobie, a następnie materiał, z którego został wykonany, skurczył się dzięki zastosowaniu odpowiedniej techniki. To trochę tak, jakby najpierw linię zakończoną haczy-



Rys. 4. Węzeł trywialny, z którego, jak się wydaje, można po bardzo nietrywialnym splątaniu i skróceniu utworzyć węzeł gordyjski

kiem zaczepić na pętelce, a następnie linię naciągnąć — niby można haczyk odzepić (nie ma przeszkód topologicznych), ale lina jest za krótka i brak jest wystarczającej swobody, żeby ją wyjąć z pętelki.

Kopie folii do wygłoszonego referatu znajdują się na serwerze Oddziału Łódzkiego PTF: [www.fic.uni.lodz.pl/ptf/](http://www.fic.uni.lodz.pl/ptf/) (dział „Działalność popularyzatorska”, punkt „Referat ze zjazdu”).

## Literatura

- [1] Na przykład *Encyclopædia Britannica*: [www.britannica.com/](http://www.britannica.com/).
- [2] C. Nash, „Topology and physics – a historical essay”, w: *History of Topology*, red. I.M. James (North-Holland, 1999); <http://arxiv.org/abs/hep-th/9709135>.
- [3] S.J. Lomonaco Jr., „The modern legacies of Thomson’s atomic vortex theory in classical electrodynamics”, w: *The Interface of Knots and Physics*, red. L.H. Kauffman, AMS t. 51 (Providence, RI, 1996), s. 145; <http://www.csee.umbc.edu/~lomonaco/>.
- [4] M.F. Atiyah, *Rev. Mod. Phys.* **67**, 977 (1995).
- [5] Z. Waś, *Phys. Lett.* **B416**, 369 (1998); <http://arxiv.org/abs/hep-th/9707116>.
- [6] P. Pierański, A. Stasiak, „Nie-węzły gordyjskie”, *Świat Nauki*, luty 2001; <http://fizyka.phys.put.poznan.pl/~pieransk/GordianUnknots.html>.



Dr hab. BOGUSŁAW BRODA jest fizykiem-teoretykiem pracującym na stanowisku profesora nadzwyczajnego na Uniwersytecie Łódzkim. Jego zainteresowania obejmują ogólną teorię względności, kwantową teorię pola, a w ciągu ostatnich kilku lat tzw. topologiczną teorię pola – fascynujący odłam kwantowej teorii pola propagowany przez Edwarda Wittena, ukierunkowany nie na opis cząstek elementarnych i ich oddziaływań, ale na badanie topologii rozmaitości.

# Obrazowanie MR przy użyciu spolaryzowanego $^3\text{He}$ – jak chcemy badać szczurze płuca w Krakowie\*

Katarzyna Cieślak, Tomasz Dohnalik

*Institut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego, Uniwersytet Jagielloński*

## NMR imaging of lungs with polarized $^3\text{He}$

*Abstract:* Magnetic resonance imaging (MRI) with hyperpolarized  $^3\text{He}$  is a new method of studying structure and function of lungs. We present a novel low field MRI system based on permanent magnet and the  $^3\text{He}$  polarizing unit being built in Kraków. Our system is designed to perform experiments on small animals (rats).

## Wstęp

W przypadku nowo powstających metod diagnostycznych zawsze można zadać podstawowe pytanie: czy naprawdę ich potrzebujemy? Obecnie w diagnostyce płuc stosuje się metody rentgenowskie, mają one jednak pewne podstawowe ograniczenia w zakresie różnicowania tkanek miękkich oraz wiążą się z pochłanianiem dawki szkodliwego promieniowania. Około dwóch milionów Polaków choruje na tzw. przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (COPD, ang. chronic obstructive pulmonary disease), a w wyniku samej choroby i bezpośrednich jej powikłań umiera rocznie kilkanaście tysięcy osób. W związku z tym problem precyzyjnej i wczesnej diagnostyki jest naprawdę istotny. W latach dziewięćdziesiątych zaproponowano nową metodę diagnostyczną, wykorzystującą zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego (MRJ) do obrazowania wnętrza płuc wypełnionych hiperspolaryzowanym helem-3. Jej opracowanie wymagało współpracy specjalistów z kilku dziedzin: fizyków atomowych, specjalistów od obrazowania za pomocą MRJ oraz lekarzy. Potrzeba taka istnieje z tego względu, iż procedura diagnostyczna składa się z trzech etapów: przygotowania  $^3\text{He}$ , otrzymania obrazu płuc oraz jego interpretacji.

## Metoda MRJ

Metoda magnetycznego rezonansu jądrowego pozwala na otrzymywanie map gęstości jąder wodoru lub innych pierwiastków ( $^{23}\text{Na}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ), których jądra mają niezerowy moment magnetyczny.

Zasada MRJ jest następująca. Po umieszczeniu

próbki, zawierającej jądra rezonansowe, w silnym zewnętrznym polu magnetycznym następuje rozszczepienie zeemanowskie podpoziomów jądrowych. Zgodnie z rozkładem Boltzmana stosunek wartości obsadzeń tych poziomów  $n_{\downarrow}/n_{\uparrow}$  wynosi  $\exp(-\Delta E/k_{\text{B}}T)$ , gdzie  $n_{\downarrow}$  oraz  $n_{\uparrow}$  oznaczają odpowiednio obsadzenia podpoziomów o liczbach kwantowych  $m_F = -1/2$  oraz  $m_F = +1/2$ . Stosunek różnicy obsadzeń do ich sumy  $P = (n_{\uparrow} - n_{\downarrow})/(n_{\uparrow} + n_{\downarrow})$  nazywa się stopniem polaryzacji; jest on miarą wypadkowego momentu magnetycznego próbki. W opisie makroskopowym wektorowy moment magnetyczny jednostki objętości nazywa się namagnesowaniem ( $M$ ).

Dla pól o indukcji rzędu 1 T oraz temperatury pokojowej stopień polaryzacji wynosi zaledwie ok.  $10^{-6}$ . Mimo to dla gęstych próbek (np. tkanki miękkiej) uzyskane namagnesowanie jąder wodoru wystarcza do obserwacji zjawiska MRJ. Dla obszarów o małej gęstości, np. płuc, średnie namagnesowanie jest zbyt małe dla detekcji sygnału. Jeśli jednak płuca wypełnimy gazem hiperspolaryzowanym ( $P \approx 1$ ), to sygnał jest łatwy do zarejestrowania.

W czasie pomiaru próbkę umieszcza się w magnesie wewnątrz cewki nadawczo-odbiorczej. Eksperyment rozpoczyna się od podania impulsu elektromagnetycznego rf o częstotliwości rezonansowej dopasowanej do różnicy jądrowych poziomów energetycznych:  $\omega = \gamma B_0$ , gdzie  $\gamma$  jest współczynnikiem giromagnetycznym, charakterystycznym dla danego jądra, a  $B_0$  – indukcją zewnętrznego pola magnetycznego. Podanie impulsu o częstotliwości rezonansowej powoduje obrót wektora na-

\*Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku (wrzesień 2003) w sekcji Fizyka atomowa, molekularna i optyka.

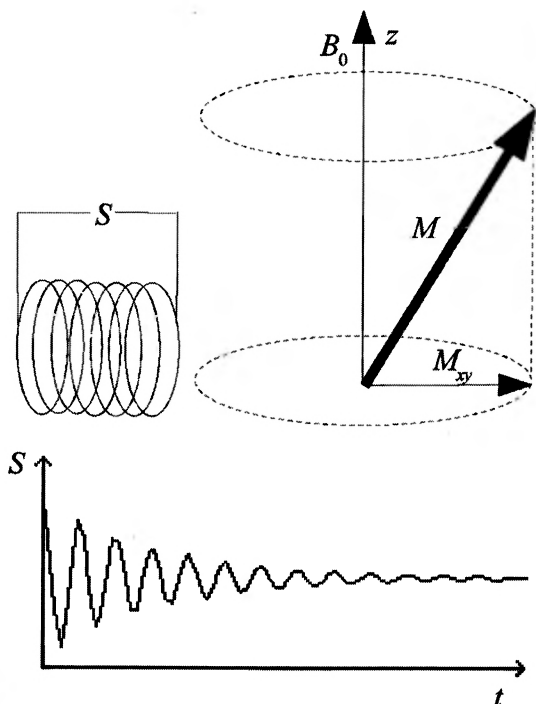
magnesowania  $M$  o pewien kąt względem kierunku zewnętrznego pola magnetycznego  $B_0$ . Wektor  $M$  zaczyna wykonywać precesję w tym polu, a jego składowa poprzeczna ( $M_{xy}$ ) indukuje w cewce odbiorczej zmienny sygnał, zwany sygnałem swobodnej precesji (rys. 1). Sygnał ten zanika po pewnym czasie, a na-

magnesowanie wraca do początkowej wartości równowagowej. Amplituda i czas zaniku sygnału niosą informacje o gęstości jąder rezonansowych i ich otoczeniu chemicznym.

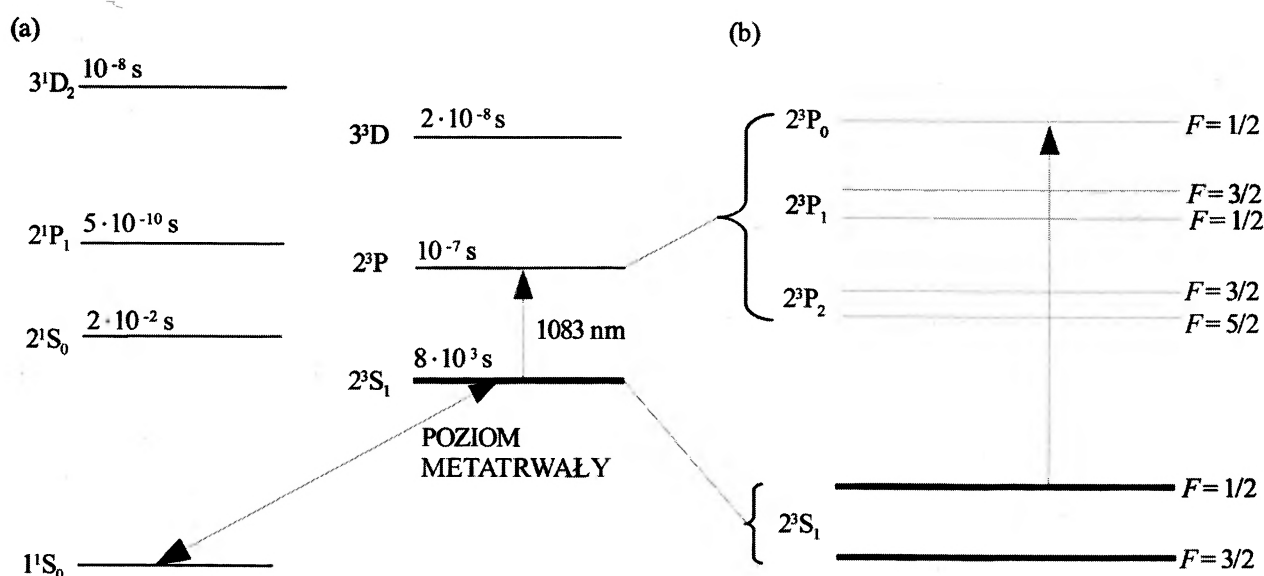
### Otrzymywanie hiperspolaryzowanego $^3\text{He}$

Aby otrzymać obraz płuc przy użyciu MRJ, konieczne jest uzyskanie spolaryzowanego jądro  $^3\text{He}$  [1]. Hiperpolaryzację uzyskuje się w procesie pompowania optycznego z wymianą metatrwałości [2].

W pierwszej fazie pompowania następuje przeniesienie atomów ze stanu podstawowego  $1^1\text{S}_0$  do stanu metatrwałego  $2^3\text{S}_1$  (rys. 2). Ponieważ przejście to jest optycznie wzbronione, dokonuje się tego przy użyciu wyładowania o częstotliwości radiowej (rf). Ze względu na to, że jądro  $^3\text{He}$  ma niezerowy spin  $I = 1/2$ , na schemacie energetycznym przedstawiono także strukturę nadsubtelną. W procesie pompowania optycznego zwykle wykorzystuje się przejście z poziomu  $2^3\text{S}_1$  ( $F = 1/2$ ) na poziom  $2^3\text{P}_0$  ( $F = 1/2$ ). W słabym zewnętrznym polu magnetycznym następuje rozszczepienie zeemanskie podpoziomów. Komórkę z gazem, w którym zachodzi wyładowanie rf, oświetlamy spolaryzowanym kołowo ( $\sigma^+$ ) światłem o długości fali  $\lambda = 1083$  nm. W ten sposób indukujemy przejście z podpoziomu o  $m_F = -1/2$  na podpoziom o  $m_F = +1/2$  (rys. 3). Po wzbudzeniu następuje spontaniczna reemisja do obydwu podpoziomów metatrwałego poziomu  $2^3\text{S}_1$ . W wyniku otrzymujemy zwiększenie obsadzenia podpoziomu  $2^3\text{S}_1$  o  $m_F = +1/2$ , co dzięki sprzężeniu nadsubtelnemu jest równoznaczne z polaryzacją całkowitego spinu atomu: powłoki elektronowej wraz z jądrem.

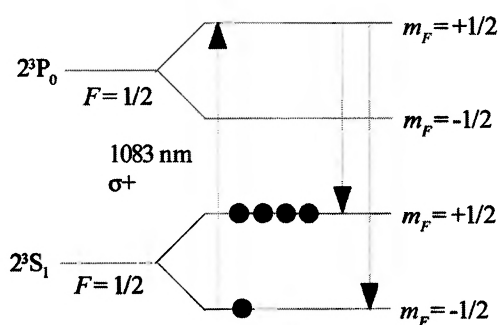


Rys. 1. Detekcja sygnału swobodnej precesji (ang. free induction decay, FID)



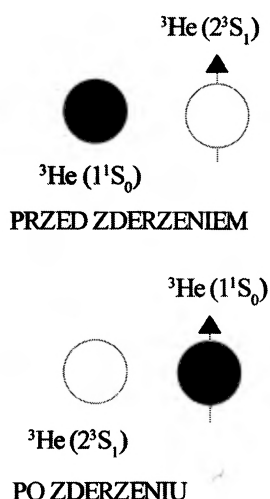
Rys. 2. Schemat energetyczny atomu helu: a) bez uwzględnienia spinu jądra ( $^4\text{He}$ ), b) z uwzględnieniem spinu jądra  $I = 1/2$  ( $^3\text{He}$ ). Nad poziomami podano ich czasy życia.





