


# POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego

M31 CENTER REGION  
30 ARC-SECS:   
EINSTEIN OBSERVATORY



Astronomia rentgenowska

Strzały z bicza

Nowe pierwiastki

# RESNICK HALLIDAY

## REAKTYWACJA

David **Halliday** Robert **Resnick** Jearl **Walker**

### PODSTAWY FIZYKI 1-5



54,90 zł

49,90 zł

54,90 zł

44,90 zł

49,90 zł

**Mechanika**

**Mechanika c.d.**

**Elektryczność  
i magnetyzm**

**Fale  
elektro-  
magnetyczne**

**Fizyka  
współczesna**

•  
**drgania i fale**

•  
**termo-  
dynamika**

•  
**optyka  
i teoria  
względności**

# KOMPLET JUŻ W SPRZEDAŻY!

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, 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 Piętko (Białystok), Marian Głowacki (Częstochowa), Stanisław Zachara (Gdańsk), Roman Bukowski (Gliwice), Krystian Roleder (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Jacek Bieroń (Kraków), Elżbieta Jartych (Lublin), Marcin Ostrowski (Łódź), Ewa Pawelec (Opole), Lidia Skibińska (Poznań), Małgorzata Kłisowska (Rzeszów), Małgorzata Kuzio (Stupsk), Janusz Typek (Szczecin), Józefina Turło (Toruń), Aleksandra Miłosz (Warszawa), Bernard Jancewicz (Wrocław), Justyna Jankiewicz (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Maciej Kolwas (prezes), Katarzyna Chałasińska-Macukow i Reinhard Kulessa (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 Kulessa (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Bogusław Broda (Łódź), Ryszard Pietrzak (Opole), Andrzej Dobek (Poznań), Aleksander B. Szymański (Rzeszów), Grzegorz Karwasz (Stupsk), 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 okładek: Amm Studio, tel.: (22) 6689990, e-mail: amm@amm.com.pl, Internet: www.amm.com.pl

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

ISSN 0032-5430

SPIS TREŚCI

|  |    |
|--|----|
| NAGRODA NOBLA 2002: Nobel z fizyki za nadprzewodnictwo i nadciekłość ..... | 4  |
| A. Sobiczewski – Dwa nowe pierwiastki: 113 oraz 115                        | 7  |
| W. Tomaszewski, P. Pierański – Fizyka strzału z bicza                      | 10 |
| R. Giacconi – Narodziny astronomii rentgenowskiej                          | 19 |
| S. Bednarek – Dokąd zmierza fizyka zabawek? .....                          | 31 |
| O. Nikodym – Znaczenie matematyki czystej dla społeczeństwa .....          | 35 |
| NOWI PROFESOROWIE .....  | 38 |
| WSPOMNIENIA: Maksymilian Pluta (1929–2002) ..                              | 41 |
| ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI .....   | 42 |
| RECENZJE .....   | 43 |
| KRONIKA .....  | 45 |

*Drodzy Czytelnicy,*

*Zaczynamy drugi rok nieco odmienionych Postępów – mamy kolorowe okładki, sporo informacji krótkich, po części wydzielonych z Kroniki, więcej piszemy o sprawach środowiska fizyków i samych fizykach (z życia PTF, nowi profesorowie, jubileusze, wspomnienia).*

*Z różnych zamierzeń sprzed roku nie bardzo nam się udało akcja zdobywania reklam. Po roku stwierdzamy, że stale pomagały nam – i nadal pomagają – dwie firmy: Eurotek International i Wydawnictwo Naukowe PWN. Bez wątpienia zawdzięczamy to wielkiej życzliwości i sympatii pani dyrektor Anny Szemberg z PWN-u i pana doktora Józefa Dresnera z Euroteku. Dziękujemy Ci, Anko, dziękujemy Ci, Józku. Może tym śladem pójdą i inni...*