Rys. 3. Pompowanie optyczne

Aby móc wykorzystywać  $^3\text{He}$  w procesie obrazowania MR, konieczne jest uzyskanie polaryzacji jądrowej atomu w stanie podstawowym. Następuje to w procesie tzw. zderzenia z wymianą metatrwałości (rys. 4): atom spolaryzowany w stanie metatrwałym

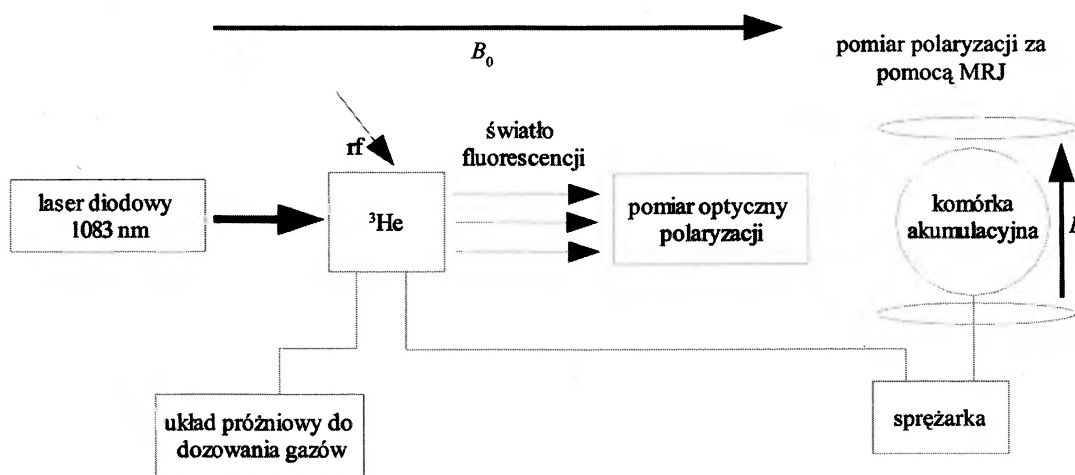


Rys. 4. Zderzenie z wymianą metatrwałości

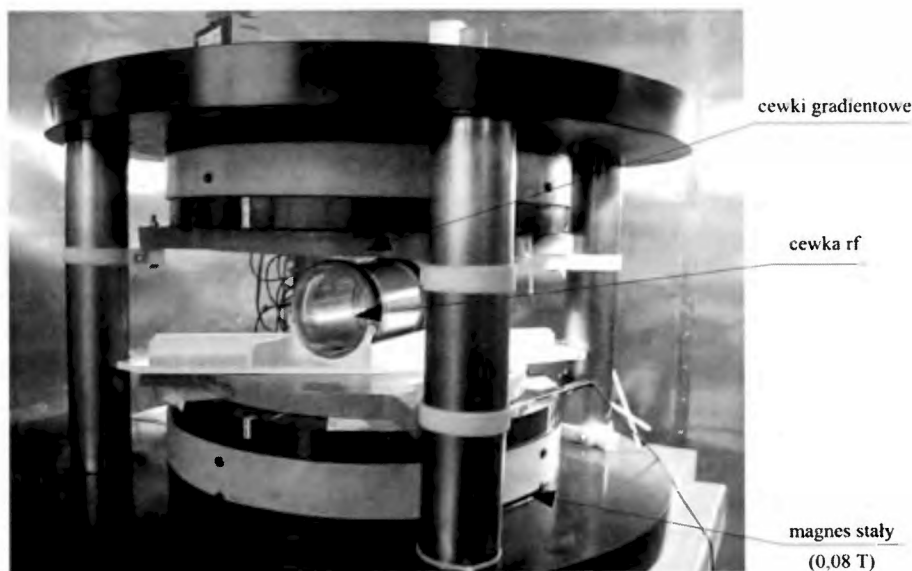
$2^3\text{S}_1$  zderza się z atomem niespolaryzowanym w stanie podstawowym  $1^1\text{S}_0$ . W wyniku zderzenia otrzymujemy atom spolaryzowany jądrowo w stanie podstawowym  $1^1\text{S}_0$  ( $F = 1/2, m_F = +1/2$ ) i atom niespolaryzowany w stanie metatrwałym  $2^3\text{S}_1$ , który ponownie może być polaryzowany optycznie. Komórkę z gazem (pod ciśnieniem rzędu 1 Tr) umieszcza się w czasie pompowania w słabym polu magnetycznym i oświetla wiązką światła rezonansowego z lasera diodowego o długości fali 1083 nm (rys. 5). Sprężony, spolaryzowany gaz magazynuje się w komórce akumulacyjnej, skąd może być pobierany do dalszych badań. Stopień polaryzacji  $^3\text{He}$  w komórce z wyładowaniem rf można mierzyć wyłącznie optycznie, a w komórce akumulacyjnej tylko za pomocą MRJ.

## Obrazowanie

W celu otrzymania obrazu MR konieczne jest rozróżnienie sygnałów pochodzących z różnych części obiektu. Dokonuje się tego przez zróżnicowanie indukcji pola magnetycznego w obrębie próbki. W tym celu umieszcza się wewnątrz magnesu cewki gradientowe (rys. 6), wytwarzające niezależnie trzy gradienty głównego pola magnetycznego  $B_0$  w trzech ortogonalnych kierunkach. Zróżnicowanie przestrzenne indukcji pola magnetycznego powoduje zróżnicowanie częstości rezonansowej zgodnie ze wzorem  $\omega = \gamma(B_0 + G_{z\alpha}r_\alpha)$ , gdzie  $\alpha$  oznacza jeden z trzech ortogonalnych kierunków  $x, y, z$ ,  $G_{z\alpha} = dB_z/d\alpha$  – gradient składowej  $B_z$  indukcji pola magnetycznego w kierunku  $\alpha$ , a  $r_\alpha$  – odległość w kierunku  $x, y$  lub  $z$  mierzona względem środka układu cewek gradientowych. Rejestrowany sygnał swobodnej precesji zawiera wówczas składowe o różnych częstościach. Po wykonaniu transformaty Fouriera sygnału możliwe jest określenie amplitud składowych o poszczególnych częstościach, a więc pochodzących z różnych obszarów próbki. W ten sposób powstaje mapa sygnału, czyli obraz.



Rys. 5. Schemat układu do polaryzacji  $^3\text{He}$

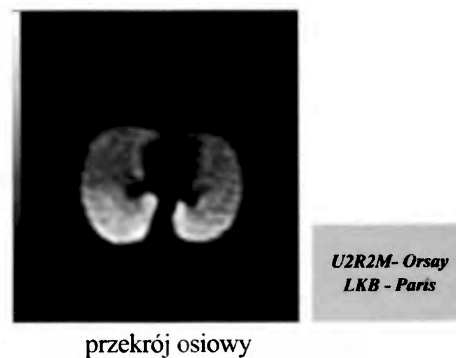


Rys. 6. Układ do obrazowania MR z magnesem stałym

W przypadku obrazowania przy użyciu  $^3\text{He}$  należy pamiętać, że polaryzacja wytworzona metodami optycznymi nie jest polaryzacją równowagową (namagnesowanie nie wraca po wzbudzeniu do wartości równowagowej). Czas depolaryzacji jest jednak tak długi (wewnątrz płuc wynosi ok. 40 s w polu o indukcji 0,1 T [3]), że możliwe jest otrzymanie obrazu płuc. W naszej pracowni uzyskaliśmy już  $^3\text{He}$  o stopniu polaryzacji ok. 10%. Szczury będziemy badali z uwagi na odpowiedni rozmiar tych zwierząt (obszar roboczy magnesu to sfera o promieniu 5 cm). Przykładowe obrazy płuc szczura i człowieka przedstawione są na rys. 7 i 8.



Rys. 7. Obraz płuc szczura (80 mm × 80 mm). Dzięki uprzejmości Yannicka Crémillieux i Vasilii Stupara (Laboratoire de RMN, Lyon, Francja).



Rys. 8. Obraz płuc człowieka (40 cm × 40 cm) wykonany przy użyciu zaledwie 30 cm<sup>3</sup> helu-3 o polaryzacji około 10%. Dzięki uprzejmości Laboratoire Kastler Brossel, Paris, Francja.

### Podsumowanie

Metoda obrazowania płuc za pomocą magnetycznego rezonansu jądrowego z użyciem hiperspolaryzowanego  $^3\text{He}$  niesie ze sobą nowe możliwości diagno-

styczne. Otrzymywane przy jej użyciu obrazy płuc są dokładne i pozwalają na wczesne wykrycie zmian chorobowych [4]. Aby obniżyć koszty budowy tomografu MRJ, korzystne wydaje się podjęcie prób obrazowania w słabym polu magnesu trwałego. Może mieć to wpływ na plany konstrukcyjne przyszłych tomografów do obrazowania płuc. W przypadku obrazowania z użyciem  $^3\text{He}$ , gdzie polaryzacja uzyskiwana jest metodami optycznymi, nie ma bowiem potrzeby stosowania silnych pól magnetycznych.

Użycie spolaryzowanego  $^3\text{He}$  pozwala na otrzymywanie zarówno obrazów statycznych płuc, niosących informacje strukturalne, jak i obrazów dynamicznych, ukazujących przebieg procesu oddychania [5]. Daje to możliwość wykrycia zaburzeń rozprzestrzeniania się gazu w płucach, pozwala też uwidocznienie obszarów zmienione chorobowo, do których gaz nie dociera. Cie-

kawym problemem jest również zachowanie się spolaryzowanego  $^3\text{He}$  w kontakcie z paramagnetycznym tlenem wewnątrz płuc. Szybkość utraty polaryzacji niesie w tym wypadku informację o lokalnym ciśnieniu cząstkowym tlenu, a więc również o tym, jak dotleniony jest określony obszar płuc. Aby badać przemieszczanie się gazu wewnątrz dróg oddechowych, wykonuje się również tzw. mapy dyfuzji, na których uwidocznione są różnice w szybkości przepływu spolaryzowanego  $^3\text{He}$  w różnych obszarach płuc.

## Literatura

- [1] S. Appelt i in., *Phys. Rev. A* **58**, 1412 (1998).
- [2] P.J. Nacher, M. Leduc, *J. Physique* **46**, 2057 (1985).
- [3] E. Durand i in., *Magn. Reson. Med.* **47**, 75 (2002).
- [4] H.E. Möller i in., *Magn. Reson. Med.* **47**, 1029 (2002).
- [5] E.W. Otten, *Europhys. News* **35**, 16 (2004).

KATARZYNA CIEŚLAR jest absolwentką fizyki UJ. Jej praca dyplomowa dotyczyła szybkiej metody obrazowania MR: „turbo-flash”. Obecnie jest słuchaczką studiów doktoranckich i zajmuje się zastosowaniem magnetycznego rezonansu do obrazowania płuc przy użyciu hiperspolaryzowanego  $^3\text{He}$ . Jest też redaktorką *Fotonu*. W opinii jej przełożonych jest wybitnie zdolna i pracowita, powszechnie lubiana, akceptowana błyskawicznie w każdym zespole.

Prof. TOMASZ DOHNALIK, członek-korespondent PAU, wieloletni kierownik Zakładu Optyki Atomowej, a obecnie dyrektor Instytutu Fizyki UJ. Pomysłodawca i współzałożyciel Krajowego Laboratorium FAMO w Toruniu, którego Radzie Naukowej przewodniczy. Prowadził badania nad pompowaniem optycznym, dudnieniami kwantowymi, spektroskopią fali zanikającej, a także optyką w domenie czasowej. Obecnie pracuje nad użyciem fali zanikającej do pułapkowania zimnych atomów i zastosowaniem hiperspolaryzowanych gazów szlachetnych do obrazowania płuc (wspólnie z zespołem z Laboratorium Kastlera–Brossela w ENS w Paryżu). Kierując grupą krakowską, realizuje ten temat w ramach projektu 5. PR o akronimie PHIL. Cieszy go liczne grono bardzo utalentowanych współpracowników, którym może przekazać swoje doświadczenia.

Stały trzon zespołu, który zbudował niskopolowy skaner magnetycznego rezonansu z magnesem stałym 0,08 T. Od lewej: mgr Kasia Cieślak (autorka artykułu, doktorantka), mgr Kasia Suchanek (doktorantka), dr Tadeusz Pałasz (st. asystent), mgr Mateusz Suchanek (doktorant), dr Zbigniew Olejniczak (adiunkt w IFJ), prof. Tomasz Dohnalik (autor artykułu).



## Andrzej Zieliński (1938–2003)

29 kwietnia 2003 r. zmarł przedwcześnie (w wieku 65 lat) prof. dr hab. Andrzej Zieliński, członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego (Oddział Gdański).

Andrzej Zieliński studiował na UMK w Toruniu, gdzie uzyskał tytuł magistra fizyki w 1961 r. Doktoryzował się na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Gdańskiej w zakresie prac teoretycznych związanych z wysokotemperaturowym spalaniem. W roku 1978 uzyskał stopień doktora habilitowanego na UMK za prace teoretyczne dotyczące działania przepływowych laserów CO<sub>2</sub> dużej mocy. Laser taki został następnie zaprojektowany i wykonany przez zespół z Pracowni Laserów Przepływowych Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku; Andrzej Zieliński wówczas pracował w tym zespole. Za prace te został wyróżniony dwiema nagrodami zespołowymi Sekretarza Naukowego PAN (1971, 1977).



Andrzej Zieliński

W roku 1980 rozpoczął pracę w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie. Przez wiele lat pełnił w nim odpowiedzialne funkcje – kierownika Zakładu Fizyki Morza oraz dyrektora ds. naukowych Instytutu

(1990–2001). Jego zainteresowania skupiały się wokół badań lidarowych atmosfery, wód morskich i procesów wymiany aerozolowej między morzem a otoczeniem, czego wynikiem było zorganizowanie od podstaw Pracowni Badań Lidarowych. Jego działalność naukowa dotyczyła głównie modelowania zjawisk termicznych i dynamicznych zachodzących w morzu, z uwzględnieniem procesów biologicznych w jego górnej warstwie, wymiany energii i masy między morzem i atmosferą w procesach tworzenia aerozolu marynogenicznego, zjawisk optycznych zachodzących w atmosferze i morzu, w tym szczegółowych badań oddziaływania światła z komórkami fitoplanktonu morskiego.

W pracy i w życiu był człowiekiem otwartym, miał szerokie kontakty z wieloma środowiskami naukowymi na Uniwersytecie Gdańskim, Uniwersytecie Szczecińskim, Akademii Pomorskiej w Słupsku czy Akademii Morskiej w Gdyni. Wspierał je organizacyjnie i merytorycznie, a także prowadził tam liczne konsultacje naukowe oraz zajęcia dydaktyczne z fizyki i geofizyki.

Był członkiem wielu organizacji naukowych, jak Komitet Badań Morza PAN, Komitet Badań Polarnych PAN, Komitet Narodowy ds. Unii Geodezji i Geofizyki, oraz przedstawicielem krajowym w Komitecie Badań Oceanów (SCOR) i Komitecie Fizycznych Badań Oceanów (IAPSO); był także członkiem Gdańskiego Towarzystwa Naukowego. Przez wiele lat był członkiem Rady Naukowej Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, a także Komitetu Badań Naukowych.

Jego dorobek naukowy liczy ok. 120 prac, w tym ok. 50 z dziedziny fizyki laserów.

Profesor Andrzej Zieliński do ostatniej chwili życia wspomagał swoją wiedzą, doświadczeniem i radą licznych doktorantów. Był promotorem 9 doktoratów i licznych prac magisterskich oraz konsultantem i recenzentem wielu rozpraw doktorskich. Choć jego działalność już ustała, jego praca owocuje w wiedzy i umiejętnościach tych, których uczył i którym tak dużo pomagał. Na długo pozostanie w pamięci kolegów i swoich uczniów.

*Józef Heldt, Stanisław Zachara*  
Instytut Fizyki Doświadczalnej UG  
Gdańsk



# Jan Kwieciński (1938–2003)

Fizyka polska poniosła nową, wielką stratę: odszedł Profesor Jan Kwieciński. Zmarł nagle 29 sierpnia 2003 r., w czasie wycieczki rowerowej w Gorcach. Kochał bardzo góry – i muzykę – ale największą jego pasją była fizyka. Trudno jest pisać o kimś, kto odszedł; często bowiem dopiero wtedy uświadamiamy sobie jego wyjątkowość. Poczucie wyjątkowości Jana jego koledzy, uczniowie i współpracownicy mieli jednak od dawna. Praca z nim była zaszczytem i wspierała naukową przygodę. Jan był teoretykiem, ale potrafił skupiać wokół siebie nie tylko licznych teoretyków, lecz także doświadczalników, z najlepszych ośrodków naukowych Polski i świata. Niezwykle twórczy, o wielkiej naukowej intuicji, stworzył prawdziwą szkołę fizyki, mimo że formalnie uczniów miał niewielu.