*Co polecamy w tym zeszycie? Chyba wszystko, bo myślimy, że każdy znajdzie coś dla siebie – poważny wykład noblowski Giacconiego lub dowcipne strzały z bicza Tomaszewskiego i Pierańskiego, nowości ze świata najcięższych pierwiastków lub informacje o Noblu 2003 za nadprzewodnictwo i nadciekłość, rozważania o przyszłości fizyki zabawek lub jakże wciąż aktualny odczyt Ottona Nikodyma (z 1929 r.!) o znaczeniu matematyki czystej dla społeczeństwa. A jest też w tym zeszycie wspomnienie, recenzja, Kronika oraz informacje z życia Towarzystwa, w tym prezentacja laureatów Medalu Smoluchowskiego.*

*Ciekawej lektury,*



*Mirek Łukaszewski*

*Na okładce:*

*Rentgenowskie układy podwójne w obszarze centralnym galaktyki M31 (Wielkiej Mgławicy w Andromedzie) zarejestrowane przez obserwatorium Einstein – patrz wykład noblowski Riccarda Giacconiego, s. 19.*



## Medale Smoluchowskiego

Najwyższe odznaczenie Polskiego Towarzystwa Fizycznego – Medal Mariana Smoluchowskiego – za lata 2003–2004 otrzymali: Andrzej Białaś (za wybitne osiągnięcia w fenomenologii cząstek elementarnych oraz stworzenie szkoły fizyki teoretycznej w Krakowie) i Stefan Pokorski (za wybitne osiągnięcia w teorii cząstek elementarnych oraz stworzenie szkoły fizyki teoretycznej w Warszawie).

### Andrzej Białaś

Andrzej Białaś (ur. w 1936 r.) jest jednym z najwybitniejszych fizyków polskich, twórcą krakowskiej szkoły fizyki teoretycznej cząstek elementarnych. Po uzyskaniu na Uniwersytecie Jagiellońskim doktoratu za pracę z teorii względności zajął się opisem procesów rozpraszania i produkcji cząstek, uzyskując cenne wyniki dotyczące wielu szczegółowych problemów. Należy tu wymienić m.in. zastosowanie modelu kwarków do opisu procesów dwuciałowych, klasyfikację korelacji w produkcji wielorodnej, proste fizyczne modele wielorodnej produkcji w zderzeniach z jądrami ze szczególnym uwzględnieniem efektu czasu formacji, modele plazmy kwarkowo-gluonowej i jej ewentualnej ewolucji w zderzeniach ciężkich jonów. Sformułowanie pojęcia intermitencji w wielorodnej produkcji doprowadziło do rozwoju nowego kierunku badań, a dwie podstawowe prace prof. Białaśa na ten temat były łącznie cytowane niemal tysiąc razy w literaturze naukowej. W ostatnich latach wyróżnić można m.in. dalsze badania różnych aspektów korelacji i fluktuacji, rozszerzenie zastosowań modelu dipoli kolorowych chromodynamiki kwantowej do opisu zderzeń hadronów i analizę różnych problemów związanych z efektem statystyki Bosego–Einsteina dla produkcji cząstek. Łączna liczba jego publikacji naukowych przekracza dwieście.

Andrzej Białaś jest jednym z najczęściej cytowanych fizyków polskich; jego prace cytowano ok. 4000 razy. Corocznie zapraszany jest do wygłoszenia referatów przeglądowych na najbardziej prestiżowych konferencjach. Warto podkreślić jego bliską współpracę z grupami doświadczalnymi, owocującą nie tylko wspólnymi publikacjami, ale często i bezpośrednim udziałem w planowaniu eksperymentów. Za swoje osiągnięcia był wielokrotnie nagradzany, m.in. nagrodami resortowymi, nagrodą państwową i Nagrodą Alfreda Jurzykowskiego, a w roku 1998 został pierwszym laureatem polsko-niemieckiej Nagrody Warburga–Smoluchowskiego. Wkrótce po reaktywacji Polskiej Akademii Umiejętności został do niej powołany, pełnił funkcję dyrektora Wydziału III, a od roku 2000 jest jej prezesem. Jest też członkiem Polskiej Akademii Nauk.

Innym wyrazem autorytetu, jakim prof. Białaś cieszy się w środowisku naukowym, było powierzenie mu obowiązków dyrektora Instytutu, potem dziekana Wydziału, a wreszcie jego wybór jako reprezentanta Uniwersytetu Jagiellońskiego do Rady Głównej Szkolnictwa Wyższego, w której pełnił następnie obowiązki przewodniczącego. Na arenie międzynarodowej powierzano mu ważne funkcje w CERN-ie w Genewie.

Cechą szczególnie wyróżniającą Andrzeja Białaśa jest jego zdolność gromadzenia wokół siebie grup młodych fizyków, którymi znakomicie potrafi kierować i zachęcać do pracy. Warto wspomnieć, że pod jego kierunkiem przygotowali rozprawy doktorskie nie tylko polscy, ale i zagraniczni fizycy. Był inicjatorem współpracy międzynarodowej z wieloma ośrodkami światowymi, w tym współorganizatorem pierwszego organizowanego w Polsce międzynarodowego sympozjum poświęconego produkcji wielorodnej w roku 1972, organizatorem pierwszego corocznego seminarium polsko-niemieckiego z tej dziedziny (Kraków–Monachium) oraz członkiem komitetów organizacyjnych wielu cykli konferencji.



Andrzej Białaś

Najwyższe odznaczenie Polskiego Towarzystwa Fizycznego, jakim jest Medal Smoluchowskiego, było w pełni zasłużonym wyróżnieniem całokształtu osiągnięć naukowych profesora Andrzeja Białaśa i jego zasług dla rozwoju fizyki polskiej oraz współpracy międzynarodowej. Wszyscy jego przyjaciele i współpracownicy przyjęli je z wielką radością.

*Krzysztof Fiałkowski*

### Stefan Pokorski

Stefan Pokorski urodził się w 1942 r. Od ukończenia w 1964 r. studiów na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pracuje w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego. W 1987 r. został profesorem zwyczajnym, w 1991 r. – członkiem korespondentem Polskiej Akademii Nauk, a w 2001 r. – członkiem korespondentem Polskiej Akademii Umiejętności. W latach 1991–93 był prezesem Polskiego Towarzy-

stwa Fizycznego i swoimi inicjatywami istotnie wzbogacił działalność Towarzystwa.

Osiągnięcia naukowe Stefana Pokorskiego w ostatnim dziesięcioleciu dotyczyły następujących czterech zagadnień:

— rozwinięcia formalizmu precyzyjnych testów Modelu Standardowego i modelu supersymetrycznego, opartych na pomiarach wykonanych przy użyciu akceleratora LEP i na obserwacji rzadkich procesów;

— badania sektora teorii supersymetrycznej odpowiedzialnego za spontaniczne naruszenie symetrii elektrosłabej;

— zaproponowania koncepcji teoretycznych wyjaśniających strukturę widma masy najcięższych kwarków  $t$  oraz  $b$ ;

— idei dekonstrukcji dodatkowych wymiarów przestrzennych.



Stefan Pokorski

Pełne wykorzystanie precyzyjnych pomiarów procesów elektrosłabych oraz informacji o rzadkich rozpadach nie byłoby możliwe bez równie precyzyjnych obliczeń teoretycznych. Porównanie obliczeń z doświadczeniem pozwala ukierunkować poszukiwania pełniejszej teorii, rozszerzającej obecnie stosowany Model Standardowy. Najbardziej spójnym teoretycznie i niesprzecznym z doświadczeniem jego rozszerzeniem jest teoria supersymetryczna, która w swym szerokim ujęciu pozwala na pełną unifikację wszystkich znanych oddziaływań, łącznie z grawitacją. Do obu tych wiodących kierunków badań Stefan Pokorski wniósł wielki wkład. W ostatnich latach również teorie z dodatkowymi wymiarami przestrzennymi wzbudziły olbrzymie zainteresowanie fizyków. Laureat jest tu współinicjatorem nowego, rewolucyjnego spojrzenia na dodatkowe wymiary, zwanego ich dekonstrukcją.