Całą swoją drogę naukową związał Jan z ośrodkiem krakowskim. Studia ukończył w 1960 r. na Uniwersytecie Jagiellońskim, gdzie następnie w 1966 r. obronił pracę doktorską „Analityczne własności relatywistycznej amplitudy rozpraszania w płaszczyźnie zespolonego momentu pędu”. Habilitował się także na UJ, w 1973 r., na podstawie pracy „Dyspersyjne reguły sum i ich zastosowanie w teorii silnych oddziaływań”. Od 1960 r. pracował w Instytucie Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego, gdzie w 1988 r. został mianowany profesorem. W tym samym roku przyjął obowiązki kierownika Zakładu Fizyki Teoretycznej IFJ.

Wczesne prace Jana Kwiecińskiego dotyczyły analityczności amplitudy rozpraszania i podejścia typu Reggego w oddziaływaniach przy wysokich energiach. W latach 80. zaczęły być one związane z rozpraszaniem głęboko nieelastycznym (także zależnym od spinu) w granicy małych wartości bjorkenowskiej zmiennej skalowania,  $x \rightarrow 0$ , i z uwzględnieniem obszaru nieperturbacyjnego. Prace te były bezpośrednio stymulowane wynikami doświadczeń w CERN-ie (European Muon Collider, EMC; New Muon Collider, NMC; Spin Muon Collider, SMC) i planowanymi w DESY. Opracowanie metod rachunkowych oraz interpretacja wyników doświadczeń dotyczących zderzeń przy małym  $x$  to jedno z najważniejszych zadań fizyki wysokich energii. Według przewidywań chromodynamiki kwantowej liczba partonów (tj. kwarków i gluonów) rośnie w tym obszarze bardzo silnie, prowadząc do nowych efektów dynamicznych. W pracach Jana Kwiecińskiego rozwiązane zostały formalnie problemy teoretyczne dotyczące zachowania się funkcji rozkładu partonów dla  $x \rightarrow 0$  (efekt cieniowania partonowego) i podane przewidywania dla głęboko nieelastycznego rozpraszania elektronów na protonach w akceleratorze HERA, zarówno dla funkcji struktury protonu oraz jąder atomowych, jak i dla produkcji pęków („dżetów”) cząstek. Wyniki otrzymane później w doświadczeniach potwier-

dziły przewidywania teorii, a Jan dołączył do ścisłej czołówki uznanych światowych ekspertów w tej dziedzinie. Był w niej twórczy do końca; w ostatnich latach rozszerzył także swoje zainteresowania o oddziaływanie neutrin i fizykę bozonu Higgsa – to ostatnie ze względu na budowany właśnie w CERN-ie akcelerator LHC.



Jan Kwieciński

Zainteresowania naukowe rozwijał poprzez szerokie kontakty z licznymi ośrodkami naukowymi: ze Zjednoczonym Instytutem Badań Jądrowych w Dubnej, Rutherfordowskim Laboratorium Wysokich Energii w Chilton, Laboratorium Fizyki Teoretycznej i Wysokich Energii w Orsay, Laboratorium Cavendisha w Cambridge, Wydziałem Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i wreszcie z Wydziałem Fizyki Uniwersytetu w Durham. Większość prac z fizyki „małego  $x$ ” powstała właśnie we współpracy z fizykami brytyjskimi, głównie z Uniwersytetu w Durham; podejścia nieperturbacyjne zostały sformułowane i rozwinięte w długoletniej współpracy Kwiecińskiego z fizykami z UW.

Członek Polskiej Akademii Umiejętności i Polskiej Akademii Nauk, laureat Nagrody im. Marii Skłodowskiej-Curie, członek zespołów redakcyjnych *Acta Physica Polonica B* i *European Physical Journal C*, wreszcie profesor i honorowy członek Grey College Uniwersytetu w Durham, był Jan Kwieciński przede wszystkim badaczem i nauczycielem, obdarzonym wielką umiejętnością kontaktu i współpracy z innymi. Współ-

czesna fizyka wysokich energii nie jest domeną samotnych uczonych; badania naukowe wykonuje się tu w zespołach, liczących w przypadku fizyki teoretycznej kilka, a w przypadku fizyki doświadczalnej nawet kilkaset osób. Osobiste cechy charakteru fizyka stają się zatem niemal równie ważne jak jego kompetencje merytoryczne. Umiejętność pracy z innymi, jako kolega, ale też szef i nauczyciel, posiadał Jan w najwyższym stopniu: wymagający i zdyscyplinowany, ale entuzjasta i optymista, o ogromnej kulturze osobistej, delikatny, skromny, bardzo wyrozumiały i z wielkim darem cierpliwego słuchania innych – ich pomysłów, trudności, krytyki. Takim postrzegali go koledzy i współpracownicy w światowych ośrodkach naukowych; „absolutnie

the kindest man I have ever met in my whole life”, powiedział o nim jeden z angielskich przyjaciół.

Kilka miesięcy przed śmiercią Jan Kwieciński obchodził 65. urodziny. Ponad 50 kolegów z całego świata uczciło tę rocznicę specjalnym wydaniem *Acta Physica Polonica B*, w którym znalazło się przeszło 30 artykułów z doświadczalnej i teoretycznej fizyki wysokich energii: imponujący dowód sympatii i uznania jego wielkiego i trwałego wkładu w tę dziedzinę fizyki. Ta śmierć boli wyjątkowo.

*Barbara Badetek*

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW  
Warszawa

## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

### Międzynarodowe Warsztaty Fizyki Powierzchni

W dniach 13–15 września 2003 r. w Polanicy Zdroju odbyły się Międzynarodowe Warsztaty Fizyki Powierzchni zorganizowane przez Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego. Stanowiły one konferencję satelitarną XXII Europejskiej Konferencji Fizyki Powierzchni (ECOSS-22), która odbyła się tydzień wcześniej w Pradze. Warsztaty, których tematem przewodnim były „Metale na Powierzchni Ciał Stałych”, zgromadziły 92 naukowców z 17 krajów świata. Przedstawiono 76 prac, w tym 16 referatów na zaproszenie, 14 komunikatów ustnych oraz 46 plakatów. Program Warsztatów koncentrował się wokół tematyki przedstawionej w referatach na zaproszenie, prezentowanych przez światowej klasy specjalistów. Stanowiły one przegląd współczesnej nauki o zjawiskach powierzchniowych oraz naświetlały wybrane zagadnienia związane z najnowszymi osiągnięciami w dziedzinie fizyki i fizykochemii powierzchni.

Warsztaty otworzył przewodniczący Międzynarodowej Unii Próżniowej, Ugo Valbusa z Uniwersytetu w Genewie, który wygłosił wykład na temat samozorganizowanego wzrostu atomowych nanostruktur magnetycznych kobaltu na powierzchni miedzi. Następnie Harald Brune ze Szwajcarskiej Politechniki Federalnej w Lozannie omówił olbrzymią anizotropię magnetyczną występującą w adatomach (czyli atomach adsorbowanych na powierzchni) Co o niskiej koordynacji na powierzchni platyny i złota. Energia związana z tą anizotropią określa trwałość kierunku magnetyzacji we fluktuacjach termicznych atomów i stanowi jedną z kluczowych wielkości w projektowaniu nowych urządzeń rejestrujących. Peter Varga z Politechniki Wiedeńskiej przedstawił piękne wyniki badań lokalnej struktury atomowej ultracienkich warstw żelaza na powierzchni miedzi i stopu inwarowego

wykonanych metodą skaningowej mikroskopii tunelowej (STM) o rozdzielczości atomowej.

Ronan McGrath z Uniwersytetu w Liverpoolu wprowadził uczestników w fascynujący świat powierzchni kwazikryształów, czyli stopów metalicznych o strukturach wykazujących 5- i 10-krotną symetrię, których istnienie było według reguł krystalografii uważane za niemożliwe. Z kolei Hiroshi Tochihara z Uniwersytetu Kiusiu (Japonia) omówił uporządkowane struktury trójskładnikowych stopów metali prostych, tworzone na powierzchni Cu(001). Te uporządkowane struktury można traktować jako nowe materiały, których istnienie jest możliwe tylko na powierzchni. Marek Szymoński (Uniwersytet Jagielloński) przedstawił możliwości chemicznego charakteryzowania nowymi wariantami metody mikroskopii sił atomowych zarówno czystych powierzchni półprzewodników i kryształów jonowych, jak i struktur nanowymiarowych tworzonych przez atomy adsorbatów metalicznych na tych powierzchniach. Przykłady interesujących oddziaływań w układzie metal–substrat i tworzenie się wiązań bimetalicznych między metalicznymi (Pd, Ni) adatomami i atomami Al, Sn oraz In na powierzchni ich tlenków zawierał wykład Vladimira Matolina (Uniwersytet Karola w Pradze).

Herbert Pfnür z Uniwersytetu w Hanowerze przedstawił interesujące wyniki dotyczące dalekozasięgowego oddziaływania adatomów metali alkalicznych na rowiastej powierzchni Mo(211), prowadzące do tworzenia się atomowych struktur łańcuchowych. Do zagadnienia oddziaływania adatomów nawiązywał również wykład Tien T. Tsonga (Academia Sinica, Taipei, Tajwan), który omówił oscylacyjny charakter tych oddziaływań i dyfuzję dimerów na powierzchni wolframu oraz zademonstrował, jak właściwości elektronowe wpływają na wzrost ultracienkich warstw ołowiu na powierzchni krzemu. Z kolei Mieczysław Jałochowski (UMCS, Lublin) przedstawił nowe, in-

teresujące wyniki dotyczące kwantowego efektu rozmiarowego w ultracienkich warstwach atomowych Pb(111) na powierzchni krzemu, uzyskane metodą STM.

Teoretyczne podejścia do zagadnień współczesnej fizyki powierzchni stanowiły temat trzech referatów. Roszita Pentcheva z Uniwersytetu Ludwika Maksymiliana w Monachium omówiła metody umożliwiające rozszerzenie predykcyjnych możliwości teorii funkcjonału gęstości (TFG) na układy o wymiarach mezo- i makroskopowych oraz na układy znajdujące się w warunkach skończonego ciśnienia i temperatury, polegające na kombinacji TFG z metodami mechaniki statystycznej i termodynamiki. Dwa niezmiernie interesujące przykłady badań teoretycznych, przy użyciu metod TFG i symulacji kinetyczną metodą Monte Carlo, dotyczących struktur metalicznych, topografii i oddziaływań międzyatomowych na powierzchni: wzrost epitaksjalny na metalach oraz jednowymiarowy gaz elektronowy powstający na powierzchni kryształów jonowych (tlenku glinu), przedstawił Bengt Lundqvist (Politechnika Chalmersa, Göteborg). Z kolei Talat Rahman z Uniwersytetu Stanowego Kansas (USA) omówiła wpływ lokalnego środowiska atomowego występującego na powierzchniach wycinalnych (stopnie, załamania i inne defekty) na charakter wiązania adatomów. Okazuje się, że lokalna geometria ma duży wpływ na to, czy atom węgla lub siarki występuje w roli promotora, czy truciciela reakcji zachodzących na powierzchni.

Ostatni dzień Warsztatów otworzyła sesja poświęcona fizyce powierzchni metali pozostających w kontakcie z cieczą. Jest to jeden z najważniejszych nowych kierunków badań powierzchni. Wyzwania stojące przed tą dziedziną badań oraz nowe, interesujące wyniki dotyczące struktur tworzonych na elektrodach przez osia-

dające atomy ołowiu i chromu, jak również adsorpcję cząsteczek organicznych uzyskane metodą STM przedstawił Klaus Wandelt z Uniwersytetu w Bonn. Z kolei Harald Ibach (Centrum Badawcze Jülich) pokazał, jak rozwinięte w ostatnich latach metody określania energii tworzenia defektów i energii aktywacji migracji defektów na powierzchni będącej w kontakcie z elektrolitem mogą być użyte do wyznaczania energii liniowej stopni atomowych na powierzchni metali. Warsztaty zamknął wykład Teda Madeya z Rutgers University (New Jersey, USA) omawiający zagadnienia modyfikacji struktury i właściwości powierzchni wolframu w nanoskali. W szczególności przedstawił zagadnienia fasetkowania powierzchni, indukowanego przez zaadsorbowane warstwy metaliczne, oraz zarodkowania kryształów na powierzchni teksturowanej w nanoskali.

Pomimo napiętego programu, złożonego z 10 sesji referatowych i jednej plakatowej w ciągu dwóch i pół dnia trwania Warsztatów, nieformalna atmosfera spotkania odbywającego się bez sesji równoległych pozwalała każdemu z uczestników na udział w pobudzających i owocnych dyskusjach oraz wymianę poglądów zarówno w czasie sesji, jak i po prezentacjach. W powszechnej opinii uczestników Warsztaty były dużym sukcesem naukowym i organizacyjnym. Komitet organizacyjny konferencji tworzyli Antoni Ciszewski i niżej podpisany jako współprzewodniczący, Andrzej Szczepkiewicz (sekretarz), Piotr Mazur, Zbigniew Szczudło i Stefan Zuber.

Materiały konferencji ukażą się jako osobny tom czasopisma *Vacuum* (Elsevier) w 2004 r.

*Adam Kiejna*

Instytut Fizyki Doświadczalnej UWr  
Wrocław

## RECENZJE

### Metody obliczeniowe w fizyce

Tao Pang: *Metody obliczeniowe w fizyce: fizyka i komputery*, przekład z jęz. angielskiego Mirosław Łukaszewski, Arkadiusz Orłowski i Maciej Pindor; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001, s. 393.

Tao Pang jest młodym fizykiem zatrudnionym na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Las Vegas, gdzie od kilku już lat prowadzi wykład fizyki obliczeniowej – właśnie: „fizyki obliczeniowej”, a nie „fizyki komputerowej”. W Polsce wielu fizyków, wśród nich i autor tej recenzji, używa raczej tego drugiego terminu. Czy słusznie? Nazywa „fizyka obliczeniowa” lepiej oddaje sens tego wszystkiego, co w fizyce dzieje się dzięki temu, że fizycy dostali do swych rąk komputer, jedno z najpotężniejszych narzędzi współczesnej nauki. Problem jest znacznie szerszy. Znaczna część współczesnych nauk przyrodniczych, a więc już nie tylko fizyki, ale i chemii, biologii itd., a także

samej matematyki, nie jest w stanie obejść się bez komputera. Odpowiednie ich części nazywa się dziś „obliczeniowymi”. Fizyka obliczeniowa to nadal fizyka, lecz wyodrębniamy ją, bo jej narzędziem są obliczenia numeryczne lub symboliczne tak złożone, że nie ma co marzyć o ich wykonaniu na papierze. Zagadnienia, którymi się zajmuje, to problemy mechaniki klasycznej, optyki, elektrodynamiki, mechaniki kwantowej; nie ma co dalej wymieniać, bo nie ma już dziś chyba przedmiotu badań fizyki, gdzie nie znaleźlibyśmy problemów, których rozwiązanie stało się możliwe tylko dzięki podniesionej do  $n$ -tej potęgi zdolności wykonywania obliczeń. To właśnie te problemy, bez względu na to, do jakiego działu fizyki należą, zaliczamy do biegnącego w poprzek konwencjonalnych podziałów obszaru zwanego „fizyką obliczeniową”.

Dziś, gdy każdy z nas ma na swoim biurku zwykłego peceta, trudno znaleźć problem wymagający wykonania złożonych obliczeń, do którego nie można by się

było dobrać. Mam tu na myśli nie tylko obliczenia numeryczne, ale i rachunki analityczne. Współczesne kompilatory stawiają do dyspozycji niemal każdy algorytm obliczeń numerycznych, do którego dojdziemy, rozważając jakieś zagadnienie. Z drugiej strony, powszechnie już dostępne pakiety obliczeń symbolicznych wzmacniają nasze możliwości wykonywania rachunków analitycznych do poziomu osiąganego kiedyś tylko przez najwybitniejszych teoretyków. Tak więc fizyka obliczeniowa to również zbiór zagadnień rozwiązywanych metodami analitycznymi. By jednak wykonywać niezbędne obliczenia, trzeba wiedzieć, jak to zrobić, a więc: opanować podstawowe algorytmy, nauczyć się je wykorzystywać („implementować”), umieć patrzeć krytycznie na uzyskane wyniki. Podręcznik Tao Panga uczy tych wszystkich trzech rzeczy.

W przedmowie Autor przedstawia swój pogląd na to, czym jest fizyka obliczeniowa i jakie jest jej miejsce we współczesnej nauce. We wstępie krótko omawia historię powstania współczesnych komputerów, mówi, czym są algorytmy obliczeniowe i ich implementacje w konkretnym języku programowania. Będąc twardym teoretykiem, jest zwolennikiem Fortranu, języka królującego od dziesiątków już lat w obszarze Wielkich Obliczeń, i w tym właśnie języku napisane są przykłady programów, które odnajdujemy w dalszych rozdziałach. Tu jest pewien problem, bowiem studenci fizyki najczęściej nie mają na swych domowych komputerach kompilatorów Fortranu i są raczej zwolennikami języka C. Na szczęście struktura Fortranu jest tak prosta, że nawet bez dokładnej znajomości tego języka można się zorientować, jak przykładowy program jest zorganizowany, i kierując się uzyskanymi wskazówkami, napisać swój własny program w języku, którego się używa.

Rozdział 2 poświęcony jest podstawowym metodom numerycznym: interpolacji i aproksymacji, różniczkowaniu i całkowaniu, poszukiwaniu miejsc zerowych funkcji jednej zmiennej oraz generatorom liczb losowych, bez których trudno się obejść w wielu zagadnieniach fizyki statystycznej. Wykład tych metod ilustrowany jest przykładami problemów fizycznych, w których te właśnie metody są stosowane. Znajdujemy wśród nich bardzo ładny przykład pokazujący, jak wykorzystać aproksymację wielomianową do opracowania wyników doświadczenia Millikana.

Rozdział 3 poświęcony jest numerycznemu rozwiązywaniu równań różniczkowych zwyczajnych. Ze względów dydaktycznych omówienie tych metod rozpoczyna się od prezentacji mało dokładnych, nieskutecznych metod Eulera i Picarda, których znajomość jest jednak konieczna, jeśli chcemy zrozumieć ideę znacznie bardziej efektywnej metody predyktor–korektor. Jako kolejne Autor omawia metody Rungego–Kutty, pokazując przykładowy algorytm, do jakiego dochodzimy w metodzie rzędu czwartego. Ilustrację zastosowania poznanych metod rozwiązywania zagadnienia początkowego, a więc np. numerycznego całkowania równań ruchu, stanowi analiza ruchu wahadła z tłumieniem, pobudzanego do ruchu przez okresową siłę. Równanie ruchu całkowane jest tu przy użyciu

metody Rungego–Kutty czwartego rzędu. Niestety, dyskusja wyników uzyskanych na drodze całkowania numerycznego jest tu dość powierzchowna. Trudno bowiem zaakceptować konkluzję zawartą w podpisie rys. 3.2, w którym Autor pisze, iż „w tych warunkach dynamika układu ma z dobrym przybliżeniem charakter regularny (okresowy)”. Tłumione wahadło pobudzane do ruchu okresową siłą wymuszającą jest typowym układem rozważanym w dynamice układów nieliniowych. Jego ruch jest albo regularny, albo chaotyczny. Nie bardzo wiadomo, co ma znaczyć stwierdzenie, iż jest on „z dobrym przybliżeniem regularny”. Z pewnością niczego takiego nie można stwierdzić, oglądając pokazany na rysunku wykres. Okresowość dałoby się dostrzec na wykresie sporządzonym w nieco inny sposób, a mianowicie takim, na którym zaznaczonoby jedynie punkty trajektorii dla określonej fazy siły wymuszającej (mapa Poincarégo). Pewną rekompensatą tych niedokładności jest podanie odnośnika do książki Bakera i Golluba, w której można takie wykresy znaleźć. W dalszej części rozdziału 3 Autor przedstawia metody numerycznego rozwiązywania zagadnień brzegowych i własnych, wśród nich metodę strzałów. Rozdział kończy się omówieniem sposobu rozwiązywania zagadnienia własnego dla jednowymiarowego równania Schrödingera opisującego cząstkę w jamie potencjału.

Rozdział 4 poświęcony jest metodom numerycznym stosowanym w rachunkach, w których mamy do czynienia z operacjami na macierzach, a więc np. w rozwiązywaniu zagadnień, w których opisie teoretycznym dochodzimy do układu algebraicznych równań liniowych. Jakże to są zagadnienia, Autor wskazuje we wstępnym podrozdziale 4.1, a następnie przedstawia metody ich rozwiązywania. Rozpoczyna od omówienia pierwszego kroku algorytmu, a więc od przekształcenia macierzy współczynników do postaci macierzy trójkątnej np. eliminacyjną metodą Gaussa, ilustrując możliwy sposób wykonania tego kroku kodem konkretnej procedury (napisanej oczywiście w Fortranie). Omawia następnie problem obliczenia wartości wyznacznika znalezionej macierzy i w końcu znalezienia pierwiastków układu równań. Znajomość numerycznego algorytmu rozwiązywania układu równań liniowych jest niezbędna w opracowaniu algorytmu poszukiwania miejsc zerowych i ekstremów funkcji wielu zmiennych. Temu właśnie zagadnieniu poświęcony jest kolejny podrozdział, z konieczności dość lakoniczny, bo w ogólności problem ten jest niezmiernie trudny, zwłaszcza gdy chodzi np. o znalezienie ekstremów globalnych. Autor wskazuje tu literaturę, w której znajdziemy najnowsze metody. Rozdział kończy się omówieniem metod rozwiązywania zagadnienia własnego dla macierzy. Trzeba przyznać, że zgodnie z przysłowiem „im dalej w las, tym więcej drzew” trudności rosną i czytanie podręcznika wymaga coraz większej uwagi, a także coraz większej znajomości i fizyki, i matematyki. Problem polega bowiem na tym, że sensowne, świadome stosowanie metod numerycznych możliwe jest tylko wtedy, gdy stosujący je badacz ma doskonałe przygotowanie w takich dziedzinach matematyki, jak analiza matematyczna, algebra li-



niowa, geometria analityczna, rachunek prawdopodobieństwa itp.

Uczyńmy tu krótką dygresję. Niedługo kurs analizy matematycznej obejmował nie tylko wykład o tym, czym są całki, ale i pełen wykład poświęcony metodom ich analitycznego obliczania. Dziś nie wydaje się konieczne, by student znał je praktycznie, bowiem współczesne pakiety obliczeń symbolicznych, np. Mathematica, zastosują je automatycznie. Bez wątplenia jest jednak lepiej, jeśli wykorzystujący taki pakiet badacz wie, na czym metody te polegają. Jest to jeszcze bardziej istotne, gdy chodzi nie o rozwiązania analityczne, a o rozwiązania znajdowane metodami numerycznymi, np. przy obliczaniu wartości całek oznaczonych. Bez wiedzy o tym, czym jest całkowanie numeryczne i gdzie może zawieść, nie ma możliwości krytycznego podejścia do liczb wyprodukowanych przez komputer. Ślepa wiara w liczby podawane przez program komputerowy może przenieść stosującego go badacza w świat numerycznej fikcji.

W rozdziale 5 Tao Pang omawia problemy związane z analizą widmową, rozpoczynając oczywiście od szeregów Fouriera. Jak wiadomo, rozłożenie funkcji okresowej w szereg Fouriera jest teoretycznie zawsze możliwe, problem polega na tym, że analityczne obliczenie odpowiednich całek jest możliwe tylko dla zbioru miary zero w przestrzeni wszystkich funkcji okresowych. Ograniczenie to nie dotyczy komputera, ale płaci się za to pewną cenę. Numeryczne wyliczenie widma funkcji okresowej jest zawsze możliwe, ale tylko wtedy, gdy ciągłą zmienną tej funkcji zamienimy na zmienną dyskretną. Procedura taka gubi oczywiście wszystkie szczegóły kształtu funkcji o rozmiarach mniejszych od przyjętego kroku dyskretyzacji. W efekcie z widma znikają składowe o częstościach większych od pewnej częstości granicznej związanej z krokiem dyskretyzacji. Tao Pang wyjaśnia, na czym polega numeryczne znajdowanie dyskretnej transformacji Fouriera i jej znacznie oszczędniejszej w obliczeniach wersji zwanej szybką transformatą Fouriera (FFT). Zwróćmy uwagę (o czym autor recenzji nie wiedział), że ideę tej ostatniej podał już w 1866 r. genialny Gauss. Ciekawe, czy ktoś mu zadał wtedy pytanie, często padające po wykładzie, na którym zaprezentowano jakąś nową, niezbyt praktyczną ideę: „po co to wszystko?” Ano, niekiedy trzeba poczekać niemal 150 lat, by było wiadomo, po co. Przykład zastosowania szybkiej transformacji Fouriera rehabilituje Autora. Cytowane powyżej nieprecyzyjne, nie wiadomo skąd wzięte stwierdzenie w podpisie rys. 3.2, nabiera sensu. Rysunek 5.2 przedstawia bowiem widmo mocy oscylacji wahadła, którego równania ruchu całkowano w rozdz. 3, i widać z niego wyraźnie, iż znaleziona trajektoria jest w istocie okresowa.

Podrozdział 5.6 poświęcony jest wprowadzonej stosunkowo niedawno (1982) do arsenału środków analizy widmowej metodzie analizy falek. Metoda ta znajduje zastosowanie np. w analizie krótkich sygnałów czasowych, w oczyszczaniu zarejestrowanych przebiegów jakiejś wielkości fizycznej z szumu itp. Tao Pang omawia i ciągłą, i dyskretną transformację falkową, nie podając jednak

przykładowych kodów, bowiem byłyby one zbyt złożone, a ponadto znajdujemy ich dobre implementacje w takich pakietach, jak Mathematica. Rozdział kończy się omówieniem funkcji specjalnych i kwadratur Gaussa.

W rozdziale 6 znajdujemy opis metod numerycznego rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych. Autor omawia dość szczegółowo problem dyskretyzacji zmiennych, będący podstawą wszystkich numerycznych algorytmów ich całkowania, a następnie konkretne algorytmy całkowania. Wśród ilustrujących je przykładów znajdujemy problem ugięcia belki podpartej na obu końcach i obciążonej w punkcie środkowym, a także zagadnienie dynamiki wód gruntowych. Całkowanie równań różniczkowych cząstkowych jest problemem tak trudnym, iż wielu wybitnych matematyków-numeryków poświęca mu do dziś swe siły. Nie ma możliwości, by omówić je w podręczniku, którego celem jest zorientowanie czytelnika w jak najszerszym obszarze fizyki obliczeniowej, słusznie więc Autor tego nie czyni.

Symulacje numeryczne to termin, który kojarzy się fizykom przede wszystkim z symulacjami ruchu układu wielu ciał i wyznaczaniem jego własności makroskopowych. To od tych symulacji rozpoczęło się intensywne wykorzystywanie komputerów w fizyce. Jedną z metod symulacji to metoda dynamiki molekularnej, w której po prostu całkuje się równocześnie równania ruchu wielu oddziałujących ze sobą ciał. Symulacje układów wielu ciał są nieodłącznie związane z fizyką statystyczną. Można by powiedzieć, że fizyka statystyczna święci dziś swe największe tryumfy właśnie dzięki symulacjom numerycznym. Jest więc naturalne, że rozdział im poświęcony rozpoczyna się od omówienia podstaw statystycznej teorii układów wielu ciał. Po nim następuje przedstawienie algorytmów całkowania równań ruchu rozpoczynające się od algorytmu Verleta. Następnie Autor omawia metodę predyktor–korektor. Symulowanie ruchu układu wielu ciał wymaga określenia warunków, w jakich układ ten się znajduje. Istotne jest, czy jest on zamknięty w pudle twardej, czy okresowym, czy zanurzony jest w termostacie, czy też jego energia wewnętrzna jest zachowana itp. Tao Pang omawia te problemy, pokazując niektóre z najciekawszych pomysłów, jakie badacze zajmujący się tymi symulacjami wprowadzali, by uczynić je i efektywnymi, i dokładnymi. Omawiany jest tu więc tzw. schemat Andersona, pozwalający symulować sytuację, w której układ zamknięty jest w sposób utrzymujący w nim stałe ciśnienie, oraz tzw. schemat Noségo, utrzymujący temperaturę układu na stałym poziomie. Rozdział kończy się krótkim przedstawieniem dynamiki molekularnej *ab initio*, której celem jest jednoczesne obliczanie struktury elektronowej oddziałujących cząstek i symulacja ich ruchu metodami dynamiki molekularnej. Tu znów, ze względu na rozległość zagadnień, stosowane metody są jedynie sygnalizowane. Omówienie ich szczegółów byłoby nonsensem, ale wskazane jest, by czytelnik dowiedział się o ich istnieniu i sensie.

W rozdziale 8 zatytułowanym „Modelowanie układów ciągłych” Tao Pang opisuje trudności, z jakimi się

stykamy, gdy usiłujemy symulować układy ciągłe, np. strumień cieczy opływający przeszkodę. W naturalny sposób rozdział ten zaczyna się od przedstawienia problemów i równań hydrodynamiki. W numerycznym rozwiązywaniu tych problemów istota polega na zręcznej dyskretyzacji, noszącej tu nazwę metody elementów skończonych. Autor przedstawia jej podstawy, omawiając schematy Galerkinia i Ritza. Następnie omawia trudności, jakie pojawiają się, gdy metodę elementów skończonych stosujemy do równań nieliniowych, a więc np. do równania Naviera–Stokesa; rozważa tu również równania magneto hydrodynamiki. Ciekawa jest treść ostatniego podrozdziału, w którym Autor opisuje modele znane jako automaty komórkowe gazu sieciowego. Próba przekonania środowiska naukowego do mocy idei automatów komórkowych stanowi treść ostatniego dzieła Stephena Wolframa *A New Kind of Science*. Tao Pang pisał omawiany podrozdział przed ukazaniem się tego dzieła, pisał go też, patrząc z innej perspektywy – przydatności automatów komórkowych w fizyce. I to z tej właśnie perspektywy widać wyraźnie wady modeli najprostszych oraz konieczność ich uzupełnienia. Ten uzupełniony model to model boltzmannowski gazu sieciowego. Jego opis jest głównym przedmiotem ostatniego podrozdziału.

Rozdział 9 poświęcony jest drugiej wielkiej metodzie symulacyjnej – metodzie Monte Carlo. Jej narodziny są niemal równoczesne z narodzinami pierwszych komputerów. Tao Pang opisuje pierwszy, opracowany przez Metropolisa algorytm symulacyjny i jego zastosowania w fizyce statystycznej, np. do cieczy klasycznych. Wskazuje tu na problemy, które pojawiają się w jego zastosowaniu w pobliżu punktów krytycznych, gdzie mamy do czynienia ze spowolnieniem krytycznym. Jak poradzić sobie w takiej sytuacji, to problem, którego jedno z rozwiązań podali Swendensen i Wang w 1987 r. Tao Pang podaje znalezione przez nich algorytm. Dalsze części rozdziału obejmują bardzo już wyrafinowane algorytmy stosowane w mało znanych recenzentowi kwantowych symulacjach MC, symulacjach MC dla funkcji Greena, i symulacje MC dla całek po drogach. Rozdział kończy się omówieniem algorytmów stosowanych w badaniu kwantowych modeli sieciowych.