Stefan Pokorski stworzył na Uniwersytecie Warszawskim warszawską szkołę teorii oddziaływań fundamen-

talnych. Był promotorem 16 doktorów, z których paru zostało już profesorami. Jest autorem monografii *Gauge Field Theory* wydanej w 1987 r. i 2000 r. przez Cambridge University Press. W 1985 r. otrzymał Nagrodę im. Marii Skłodowskiej-Curie. W latach 1984–93 był dyrektorem Instytutu Fizyki Teoretycznej UW i doprowadził do rozbudowy uniwersyteckiego ośrodka fizyki na Hożej. Od 1989 r. jest kierownikiem Zakładu Teorii Cząstek i Oddziaływań Elementarnych IFT UW.

Stefan Pokorski ma wielkie zasługi dla rozwoju fizyki polskiej i jest obecnie jednym z najbardziej znanych uczonych polskich na świecie. Jego dorobek badawczy w dziedzinie fizyki oddziaływań fundamentalnych to ponad 150 publikacji naukowych w renomowanych czasopismach naukowych, cytowanych ponad 5000 razy. Prowadzi szeroką współpracę międzynarodową z największymi ośrodkami fizyki oddziaływań fundamentalnych (w tym z CERN-em oraz FNAL-em) i podejmował liczne inicjatywy, które włączyły Polskę w nurt żywej współpracy międzynarodowej w tej dziedzinie. Jest organizatorem lub współorganizatorem międzynarodowych konferencji w Polsce i za granicą, członkiem komitetów naukowych, bierze udział w europejskich sieciach naukowych itp. Medal Mariana Smoluchowskiego stanowi miły wyraz uznania społeczności fizyków polskich dla wybitnych osiągnięć profesora Stefana Pokorskiego.

Zygmunt Ajduk, Jan Kalinowski



## Oddział Łódzki

27 maja 2003 r. odbyło się Walne Zebranie Oddziału Łódzkiego PTF. Ustępujący Zarząd, pod przewodnictwem Bogusława Brody, przedstawił sprawozdanie z działalności w latach 2001–03.

Obecnie Oddział liczy 106 członków, wśród nich ośmiu nowo przyjętych. W ostatnim okresie zmarło trzech członków Oddziału: prof. Jan Karniewicz z Politechniki Łódzkiej, emerytowany nauczyciel mgr Stanisław Markowski i dr Telesfor Sokołowski (PŁ).

W czasie swojej kadencji Zarząd Oddziału kontynuował tradycyjną akcję popularnych wykładów z fizyki dla młodzieży szkół średnich. Członkowie PTF przygotowali łącznie 16 referatów i pokazów dla uczniów oraz nauczycieli. Pokazy, odbywające się w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego oraz w Instytucie Fizyki PŁ, cieszyły się dużym zainteresowaniem. Na niektórych liczba uczestników dochodziła do 350. Oprócz tego przedstawiono 9 referatów plenarnych w IF UŁ.

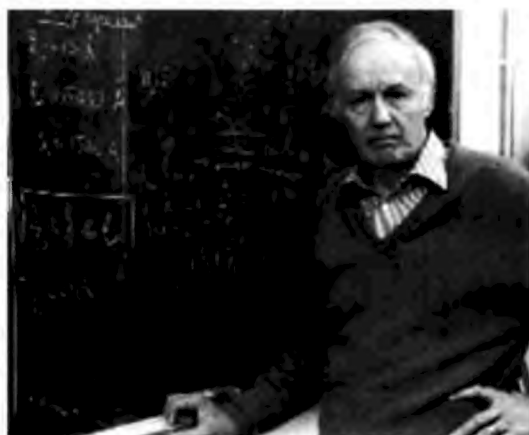
W ramach działalności popularyzatorskiej wygłoszono 13 referatów w Łódzkim Domu Kultury. Ta popularna akcja cieszy się od wielu lat niezmiennym zainteresowaniem i na stałe zagościła w kalendarzu imprez ŁDK.