Tematem rozdziału 10 jest numeryczna renormalizacja. Idea renormalizacji wprowadzona została w kwantowej teorii pola, gdzie pozwoliła na uporanie się z podczerwonymi rozbieżnościami diagramów Feynmana. Idea ta została z wielkim powodzeniem zastosowana w fizyce statystycznej przejść fazowych układów klasycznych. Tao Pang przedstawia podstawową ideę skalowania i wyjaśnia sens transformacji renormalizacyjnej, a następnie omawia jej zastosowanie w analizie zjawisk krytycznych zachodzących w modelu Isinga. Następnie pokazuje, jak znaleźć macierz renormalizacyjną, wykorzystując ideę symulacji Monte Carlo. Opisuje też stworzoną przez Wilsona metodę renormalizacji numerycznej i jej zastosowanie do rozwiązania problemu Konda.

Rozdziały 11 i 12 odchodzą nieco od fizyki i poświęcone są problemom technik obliczeniowych. W rozdz. 11

znajdujemy opis idei komputerowych obliczeń symbolicznych. Tao Pang opisuje tu, z konieczności w dość lakoniczny sposób, kilka problemów, które można rozwiązywać, wykorzystując pakiety obliczeń symbolicznych. Piszemy więc o różniczkowaniu i całkowaniu, o rozwiązywaniu układów równań liniowych, a także równań nieliniowych, gdzie takie pakiety jak Mathematica korzystają z algorytmów obliczeń numerycznych, o rozwiązywaniu równań różniczkowych metodami i analitycznymi i numerycznymi, oraz o tym narzędziu systemów obliczeń symbolicznych, które z punktu widzenia autora recenzji jest chyba najbardziej użyteczne: wizualizacji znajdujących rozwiązań w postaci jedno- i wielowymiarowych wykresów. Grafika komputerowa jest wspaniałym wynalazkiem, szczególnie dla tych badaczy, którzy w swych rozważaniach posługują się obrazem. Już w najprostszych zagadnieniach, jak różniczkowanie, zrozumienie sensu geometrycznego pochodnej jest trudne do przecenienia. Narysowanie wykresu funkcji, wykreślenie stycznej w jakimś jego punkcie i wskazanie, że pochodna funkcji to po prostu tangens nachylenia tej stycznej, daje uczącemu się analizy matematycznej znacznie więcej niż napisanie kilkunastu wzorów. Są oczywiście badacze, których wyobraźnia nie wymaga takich obrazków. Wydaje mi się jednak, że dla większości z nas są one bezcenne. I tu pozwolę sobie na najistotniejszą krytyczną uwagę wobec dzieła Tao Panga. *Metody obliczeniowe* to podręcznik, mówiąc delikatnie, niezbyt dobrze ilustrowany. Nie liczyłem ilustracji, ale jest ich chyba nie więcej niż 20. Nie można zresztą uznać ich za bardzo udane. To być może kwestia gustu. Ciekaw jestem, jakie będzie tu zdanie czytelników.

Rozdział 12 poświęcony jest problemom obliczeń wielkiej skali, czyli – jak je Autor nazywa – high-performance computing (obliczeń wysokiej wydajności). Istnieją w fizyce problemy, których algorytmiczne sposoby rozwiązywania są dobrze znane, ale których implementacja i praktyczne wykonanie wymaga olbrzymiej mocy obliczeniowej. Tu nieodzowny staje się superkomputer, maszyna o mocy obliczeniowej mierzonej w teraflopach. Maszyny takie istnieją, są z reguły wieloprocesorowe i wymagają dla swego wykorzystania znajomości technik programowania znacznie wykraczających poza to, czego możemy się nauczyć, obsługując peceta stojącego na naszym biurku. Tao Pang stara się wyjaśnić, jak techniki te wyglądają. Przeczytanie tego rozdziału nikogo ich nie nauczy, ale uświadomi czytelnikowi ich istnienie i moc.

Podsumujmy. Jak pisze wydawca, podręcznik Tao Panga przeznaczony jest przede wszystkim dla studentów kierunku fizyka komputerowa, który istnieje już na chyba każdym uniwersytecie. Powiedzmy jednak jasno – jest to podręcznik dla studentów lat wyższych, zawiera bowiem opisy zastosowań obliczeń do rozwiązywania bardzo zaawansowanych problemów fizyki. Jeśli jednak założyć, że student nie będzie musiał objąć całości materiału, wykładowcy znajdą w nim zagadnienia, które można omawiać już na pierwszych latach studiów. Myślę więc, że dobrze będzie, jeśli znajdzie się na półce każdego, kto wykłada przedmiot najczęściej określanej jako fizyka komputerowa.

Ciekawe, czy słuszna moim zdaniem decyzja Tłumaczy, by angielski tytuł *An Introduction to Computational Physics* przetłumaczyć na polski jako *Metody obliczeniowe w fizyce* będzie miała jakiś wpływ na nasze przyzwyczajenia. Być może jest już za późno, by je zmienić.

Piotr Pierański  
Laboratorium Fizyki Komputerowej  
i Półprzewodników PP  
Poznań

## Sztuczne sieci neuronowe

Robert Kosiński: *Sztuczne sieci neuronowe. Dynamika nieliniowa i chaos*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002, s. 196.

Monografia *Sztuczne sieci neuronowe. Dynamika nieliniowa i chaos* jest podsumowaniem badań szerokiego kręgu naukowców, w tym Autora, który jest pracownikiem Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej z własnym dorobkiem w dziedzinie teorii dynamiki układów złożonych i ich zastosowań.

Tematyka książki sytuuje się na pograniczu kilku dziedzin i zawiera dużo wiedzy interdyscyplinarnej, znalezienie wspólnego języka dla wymiany informacji jest zatem szczególnie istotne. Z tego punktu widzenia bardzo trafnym pomysłem Autora było załączenie opisu budowy układu nerwowego człowieka ze szczegółami mechanizmów rozchodzenia się sygnałów na poziomie komórkowym. W ten sposób mechanizm uczenia się i zapamiętywania jest przedstawiony w kontekście ograniczeń struktur biologicznych.

Zrozumienie różnic między neurofizjologią a numerycznym przetwarzaniem danych jest fundamentalne w praktycznych zastosowaniach obliczeń przy użyciu sieci neuronowych. Książka Kosińskiego ułatwia zaobserwowanie tych różnic i w oryginalny sposób zachęca czytelnika do zadawania dalszych pytań i formułowania hipotez, które mogą stać się inspiracją w pracy naukowej. Podkreśla to celowość wydania tej książki. Jest ona szerokim, a równocześnie zwartym przeglądem wiedzy, atrakcyjnym dla studentów i specjalistów we wszelkich dziedzinach związanych z zagadnieniem uczenia się, adaptacji, optymalizacji oraz sztucznej inteligencji, i obejmuje tematy

z zakresu informatyki, fizyki, elektroniki, robotyki, matematyki, biologii oraz psychologii.

Treść książki koncentruje się na dynamice złożonego układu neuronowego oraz na mechanizmie przechowywania i odtwarzania informacji za pomocą układu dynamicznego. Autor opisuje wiele metod analizy oraz uproszczeń umożliwiających efektywne zrozumienie tych mechanizmów i wypracowanie intuicji niezbędnej w projektowaniu implementacji obliczeniowych. W szczególności dwa podejścia analityczne, mechanika statystyczna i dynamika nieliniowa, przedstawione są szczegółowo. Umożliwia to łatwe przejście do zagadnień występujących wyłącznie w układach chaotycznych. Postuluje się, że ergodyczność takich układów jest nośnikiem pamięci i asocjacji. Autor podaje wiele odnośników do literatury szczegółowo opisującej te właściwości.

Każde twórcze dzieło zawiera pewną liczbę usterek, które naprawia się w trakcie dalszej pracy. Książka Kosińskiego nie jest wyjątkiem od tej reguły. Dość poważną wadą mojego egzemplarza jest brak właściwych stron 177–180. Strony te są wprawdzie fizycznie obecne w składzie, ale zawierają kopie spisu treści i „Podziękowania” zamiast rozdz. 11.4 i końca rozdz. 11.3. Autor używa nieformalnego oznaczenia dla funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa. Na przykład, na s. 36 gęstość rozkładu wartości potencjału neuronu jest zapisana jako  $P(u_i = \langle u_i \rangle)$ . Chociaż można się domyślić, że intencją Autora było podanie funkcji gęstości prawdopodobieństwa, formalnie powyższe wyrażenie jest równe zero, ponieważ rozkład jest ciągły.

Detale ortograficzne: „positon emission tomography” – positron emission tomography, „prezkrycia” – przekrycia. Termin „siła (wartość) połączenia synaptycznego” był wcześniej przyjęty w polskiej literaturze jako „waga połączenia synaptycznego”.

Podsumowując: książka Roberta Kosińskiego będzie przydatną pozycją zbioru bibliotecznego naukowca, studenta lub inżyniera zajmującego się układami naśladującymi przyrodę w metodach przetwarzania informacji.

Autor recenzji dziękuje p. prof. Jackowi J. Żuradzie za życzliwe i pomocne sugestie.

Andrzej G. Łozowski  
Department of Electrical and Computer Engineering  
Southern Illinois University at Edwardsville  
Illinois, USA

## ■ Andrzej Magiera

Urodził się w 1955 r. w Krakowie. Studia fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim ukończył w 1979 r., specjalizując się w fizyce jądrowej. Od tego czasu pracuje w Zakładzie Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki UJ. W latach 1982–85 przebywał na stypendium doktoranckim w Kernforschungsanlage w Jülich w Niemczech. Prowadził tam pomiary reakcji transferu wielonukleonowego, których wyniki stały się podstawą pracy doktorskiej obronionej w 1985 r. Następnie zajmował się badaniem mechanizmu reakcji w oddziaływaniu ciężkich jonów, prowadząc eksperymenty w INFN w Catanii oraz w FZ Jülich. Na podstawie tych badań w 1997 r. uzyskał na Wydziale Matematyki i Fizyki UJ stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Obecnie zajmuje się – całkowicie zmieniawszy tematykę badawczą – różnymi aspektami fizyki mezonowej, prowadząc eksperymenty przy akceleratorze COSY. W ramach współpracy GEM brał udział w konstrukcji systemów detekcyjnych wykorzystywanych w tych badaniach. Zaproponował oryginalny pomiar mieszania lekkich mezonów i od 1997 r. kieruje tym projektem. W związku z jego realizacją w latach 1999–2000 pracował w FZ Jülich. Obecnie uczestniczy aktywnie również w pracach współpracy HIRES (poszukiwanie dziwnych dibarionów) i PISA (reakcje kruszenia jąder). Ostatnio włączył się w przygotowanie projektu PANDA przy budowanym akceleratorze antyprotonów w GSI Darmstadt. Tytuł naukowy otrzymał 21 października 2003 r.



Prowadził wykłady z fizyki jądrowej, podstaw fizyki oraz różne wykłady monograficzne, wypromował dwóch doktorów. Od 2003 r. jest kierownikiem I Pracowni Fizycznej w IF UJ. Był organizatorem cyklicznych konferencji MESON we współpracy z FZ Jülich i INFN Frascati, obecnie jest przewodniczącym kolejnej konferencji MESON2004.

Żonaty, ma troje dzieci. Bardzo lubi zwierzęta, fotografowanie, szybką jazdę samochodem i pielęgnowanie przydomowego trawnika.

## ■ Marek Jacek Sarna

Urodził się w 1955 r. w Warszawie. Studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (kierunek astronomia) ukończył w 1979 r. Przez trzy lata pracował jako urzędnik w Biurze Planowania PAN. Doktorat uzyskał w 1987 r., habilitował się w 1994 r., a tytuł naukowy otrzymał 17 listopada 2003 r.



Od 1983 r. związany jest z Centrum Astronomicznym PAN im. Mikołaja Kopernika. Od roku 1998 pełni funkcję dyrektora (w latach 1995–98 wicedyrektor). Od roku 2000 koordynator, z ramienia KBN, udziału Polski w budowie 11-metrowego teleskopu SALT w RPA. Założyciel i prezes Zarządu Fundacji Teleskopu SALT w Polsce.

Odbył staż podoktorski w Max-Planck-Institut für Astrophysik w Monachium (1988) oraz w Astronomy Center, University of Sussex w Brighton (1991–92).

Prowadzi badania z zakresu chemicznej ewolucji ciałnych, oddziałujących układów podwójnych gwiazd. Do jego najważniejszych osiągnięć można zaliczyć opracowanie metody pozwalającej określić status ewolucyjny układów podwójnych na podstawie zawartości pierwiastków CNO oraz stosunku izotopów  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  w atmosferach składników. Skuteczność metody została potwierdzona przez obserwacje w dalekim nadfiolecie, wykonane przy użyciu satelity *Chandra* dla dwóch typów układów: Algoli i układów po fazie o wspólnej otoczce.

Jest autorem lub współautorem ponad 80 publikacji naukowych, był promotorem lub współpromotorem 4 prac doktorskich.

Jest żonaty, ma syna. Do największych pasji pozazawodowych zalicza: starożytną historię basenu Morza Śródziemnego w aspekcie kształtowania się chrześcijaństwa (archeologia biblijna, egzegeza Pisma Św.), metafizyczną poezję angielską (Herbert, Hopkins) oraz Hugona – ukochanego mopsa.

## ■ Andrzej Budkowski

Urodził się w 1960 r. w Stalowej Woli. Ma żonę Jądwigę (również fizyka). Fizyką zainteresował się w liceum pod wpływem świetnego nauczyciela – mgra Stanisława Szymonika. Od ukończenia studiów w 1984 r. pracuje w Instytucie Fizyki UJ w grupie prof. Andrzeja Szytuły. Pracę doktorską, której promotorem był śp. prof. Velibor Marinković z Lublany, obronił w 1989 r. Habilitował się w 1998 r. na podstawie rozprawy zamówionej do druku w springerowskiej serii *Advances in Polymer Science* (tom 148). Tytuł naukowy otrzymał 11 grudnia 2003 r.



Interesuje się fizyką materii skondensowanej, zwłaszcza fizyką materii miękkiej na pograniczu nanotechnologii. Ostatnio bada zjawiska samoorganizacji w nanometrowych warstwach makromolekuł, także przy użyciu technik miękkiej litografii (szczegóły na stronie [www.if.uj.edu.pl/ZFCS/polyfilms/](http://www.if.uj.edu.pl/ZFCS/polyfilms/)).

Od czasu stażu w Instytucie „Jożef Stefan” (1987–88) zajmował się poszukiwaniem nowych faz kryształów aperiodycznych oraz opisem ich struktury i symetrii. Po doktoracie przebywał jako stażysta (1989–92) i częsty gość (1993–95) w grupie prof. Jacoba Kleina z Instytutu Weizmanna. Zainteresował się wtedy fizyką powierzchni międzyfazowych polimerów. Badał je za pomocą akceleratora Van de Graaffa (później także w grupie prof. Rüdiger’a Brenna z Fryburga). Obecnie we współpracy z kolegami ze środowiska krakowskiego (ŚLAFiBS UJ, AGH, IFJ PAN, IF UJ) stosuje spektroskopię mas jonów wtórnych i mikroskopię skanującego próbnika. Opublikował ponad 50 recenzowanych prac naukowych, opisujących m.in. segregację, separację i warunki współistnienia faz, przejście do całkowitego zwilżania, zmiany konformacyjne kopolimerów, tworzenie i odwzorowanie struktur cienkowarstwowych.

Prowadzi wykłady z podstaw fizyki materii skondensowanej. Wypromował jednego doktora (drugi otwarty przewód w toku). Pełnił funkcję skarbnika Oddziału Krakowskiego PTF (1993–95), sekretarza naukowego IF UJ (1999–2002) a od 2002 jest zastępcą dyrektora IF UJ od spraw naukowo-badawczych.

## ■ Wojciech Sadowski

Urodził się w 1954 r. w Ostaszewie koło Torunia. Przez rok studiował w WSI w Bydgoszczy, a następnie w Leningradzkim Instytucie Elektrotechnicznym (Wydział Elektrofizyczny), gdzie uzyskał w 1979 r. dyplom mgra inż. elektroniki w zakresie aparatury elektronicznej, a w 1984 r., po 3-letnich studiach doktoranckich – dyplom kandydata nauk fizyczno-matematycznych.

W 1979 r. został asystentem na Politechnice Gdańskiej, gdzie pracuje do chwili obecnej. W 1987 r. otrzymał stypendium rządu Szwajcarii, dzięki czemu odbył roczny staż na Politechnice Lozańskiej, w centrum IBM w Zurychu oraz 5-letni kontrakt na Uniwersytecie Genewskim. To w tym okresie rozpoczęła się jego wielka naukowa przygoda z nadprzewodnictwem, kryształami tlenkowymi i nanotechnologią – zagadnieniami, którymi się do dzisiaj zajmuje. W roku 1997 habilitował się w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN na podstawie pracy dotyczącej nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Tytuł profesora nauk fizycznych otrzymał 20 sierpnia 2003 r.



Jego zainteresowania naukowe obejmowały technologię półprzewodnikową (heterozłącza), optoelektronikę, półprzewodniki amorficzne, nadprzewodnictwo, wzrost kryształów i cienkich warstw, wytwarzanie ceramiki, metody anihilacji pozytonów, XRD, SEM, STM/AFM i in. Obecnie zajmuje się przede wszystkim materiałami nadprzewodnikowymi YBaCuO i NdCeCuO, a szczególnie interesują go efekty nanorozmiarowe w tych materiałach. Jego dorobek naukowy obejmuje ponad 140 publikacji.

Od roku 1999 kieruje Katedrą Fizyki Ciała Stałego, a od 2002 r. pełni funkcję prorektora PG ds. Współpracy ze Środowiskiem Gospodarczym i Inicjatyw Europejskich.

Jest żonaty (Irena) i ma jednego syna (Andrzej). Lubi muzykę, szczególnie ambitną piosenkę francuską, pasjonuje go historia Francji i Rosji, architektura Paryża i Sankt Petersburga. Jego wielką pasją zawodową jest popularyzacja fizyki.



# Wierzę w przewagę być nad mieć

Z dr. Janem Łażewskim z IFJ PAN, laureatem Nagrody im. Henryka Niewodniczańskiego, rozmawia Małgorzata Nowina Konopka

**Małgorzata Nowina Konopka [MNK]** – Uprawiasz fizykę komputerową, która obok fizyki teoretycznej i doświadczalnej stała się trzecią metodą badania materii. Na czym polega ta metoda? Jakie są jej możliwości?

**Jan Łażewski [JŁ]** – Fizyka, którą uprawiam, leży na pograniczu fizyki teoretycznej i doświadczalnej, ściślej mówiąc, stanowi ich wzajemne przecięcie. Z jednej strony opiera się na równaniach mechaniki kwantowej, opisujących oddziaływanie obecne w materii, z drugiej zaś pozwala na badanie własności wirtualnej materii metodami stosowanymi powszechnie w eksperymencie. W dużym uproszczeniu można by powiedzieć, że w pamięci komputera potrafimy budować obiekty będące przedmiotem fizyki doświadczalnej i przeprowadzać wirtualne eksperymenty, obliczając z dużą dokładnością dla konkretnego materiału własności wyznaczone do tej pory jedynie na drodze pomiarów laboratoryjnych. Szybki rozwój teorii mechaniki kwantowej, metod numerycznych oraz gwałtowny postęp technologii komputerowej powodują ciągły wzrost możliwości tego typu rachunków. Osiągana w nich duża dokładność i stosunkowo niska cena ich prowadzenia poszerzają wciąż zakres ich zastosowań. I choć oczywiście jest, że fizyka nigdy nie może zrezygnować z eksperymentu, to jednak precyzyjne przewidywania mogą zaoszczędzić czas i środki, skierować wysiłek eksperymentatorów na bardziej wyrafinowane pomiary i w efekcie znacznie przyspieszyć postęp nauki i techniki.

**MNK** – Sądząc po tytułach Twoich kilkunastu publikacji z ostatnich trzech lat, za które otrzymałeś Nagrodę im. Niewodniczańskiego, głównym tematem Twoich badań jest dynamika sieci oraz własności fizyczne kryształów. Czy mógłbyś powiedzieć, jakie własności badałeś?

**JŁ** – Stosowane przeze mnie metody obliczeniowe pozwalają obecnie na pełną charakterystykę kryształów o niezbyt skomplikowanej strukturze, czyli takich, które można opisać, rozpatrując nie więcej niż 100 atomów. Oprócz parametrów struktury krystalicznej potrafimy badać własności sprężyste, elektryczne, magnetyczne, wibracyjne, jak również analizować drgania własne występujące w kryształach i związane z nimi takie wielkości termodynamiczne, jak energia swobodna i ciepło właściwe. Wszystkie wymienione własności możemy obliczać z dużą dokładnością dla kryształów znajdujących się pod wpływem dowolnie dużego ciśnienia. W ostatnich latach pojawiła się też możliwość badania niektórych przejść fazowych. Wybiegając myślą w przyszłość, można powiedzieć, że umiejętność prowadzenia tego typu obli-

czeń, połączona ze znajomością zjawisk wpływających na zmianę poszczególnych własności, powinna kiedyś umożliwić konstruowanie materiałów o zadanych charakterystykach fizykochemicznych.

**MNK** – Jakie są Twoje najważniejsze wyniki?

**JŁ** – Za najważniejsze osiągnięcie ostatnich lat uznałbym analizę stabilności faz krystalicznych półprzewodnika  $\text{CuInSe}_2$ . Materiał ten używany jest do masowej produkcji baterii słonecznych. Eksperymentalnie stwierdzono, że kryształy  $\text{CuInSe}_2$  oprócz podstawowej struktury chalkopiryty zawierają liczne wytrącenia o innej strukturze ( $\text{CuAu}$ ). Na podstawie przeprowadzonych rachunków udało mi się wyjaśnić przyczynę powstawania tych wytrąceń. Ponadto zaproponowałem łatwy sposób identyfikacji stopnia zanieczyszczenia niepożądaną strukturą, który obecnie jest przedmiotem badań doświadczalnych. Wyniki zostały opublikowane we współpracy z przedstawicielami przemysłu optoelektrycznego w *Physical Review B*.

Innym ciekawym tematem moich badań przeprowadzonych w ostatnich latach były własności dynamiczne półmetal  $\text{HgSe}$ . Materiał ten pomimo zerowej przerwy energetycznej (co jest cechą metalu) bardzo słabo przewodzi prąd i ma skończoną wartość stałej dielektrycznej (cecha półprzewodnika). Za pomocą rachunków udało mi się wykazać, w jaki sposób zwiększenie liczby swobodnych nośników prądu elektrycznego wpływa na drgania optyczne kryształu i w jakim stopniu zmienia stałą dielektryczną tego materiału.

**MNK** – Z wyjątkiem Nagrody Nobla sukcesy fizyków są dla przeciętnego człowieka niezrozumiałe. Jesteś autorem ponad 20 artykułów w najlepszych światowych czasopismach naukowych: *Physical Review*, *Journal of Applied Physics*, *Journal of Chemical Physics*, *Physica Status Solidi* itd. Twoje wyniki są kilkadziesiąt razy cytowane w różnych prestiżowych wydawnictwach. Teraz otrzymałeś Nagrodę im. Henryka Niewodniczańskiego. Czy uważasz, że Twoje życie jest przez to bogatsze niż innych ludzi czy wręcz przeciwnie, dla takich osiągnięć rezygnujesz z innych atrakcji?

**JŁ** – W pracy zawodowej bardziej niż publikacje, cytowania i nagrody ubogacają mnie spotkania z ludźmi, wspólne rozwiązywanie problemów, przekraczanie przeróżnych ograniczeń. Oczywiście odnoszenie sukcesów jest miłe i dodatkowo motywuje do pracy. Jak każdy naukowiec, pragnę rozpowszechnienia własnych wyników, dlatego wybieram najpoczytniejsze czasopisma. Stąd też bierze się większa liczba cytowań. Byłbym jednak nie-

uczciwy, gdybym mówiąc o publikacjach nie wspominał, że są one zwykle dziełem zespołowym. Konieczny jest pomysł, postawienie problemu, znalezienie rozwiązania, wykonanie odpowiednich rachunków i w końcu napisanie artykułu. Zwykle jest jakiś autor wiodący, któremu przypisuje się główne autorstwo, ale bez udziału swoich kolegów sam zdziałałby niewiele. Niestety, przy cytowaniu czy nagradzaniu często zapomina się o pozostałych autorach.

Jeśli chodzi o rezygnacje ze względu na zainteresowania, to mam je już chyba za sobą. Pamiętam, że miewałem ciężkie chwile, kiedy koledzy z klasy przesiadywali na podwórku lub chodzili nad Wisłę, a ja rozwiązywałem zadania dla ambitnych. Albo gdy znajomi, którzy po ukończeniu szkoły podjęli pracę zarobkową lub wybrali łatwiejsze studia, wyjeżdżali w góry podczas sesji, w której ja miałem dziesięć egzaminów. Wtedy bywały chwile zwątpienia. Dzisiaj, kiedy się spotykamy, przeważnie mi zazdroszczą. Ja mam ciekawą, rozwijającą, przynoszącą satysfakcję pracę, możliwość częstych wyjazdów, długie wakacje – oni monotonną, często fizyczną pracę albo w ogóle jej nie mają.

**MNK** – W odróżnieniu od wielu młodych fizyków, którzy jeżdżą do wielkich ośrodków europejskich lub amerykańskich, większość prac wykonałeś w Krakowie. Dlaczego?

**JŁ** – Bardzo sobie cenię wiedzę i doświadczenie innych. Dlatego dużo czytam, koresponduję, jeżdżę na konferencje. Wszystkie moje prace wykonuję we współpracy, często międzynarodowej. Każdą publikację przed wystąpieniem do czasopisma konsultuję z bardziej doświadczonymi kolegami. Kilka tematów opracowałem na prośbę i pod opieką fizyków doświadczalników, jedną pracę wykonałem na konkretne zamówienie przemysłu. Obecnie współpracuję z kilkoma znanymi ośrodkami naukowymi: Argonne National Laboratory (USA), Uniwersytecie Wiedeńskim, European Synchrotron Radiation Facility w Grenoble, grupą profesora Hansa Neumanna z Solarion GmbH w Lipsku, Uniwersytecie Warszawskim. W ciągu ostatnich czterech lat dwukrotnie kierowałem zespołem badawczym, realizując projekty (granty) finansowane przez Komitet Badań Naukowych. Tak więc nie jestem samotnikiem, samodzielnie rozwijającym jakąś tematykę. Z drugiej strony specyfika prowadzonych przeze mnie badań naukowych nie wymaga długoterminowych wyjazdów. Jeśli wyjeżdżam, to na krótkie konsultacje lub konferencje naukowe. Obliczenia przygotowuję i wyniki opracowuję na zwykłym pececie, a rachunki wykonuję na wielkich komputerach obliczeniowych w różnych zakątkach świata dostępnych za pomocą internetu. Korzystając z poczty elektronicznej, konsultuję wyniki ze wszyst-

kimi współautorami, siedząc przy biurku w Instytucie lub w domu. Bardzo mi to odpowiada, bo jestem domatorem i nie lubię opuszczać ani rodziny, ani Polski.

**MNK** – Wielu ludzi uważa, że uprawianie fizyki jest przedsięwzięciem nieekonomicznym ze względu na czasochłonność, trudny warsztat oraz nikłe efekty materialne. Czy chciałbyś, aby Twoi synowie zajęli się pracą naukową? Czy sądzisz, że dzieciństwo w rodzinie naukowca sprzyja takim wyborom drogi życiowej?



Jan Łażewski z synami Stasiem i Wojtusiem

**JŁ** – Wierzę w przewagę być nad mieć. Uważam, że w życiu nie można kierować się wyłącznie ekonomią. Dlatego nigdy nie żałowałem szeroko rozumianych inwestycji w siebie i rodzinę. Jestem przekonany, że solidne wykształcenie otwiera wręcz nieograniczone horyzonty realizacji samego siebie. Uprawianie nauki daje możliwość ciągłego rozwoju i pozwala na stosunkowo łatwą zmianę zawodu przez zmianę tematyki czy firmy. A pieniądze? One szczęścia nie dają. Trzeba natomiast dobrze nimi gospodarzyć. Ja to zadanie powierzyłem mojej żonie i chyba dlatego nigdy nam ich nie brakowało.

Dzieci mimo woli przesiadają światem zainteresowań rodziców. Zwłaszcza podziwiając sukcesy zawodowe rodziców, pragną ich naśladować. Kiedyś usłyszałem następującą rozmowę moich chłopców: – To ja będę tatusiem – powiedział starszy. – A ja... profesorem – ripostował młodszy. Kiedy indziej, podczas choroby, młodszy prosił mamę, żeby zmierzyła mu gorączkę termometrem „enter-ciowym” (rtęciowym). Oczywiście nie zamierzam na siłę dokonywać za synów wyboru życiowej drogi. Na początku przygody z nauką życzę im wytrwałości i dociekliwości w zdobywaniu wiedzy, dobrych nauczycieli oraz właściwego stosunku do dóbr materialnych.

## ■ Tytuły profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymali w dniu 2 kwietnia 2004 r.: Andrzej Burian (UŚI), Krzysztof Marian Górski (UW i Caltech), Leon Zygmunt Murawski (PG), Antoni Marek Szczurek (IFJ PAN, Kraków), Małgorzata Maria Śliwińska-Bartkowiak (UAM).

[www.prezydent.pl](http://www.prezydent.pl)

## ■ Stypendia FNP dla młodych naukowców

Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej po raz dwunasty przyznała roczne stypendia krajowe dla najlepszych młodych naukowców. Napłynęło 747 zgłoszeń, w wyniku konkursu przyznano 104 stypendia po 20 tys. złotych.

Wśród laureatów jest 6 fizyków: Adam Bednorz (UW), Robert Kudrawiec (PWR), Sebastian Pawlus (UŚI), Piotr Wasylczyk (UW), Andrzej Wereszczyński (UJ), Tomasz Zaleski (INTiBS PAN) oraz jeden geofizyk: Krzysztof Markowicz (UW).

Uroczyste wręczenie dyplomów odbyło się 20 marca 2004 r. na Zamku Królewskim w Warszawie.

B. W.

## ■ Doktorat honorowy Maianiego

7 listopada 2003 r. Luciano Maiani otrzymał tytuł doktora honoris causa Uniwersytetu Warszawskiego. Gratulujemy!



Luciano Maiani (fot. Marcin Kluczek, zdjęcie udostępnione przez Biuro Promocji i Informacji UW)

Maiani (ur. w 1941 r.) jest autorem lub współautorem ponad 100 publikacji naukowych w dziedzinie teorii cząstek elementarnych. Najbardziej znanym z jego wyników jest analiza konsekwencji ewentualnego istnienia czwartego kwarka (powabnego) dla oddziaływań słabych (1970, wspólnie z Sheldonem Glashowem i Johnem Iliopoulusem). Propozycja (zwana od nazwisk autorów mechanizmem GIM) spowodowała poważne potraktowanie

tej idei, a sam mechanizm był kluczowy dla sformułowania Modelu Standardowego.

Choć idea istnienia czwartego kwarka istniała już co najmniej od 1963 r. (a w 1964 r. w pracy J.D. Björkena i S. Glashowa pojawiła się po raz pierwszy nazwa „kwark powabny”), pomysł był początkowo uzasadniany głównie względami estetycznymi. Autorzy mechanizmu GIM rozpatrzyli konsekwencje istnienia takiego kwarka dla słabych oddziaływań hadronów. We wszystkich znanych wtedy modelach (zarówno w oddziaływaniach czterofermionowych, w modelach naładowanych mezonów wektorowych, jak i w elektrosłabej teorii cechowania) występowanie obserwowanych doświadczalnie prądów naładowanych zmieniających dziwność prowadziło do prądów neutralnych także ją zmieniających. Efektów takich (np. rozpad  $K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu}$ , duże różnice w masach  $K_1$  i  $K_2$ ) nie zaobserwowano. Glashow, Iliopoulos i Maiani wykazali, że obecność czwartego kwarka eliminuje (we wszystkich rzędach rachunku zaburzeń!) prądy neutralne zmieniające dziwność, zachowując prądy naładowane.

Oto jak John Iliopoulos wspomina historię wspólnych prac nad mechanizmem GIM (cytat za laudacją prof. Andrzeja K. Wróblewskiego):

„Kilka tygodni później na Harvardzie dołączył do nas Luciano Maiani. Wcześniej go nie znałem, ale prawie natychmiast się zaprzyjaźniliśmy. Shelly i ja nie mieliśmy trudności, żeby przekonać go do dwóch spraw. Po pierwsze, że problem rozbieżności w rzędzie wyższym niż wiodący był bardzo poważny, a po drugie, że powinien przyłączyć się do nas, aby go rozwiązać. W naszej współpracy szybko stworzyliśmy pewien model pracy. Każdego dnia jeden z nas miał nowy pomysł, a dwóch pozostałych starało się mu udowodnić, że był on głupi. Później zamienialiśmy się rolami. Często dyskusja przeciągała się i trwała nawet podczas kolacji. . . Nie poczyniliśmy żadnego znaczącego postępu przez kilka tygodni. Pewnego dnia, z jakichś powodów, Luciano przyszedł później. Ja starałem się w obecności Shelly'ego obronić nowy pomysł, który wymagał wprowadzenia nowego rodzaju leptonów. Martwiłem się zwłaszcza rozpadem długożyciowego kaonu na dwa miony. Wskutek ataków Shelly'ego zmieniałem swój schemat i rysowałem różne diagramy na tablicy, ale za każdym razem Shelly znajdował nowy błąd. Pamiętam, że w pewnym momencie narysowałem nowy diagram i zapytałem. – A co powiesz na to? – Shelly odpowiedział: – Jest świetny, poza tym, że nie istnieje. – Zapytałem dlaczego, a on odpowiedział: – Ty idioto, on wymaga nie nowego leptonu, lecz nowego kwarka. – Przez pomyłkę narysowałem zły diagram, w którym elektron był w miejscu kwarka. W tym momencie do pokoju wszedł Luciano i zapytał: – Cóż to za nowa teoria z czterema kwarkami? – Obydwaj spojrzeliśmy na niego. Magiczne słowo zostało wypowiedziane. ( . . . ) Sprawdzenie wszystkiego i udowodnienie, że rozbieżności znikają we wszystkich rzędach, nie zajęło nam dużo czasu. Już wczesnym popołudniem przekonaliśmy się, że znaleźliśmy właściwe rozwiązanie. Oka-

zało się ono tak proste, że było nam wstyd, iż potrzebowaliśmy tak dużo czasu na jego znalezienie. Nawet dzisiaj, kiedy to wykładam, trudno mi jest przekonać studentów, że to nie było tylko tak proste ćwiczenie" (J. Iliopoulos, „What a Fourth Quark Can Do”, w: *The Rise of the Standard Model*, red. L. Hoddeson, L. Brown, M. Riordan, M. Dresden (Cambridge University Press, Cambridge 1997), s. 447 – tłum. A.K. Wróblewski).

Same cząstki powabne zostały rzeczywiście odkryte kilka lat później (mezon  $J/\psi$ , 1974), a własności odkrytych w 1976 r. mezonów  $D^0$  były zgodne z przewidywaniami opartymi na GIM. Ten sam mechanizm był podstawą oczekiwania po odkryciu leptonu  $\tau$  (co nastąpiło w 1976 r.) i hadronów z kwarkiem  $b$  (1977), że powinni istnieć ich parterzy: neutrino taonowe i kwark  $t$  (odkryty dopiero w 1995 r.).

Z innych osiągnięć Maianiego należy wymienić wyjaśnienie (wraz z G. Altarellim, 1974) obserwowanego wzmocnienia oktetu w słabych nieleptonowych rozpadach hadronów (wyjaśnionego jako efekt wymiany gluonów); analizę łamania CP w teorii z sześcioma kwarkami (1976); oszacowanie granicy na elektryczny moment dipolowy neutronu; partonowy opis słabych rozpadów ciężkich hadronów (z N. Cabibbo, Altarellim, M. Corbo i G. Martinellim, 1978–79); ograniczenia na masę bozonu Higgsa (z Cabibbem, G. Parisim i R. Petronzio, 1979); pierwsze przewidywania, przy użyciu sieci QCD, stałych rozpadu pseudoskalarnych mezonów powabnych  $D$  i  $D_s$  (z M.B. Gavelą, Martinellim, O. Pénem, S. Petrarką, 1988) i mezonów  $B$  (z C.R. Alltonem, C.T. Sachrajdą, V. Lubiczem i Martinellim, 1991).

Maiani jako jeden z pierwszych wskazywał (w wykładach w Gif-sur-Yvette, 1980) na potrzebę miękkiego łamania supersymetrii, aby ustabilizować poprawki kwantowe wynikające z wielkich różnic między skalami unifikacji elektrosłabej i wielkiej unifikacji (skala masy Plancka). Poszukiwanie cząstek supersymetrycznych jest jednym z głównych celów eksperymentów wykonywanych w obecnych (LEP, Tevatron) i przyszłych (LHC) akceleratorach cząstek elementarnych.

Od 1997 r. Maiani był przewodniczącym rady CERN-u, a w latach 1999–2003 jego dyrektorem generalnym (1 stycznia 2004 r. zastąpił go Robert Aymar). Jest laureatem wielu prestiżowych nagród i doktorem honoris causa kilku uniwersytetów.

Marek Więckowski

## ■ Nagroda im. Henryka Niewodniczańskiego

W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie przyznano doroczną nagrodę im. Henryka Niewodniczańskiego dla młodych pracowników naukowych i doktorantów Instytutu za najlepszą pracę lub cykl prac z fizyki.

W roku 2004 nagrodę otrzymał dr Jan Łażewski za wybitne osiągnięcia w zastosowaniu obliczeń z pierwszych zasad w badaniach struktury i dynamiki ciał stałych. Przedstawiony do nagrody cykl aż 12 publikacji z ostatnich trzech lat to prace zamieszczone w najbardziej

renomowanych czasopismach fizycznych: dwie w *Physical Review B*, jedna w *Journal of Applied Physics*, trzy w *Journal of Chemical Physics* itd. Dotyczą one m.in. oryginalnych obliczeń wykazujących bezpośrednią zależność rozszczepienia gałęzi fononowych LO/TO od niewielkich zmian koncentracji nośników w pasmie przewodnictwa w HgSe. Autor zaproponował również sposób doświadczalnej weryfikacji tego zjawiska. Dla kryształu  $\text{CuInSe}_2$  podał prostą metodę identyfikacji stopnia zanieczyszczenia strukturą  $\text{CuAu}$  za pomocą badania częstości drgania o symetrii  $A_1$ . Kilka prac poświęcił badaniu sprężystości chalkopirytów. Wyniki Jana Łażewskiego są zauważane i – według danych ISI Web of Science z 31 grudnia 2003 r. – już 68 razy cytowane w literaturze.

Nagrodę przyznano już ósmy raz. Poprzednimi laureatami byli: dr Maciej Skrzypek, dr Piotr Zieliński, dr Anna Staśto, dr Małgorzata Lekka, dr Jarosław Kwapien, dr Maria Kmiecik, dr Beata Ziaja-Motyka. (Na s. 138 zamieszczamy rozmowę z tegorocznym Laureatem – red.).

Małgorzata Nowina Konopka

## ■ Nagroda EPS za polimery

Europejskie Towarzystwo Fizyczne przyznało w roku 2003 nagrodę ufundowaną przez Agilent Technologies (Palo Alto, Kalifornia) za „odkrycie nowych faz ciekłych kryształów – polimerowych elastomerów – oraz za badania teoretyczne ich nadzwyczajnych własności”. Laureatami są: Heino Finkelmann (Instytut Chemii Makromolekularnej Uniwersytetu we Freiburgu) i Mark Warner, profesor fizyki teoretycznej w Cavendish Laboratory, Cambridge.

*Phys. Today* 57, nr 2 (2004)

B. W.

## ■ Dyrektor CERN-u o zacieśnianiu współpracy

*CERN Courier* w zeszycie z marca 2004 r. zamieścił wypowiedź Roberta Aymara, który od początku roku jest dyrektorem generalnym CERN-u.

Nawiązując do założeń programowych tej powstałej przed 50 laty organizacji, Aymar powiedział, że zasadnicze punkty programu działalności CERN-u są na ogół dobrze realizowane, lecz dotychczas niedostateczną uwagę przywiązywano do międzynarodowej współpracy z innymi laboratoriami.

Już w 2000 r. Komisja Europejska rozważała projekt utworzenia Europejskiej Przestrzeni Badań Naukowych (European Research Area, ERA), co miałyby doprowadzić w roku 2010 do „gospodarki najbardziej w świecie konkurencyjnej i dynamicznej – opartej na wiedzy”. Chodzi o to, aby lepsza współpraca między różnymi laboratoriami europejskimi pozwoliła unikać niepotrzebnego dublowania badań. Aymar jest zdania, że powstała okazja, aby Komisja Europejska pomogła zacieśnić tę współpracę. CERN powinien koordynować prace w dziedzinie fizyki cząstek, należy bowiem do swoich krajów członkowskich, które powinny odnosić z tego korzyści.

*CERN Courier* 44, nr 2 (2004)

B. W.



## ■ Estonia chce bliższej współpracy z CERN-em

Parlament estoński postanowił w latach 2004–10 przeznaczyć z budżetu państwa 100 tys. euro rocznie na rozszerzenie współpracy naukowej z CERN-em.

Naukowcy z Państwowego Instytutu Fizyki Chemicznej i Biofizyki, Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Tartu, Politechniki w Tallinie i Obserwatorium Astronomicznego w Tartu brali już udział w badaniach w CERN-ie. Planuje się teraz zwiększenie udziału Estończyków w pracach z teoretycznej i doświadczalnej fizyki cząstek, w tym w eksperymentach przy Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC), a także z informatyki oraz materiałoznawstwa. Studenci estońscy będą też szkoleni w CERN-ie. Na początek sześciu z nich ma wziąć udział w letnich kursach w 2004 r.

*CERN Courier* 44, nr 2 (2004)

B. W.

## ■ Polskie detektory w Kosmosie

Pod koniec 2003 r. z kosmodromu Bajkonur wystrzelono w kierunku Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) raketę Progress, która wyniosła „Matrioszkę” – fantom ciała ludzkiego wyposażony w bardzo liczne czujniki promieniowania kosmicznego, rozmieszczone równomiernie w całej objętości. Manekin zostanie umieszczony na zewnątrz stacji i przez rok będzie poddawany działaniu promieniowania kosmicznego.

Wśród głównych uczestników tego eksperymentu są polscy fizycy: dr Paweł Bilski z zespołem Samodzielnej Pracowni Ochrony przed Promieniowaniem Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, którą kieruje dr hab. Paweł Olko.

Spośród całkowitej liczby 5370 czujników promieniowania znajdujących się wewnątrz manekina aż 3140 opracowano i wykonano w IFJ PAN. Czujnikami tymi są detektory termoluminescencyjne (TL) oryginalnej konstrukcji krakowskich naukowców. Oni też po powrocie fantomu na Ziemię dokonają w IFJ PAN analizy sygnałów z czujników.

Umieszczenie fantomu na stacji kosmicznej ma na celu wyznaczenie dawek promieniowania pochłoniętych przez poszczególne narządy ciała ludzkiego. Oszacowanie zagrożeń dla organizmu człowieka stwarzanych przez promieniowanie jonizujące jest niezwykle istotne wobec coraz częstszej obecności ludzi w kosmosie i w perspektywie planowanej załogowej wyprawy na Marsa.

Eksperyment „Matrioszka” jest zdecydowanie największym tego typu przedsięwzięciem, jakie kiedykolwiek przeprowadzono w przestrzeni kosmicznej. Jego głównym organizatorem jest Europejska Agencja Kosmiczna. Bezpośrednio kieruje nim dr Günter Reitz z niemieckiego ośrodka badań kosmicznych (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) w Kolonii. On też dobrał współpracowników do udziału w projekcie. Oprócz Polaków zaproszeni zostali oczywiście Niemcy, a także Austriacy i Amerykanie. Rosjanie zapewнили transport fantomu na stację orbitalną. Nazwa „Matrioszka”, ustalona

kilka lat temu, dotyczy całego projektu. Początkowo planowano, aby fantom, podobnie jak rosyjskie lalki, składał się z kilku warstw.

Udział IFJ PAN w eksperymencie jest częściowo realizowany w ramach projektu kierowanego przez dr. Pawła Bilskiego, a finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Małgorzata Nowina Konopka

## ■ Miony w archeometrii

Badania archeologiczne korzystają od dawna z różnych metod fizycznych umożliwiających oznaczanie wieku badanych obiektów, ich pochodzenia, kształtu i składu chemicznego. W końcu lat sześćdziesiątych XX w. Luis Alvarez (Nagroda Nobla z fizyki 1968) próbował zastosować pomiary strumienia mionów promieniowania kosmicznego do stwierdzenia, czy wewnątrz egipskiej piramidy Chefrena są wnęki grobowe.

Strumień mionów (ujemnych i dodatnich) docierających do powierzchni Ziemi wynosi ok.  $10^4$  na metr kwadratowy i minutę. Miony te są głównie wynikiem rozpadu krótkożyłowych mezonów  $\pi$ , które powstają, gdy protony promieniowania kosmicznego wpadają w górne warstwy atmosfery. Miony są znacznie bardziej przenikliwe niż elektrony, neutrony, promieniowanie rentgenowskie, a nawet promieniowanie  $\gamma$ . Mimo że eksperyment Alvarza nie wykazał istnienia pustych obszarów wewnątrz piramidy Chefrena, wzbudził ogromne zainteresowanie archeologów meksykańskich pragnących się dowiedzieć, czy Piramida Słońca w dolinie Teotihuacán kryje w sobie jakieś groby.



Piramida Słońca

Teotihuacán był od II w. p.n.e. do początku X w. wielkim miastem, ośrodkiem kultury przedazteckiej. Nazwa Teotihuacán, nadana przez Azteków, znaczy „miasto bogów”. W czasach nowożytnych, pod koniec XIX w., rozpoczęto tam prace wykopaliskowe. Główny zespół zabytkowy, centrum kultowe, rozciąga się wzdłuż 2 km drogi, tzw. Drogi Zmarłych. Wzdłuż niej stoją piramidy (niektóre to już tylko ruiny). Dwie z nich, znacznie przewyższające inne i dobrze zachowane, to najwyższa – Pira-



mida Słońca (wysokość 65 m) i mniejsza – Piramida Księżyca (43 m), w której odkryto 4 groby. Archeolodzy przypuszczają, że w prehistorycznych czasach panował tam system wspólnych rządów 4 władców. Teraz pragnęliby się dowiedzieć, czy w Piramidzie Słońca również znajdują się komory grobowe. Badania ma prowadzić zespół archeologów i fizyków. Pracami archeologicznymi kieruje Linda Manzanilla z Instytutu Badań Antropologicznych Narodowego Autonomicznego Uniwersytetu Meksyku, a fizycznymi – Arturo Menchaca, dyrektor Instytutu Fizyki tegoż Uniwersytetu. Rząd meksykański, który ze względów prestiżowych zwykle popiera poszukiwania archeologiczne, chce przeznaczyć na ten cel 500 tys. dolarów. Pod Piramidą Słońca w końcu lat 70. odkryto starożytny tunel i tam właśnie planuje się ustawienie detektora wielodrutowego. Konstruuje go grupa Menchaki, która ma już duże doświadczenie w tym zakresie, zbudowała bowiem częśći urządzenia ALICE dla Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC) w CERN-ie. Natomiast stworzenie odpowiedniego modelu detekcji będzie znacznie trudniejsze niż w przypadku piramidy egipskiej (która jest piramidą geometryczną), a to dlatego, że Piramida Słońca jest piramidą schodkową, pięciostopniową. Dane uzyskiwane z detektora mają być przekazywane telefonem komórkowym do laboratorium Uniwersytetu. Również interpretacja wyników nie musi być jednoznaczna. Jeśli wystąpią różnice sygnałów przychodzących z różnych kierunków, może to wskazywać zarówno na istnienie komór grobowych, jak i pustych przestrzeni powstałych np. na skutek lokalnego osunięcia się ziemi. Ciekawe jednak, jakie będą wyniki tych badań.

*Phys. Today* 57, nr 2 (2004)

B. W.

## ■ Gdzie są niedysyjsze śniegi

Wyniki uzyskane przez europejską misję kosmiczną Mars Express dowodzą istnienia wody na Marsie. Niektóre dane z kilku wcześniejszych, światowych programów badań wskazywały już na obecność wody w atmosferze Marsa, ale dopiero teraz mamy pewność, że na powierzchni planety znajdują się cząsteczki wody.

Sonda Mariner 9 odkryła w 1971 r. formy powierzchni planety pochodzące z erozji, przypominające takie ukształtowania terenu na Ziemi. Stanowiło to wyraźną, lecz nie bezpośrednią wskazówkę, że była tam kiedyś woda lub lód.

Z późniejszych pomiarów temperatury można było wnosić – choć znów nie bezpośrednio – że czapa obszaru południowego bieguna Marsa zawiera wodę w postaci lodu. Temperatury są tam zbyt wysokie, by utrzymywał się zestalony dwutlenek węgla, a zbyt niskie jak na podłoże mineralne. Pomiar spektrometryczny promieniowania  $\gamma$  dowiodły istnienia dużej koncentracji atomów wodoru w warstwie przypowierzchniowej, ale metodą tą nie można było przecież wykryć cząsteczek wody.

W widmach optycznych atmosfery Marsa występują pasma absorpcyjne wody, można też na ich podstawie

wnosić o małym ciśnieniu cząstkowym  $\text{CO}_2$ . Ciśnienie atmosfery jest zbyt niskie, aby na powierzchni mogła być obecna woda w stanie ciekłym. Obecnie jest jasne, że woda jest tam albo w stanie gazowym, albo stałym.

Od czasu misji Vikinga w połowie lat 70. ubiegłego wieku wiadomo, że ilość pary wodnej nad biegunem północnym Marsa znacznie rośnie w czasie lata marsjańskiego. Zaobserwowany wzrost natężenia pasma absorpcyjnego wody przy długości fali  $1,38 \mu\text{m}$  jest wynikiem sublimacji lodu przy podniesionej latem temperaturze. W zimie biegun północny pokryty jest warstwą zestalowanego  $\text{CO}_2$ , która chroni przed sublimacją znajdującą się pod nią wodę.

Pierwszych bezpośrednich dowodów na istnienie przy powierzchni Marsa cząsteczek wody dostarczyły francuskie badania spektroskopowe w zakresie widzialnym i podczerwonym. Widmo z obszaru bieguna południowego zawiera pasma pochodzące od lodu, nie można już więc wątpić, że na powierzchni Marsa istnieje woda w postaci lodu. Natomiast nadal nie wiadomo, w jakiej postaci i ilości oraz gdzie na tej planecie woda była w przeszłości i czy gdzieś się jeszcze ukrywa.

*Phys. J.* 3, nr 3 (2004)

B. W.

## ■ Pluton nadprzewodnikiem?

Fizycy amerykańscy i niemieccy odkryli, że stop plutonu, kobaltu i galu wykazuje nadprzewodnictwo w temperaturze poniżej 18,5 K. Taka temperatura przejścia w stan nadprzewodnictwa wskazuje, że związki plutonu mogą być nową klasą nadprzewodników wysokotemperaturowych. Problemem w ewentualnych zastosowaniach będzie silna promieniotwórczość plutonu.

*Phys. World* 16, nr 1 (2004)

B. W.

## ■ Filantrop zakłada instytuty naukowe

Fundacja, którą założył Fred Kavli, fizyk, Norweg z pochodzenia, amerykański multimilioner, oznajmiła, że przeznacza 100 mln dolarów na ustanowienie i urządzenie 7 uniwersyteckich instytutów badawczych w dziedzinie nanotechnologii, kosmologii i neurobiologii. Kavli uważa, że właśnie te dziedziny badań przyniosą ludzkości dalekosiężne korzyści.

Instytuty nanotechnologii mają powstać w Cornell University, w Caltechu oraz na Politechnice w Delft (Holandia), kosmologii – na Uniwersytecie w Chicago, a neurobiologii – na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego, Yale University i Columbia University.

*Nature* 428, nr 6979 (2004)

B. W.

## ■ Łódzki fizyk w prestiżowym Komitecie

Profesor Jakub Rembieliński z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego został wybrany od 1 stycznia 2004 r. na członka komitetu redakcyjnego czasopisma *Journal of Physics A*.

Marcin Ostrowski



## Wykłady popularne w Oddziale Gliwickim

W semestrze letnim Oddział Gliwicki PTF oraz Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej tradycyjnie organizują „Wykłady popularne z fizyki dla młodzieży”. Wykłady te od lat niezmiennie cieszą się dużym zainteresowaniem. Przeznaczone są dla młodzieży szkół ponadgimnazjalnych, ale na niektóre wykłady zgłaszają się również gimnazjaliści. W ostatniej edycji Wykładów, zakończonej w czerwcu 2003 r., łącznie wzięło udział 2594 uczniów z 32 różnych szkół z Gliwic i najbliższej okolicy (Zabrze, Knurów, Rybnik, Tarnowskie Góry, Ruda Śląska, Lubliniec). Uczniowie niektórych szkół brali udział w Wykładach kilkakrotnie.

Autorzy poszczególnych wykładów, ich tematy oraz frekwencja przedstawiały się następująco: 1) Zygmunt

Kleszczewski, „Lasery”, 133 uczniów; 2) Roman Bukowski, „Siły w przyrodzie”, 1048 uczniów; 3) Andrzej Klimasek, „Ruch drgający”, 429 uczniów; 4) Jerzy Bodzenta, „Fale”, 383 uczniów; 5) Stanisław Kochowski, „Zjawiska elektromagnetyczne”, 317 uczniów; 6) Tadeusz Pustelny, „Czujniki światłowodowe i możliwości ich zastosowania”, 147 uczniów; 7) Jacek Pawłyta, „Czy można zobaczyć promieniowanie jądrowe?”, 237 uczniów.

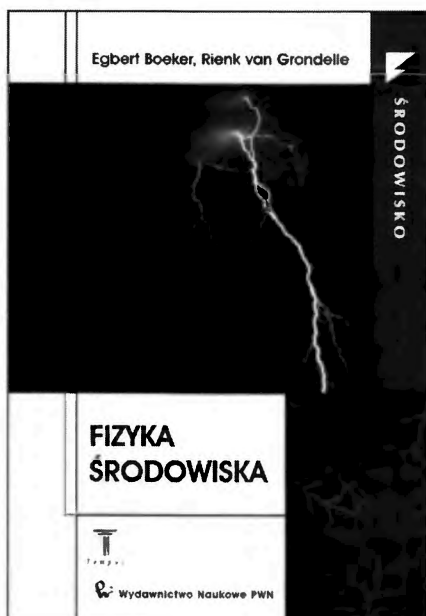
Łącznie odbyło się 13 wykładów. W czasie wszystkich wykładów odbywają się demonstracje różnych zjawisk fizycznych, co znacznie podnosi ich atrakcyjność.

Udział w Wykładach jest odpłatny – cena biletu wynosi 3 zł od ucznia. Łącznie za tę edycję Wykładów Oddział uzyskał 7782 zł. Z kwoty tej 20% odprowadzono do Zarządu Głównego PTF.

*Roman Bukowski*

**PWN WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN**

## Jeden z najpopularniejszych podręczników fizyki środowiska w Europie!



Egbert Boeker, Rienk van Grondelle  
**FIZYKA ŚRODOWISKA**

Podręcznik pokazuje czytelnikowi, że fizyka może pomóc analizować, zapobiegać lub łagodzić problemy środowiska. Przedstawia podstawowe prawa fizyki oraz ich zastosowanie w ważnych zagadnieniach nauki o środowisku.

- bilans energetyczny układu Ziemia - Słońce
- podstawy spektroskopii
- oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego z materią
- klimaty i meteorologia
- rodzaje energii i gospodarka energetyczna
- transport zanieczyszczeń w atmosferze i w zbiornikach wodnych
- problemy hałasu
- fizyczne podstawy teledetekcji
- zarys ekonomicznych, socjologicznych i politycznych zagadnień nieodłącznie towarzyszących zastosowaniom metod fizycznych do analizy i redukcji zanieczyszczeń oraz problemom zapobiegania skażeniom środowiska.

s. 518, cena: 38 zł

Zamów przez telefon: **0 801 351 929** (0,35 zł za impuls) • Zamów przez Internet: **www.pwn.pl**

## WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 2004 r. wynosi 36,00 zł za pół roku, 72,00 zł za rok. Prenumeratę przyjmują:

I. „RUCH” S.A.

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

2. Informacji o prenumeracie ze zleceniem dostawy za granicę udziela Dział Prenumerat i Współpracy z Zagranicą, ul. Jana Kazimierza 31/33, 01-248 Warszawa, tel. (+4822) 5328731, e-mail: prenumerata@okdp.ruch.com.pl, Internet: www.ruch.pol.pl.

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

II. ZARZĄD GŁÓWNY PTF

Wpłaty należy dokonać na konto Zarządu Głównego PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 19 1020 1097 0000 7802 0001 3128 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa *Postępów Fizyki* następuje drogą pocztową pod wskazany adres.

III. ODDZIAŁY PTF

Opłata dla członków PTF oraz studentów wynosi 48,00 zł. Dostawa *Postępów Fizyki* odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

## INFORMACJE DLA AUTORÓW

Artykuły powinny mieć charakter przeglądowy i być dostępne dla ogółu fizyków. Prace należy nadsyłać pod adresem redakcji. O przyjęciu pracy do druku decyduje komitet redakcyjny. Maszynopisów prac niezamówionych i niezakwalifikowanych do druku redakcja nie zwraca. Bardziej szczegółowe informacje na temat układu i sposobu przygotowania pracy znajdują się na stronie internetowej *Postępów Fizyki*.

## REKLAMA W POSTĘPACH FIZYKI

Zapraszamy – szczególnie przedstawicieli producentów aparatury oraz sprzętu i oprogramowania komputerowego, wydawców podręczników i książek naukowych oraz popularnonaukowych – do zamieszczania ogłoszeń reklamowych w *Postępach Fizyki*. Nasze czasopismo dociera do większości polskich fizyków, z których wielu decyduje o bieżących zakupach uczelni, instytutów i szkół. Zainteresowanych prosimy o kontakt z redakcją pod adresem: [postepy@fuw.edu.pl](mailto:postepy@fuw.edu.pl).

## POSTĘPY FIZYKI (ADVANCES IN PHYSICS)

founded in 1949, published bimonthly in Polish with titles in English by the Polish Physical Society with a support of the Polish State Research Committee (KBN) and the Physics Faculty of the Warsaw University.

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to „RUCH” S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Jana Kazimierza 31/33, skrytka pocztowa 12, 00-958 Warszawa, Poland (for details see <http://www.ruch.pol.pl>).

## NOWE KSIĄŻKI

- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, *Podstawy fizyki*, t. I, z jęz. angielskiego tłum. Mirosław Łukaszewski; PWN, Warszawa 2003, s. 328 + 16.
- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, *Podstawy fizyki*, t. II, z jęz. angielskiego tłum. Mirosław Łukaszewski, Włodzimierz Komar i Rafał Bożek; PWN, Warszawa 2003, s. 287 + 17.
- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, *Podstawy fizyki*, t. III, z jęz. angielskiego tłum. Zygmunt Ajduk i Marek Jaworski; PWN, Warszawa 2003, s. 358 + 16.
- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, *Podstawy fizyki*, t. IV, z jęz. angielskiego tłum. Jerzy Prochorow i Rafał Bożek; PWN, Warszawa 2003, s. 185 + 16.
- Zygmunt Kleszczewski, *Wybrane zagadnienia z optyki falowej*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.

## POSTĘPY FIZYKI W INTERNECIE

Zapraszamy do odwiedzania naszej strony internetowej [www.fuw.edu.pl/~postepy](http://www.fuw.edu.pl/~postepy), na której można znaleźć:

- szczegółowe spisy treści wszystkich zeszytów wydanych od 1993 r.,
- materiały dodatkowe, uzupełniające treść niektórych artykułów,
- materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku w 1999 r. i XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu w 2001 r.
- PEŁNE TEKSTY WYBRANYCH ARTYKUŁÓW:

- Wolfgang Ketterle – Gdy atomy zachowują się jak fale: kondensacja Bosego–Einsteina i laser atomowy
- Janusz Zakrzewski – Na 50-lecie odkrycia hiperjader
- Andrzej Krasieński – Jak powstawała teoria względności
- Janusz Zakrzewski – Częstki Modelu Standardowego: co nowego?
- Raymond Davis Jr. – Pół wieku z neutrinami słonecznymi
- Masatoshi Koshiba – Narodziny astrofizyki neutrin
- Riccardo Giacconi – Narodziny astronomii rentgenowskiej

## WKRÓTCE W POSTĘPACH

- *Dalsze wykłady z XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku w 2003 roku, m.in. Jerzego Lukierskiego, Ryszarda Naskręckiego i Anny Ślawskiej-Waniewskiej*
- *Wspomnienia: Julian Auleytner i Erwin-Félix Lewy-Bertaut*





POSITIVE LIGHT

Chameleon



OPerA - OPA 120J



Evolution - 90W @ 5 kHz



Libra - 1 mJ



*Rodzina laserów dla fizyki i chemii femtosekundowej*  
 oscylatory (Chameleon, MiRA)  
 wzmacniacze (Evolution/Libra/Legend)  
 parametryczne układy przestrajalne (OPerA)  
 generatory THz i TW

Eurotek International Sp. z o. o.(od 1992 r.)

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Tel./faks: (22) 843 79 40 / 843 61 43, [inbox@eurotek.com.pl](mailto:inbox@eurotek.com.pl)