Członkowie Oddziału prowadzą również działalność popularyzatorską na łamach łódzkiej prasy. W sobotnich  
(dokończenie na stronie 9)

# Nobel z fizyki za nadprzewodnictwo i nadciekłość

Laureatami Nagrody Nobla z fizyki w 2003 r. są: Aleksiej Abrikosow z Argonne National Laboratory, Witalij Ginzburg z Instytutu Fizyki im. P.N. Lebediewa w Moskwie i Anthony Leggett z University of Illinois. W uzasadnieniu Szwedzkiej Królewskiej Akademii Nauk Nagrodę przyznano „za pionierski wkład do teorii nadprzewodnictwa i nadciekłości”. Zjawiska te odkryte zostały już dawno: nadprzewodnictwo w 1911 r., a nadcie-

kłość – w roku 1938. Odkrywczy i późniejsi ich badacze zostali nagrodzeni wieloma Nagrodami Nobla, lecz fascynacja tymi zjawiskami nie ustępuje, czego dowodem są kolejne zdumiewające odkrycia i kolejne nagrody. Bierze się ona w znacznej mierze stąd, że oba zjawiska pojawiają się w wyniku przemian fazowych do stanu kondensatu, w którym można obserwować liczne zjawiska kwantowe w skali makroskopowej.



Od lewej: Ginzburg, Abrikosow i Leggett

## Nadprzewodnictwo

Odkrywca nadprzewodnictwa Heike Kamerlingh Onnes poszukiwał idealnego przewodnictwa bardzo czystych metali. Mierząc opór elektryczny rtęci w niskich temperaturach stwierdził, że w temperaturze 4,2 K spada on nagle do niemierzalnie małej wartości. Zaproponował wówczas dla tego zjawiska nazwę „nadprzewodnictwo”. Zerowy opór elektryczny nadprzewodników jest ich bardzo spektakularną cechą, ale bardziej znamiennej właściwością fizyczną tych substancji jest wypychanie strumienia magnetycznego z wnętrza nadprzewodnika.

Moim ulubionym pokazem fizycznym jest proste doświadczenie, w którym na pastylce wykonanej z nadprzewodnika wysokotemperaturowego YBaCuO kładziemy w temperaturze pokojowej magnes stały, a następnie całość ochładzamy ciekłym azotem do temperatury 77 K. W temperaturze przejścia pastylki w stan nadprzewodzący magnes unosi się o kilka milimetrów. Jest to zjawisko Meissnera–Ochsenfelda polegające na całkowitym lub częściowym wypchnięciu strumienia magnetycznego z nadprzewodnika. Dociekliwy obserwator zapyta, skąd bierze się energia potrzebna do wykonania makroskopo-

wej pracy uniesienia magnesu nad pastylką. Otóż w temperaturze krytycznej nadprzewodnika  $T_c$  elektrony tworzą pary Coopera (tzn. pary elektronów o przeciwnych spinach i przeciwnych pędach), które są bozonami i dzięki temu mogą zajmować w nieograniczonej liczbie najniższy, podstawowy stan energetyczny. W temperaturach wyższych niż  $T_c$  elektrony, występując pojedynczo, podlegają jako fermiony zakazowi Pauliego, który zezwala na obsadzanie dostępnych stanów energetycznych w liczbie tylko po dwa elektrony na jeden stan. Oznacza to, że wielka liczba elektronów zajmuje stany o energii wyższej niż energia stanu podstawowego. Przemiana do stanu nadprzewodzącego powoduje, że znaczna liczba elektronów, już jako pary Coopera, może przejść do stanu podstawowego. Ten proces umożliwia wykonanie makroskopowej pracy uniesienia magnesu i skutki zmiany stanu kwantowego nośników prądu można obserwować gołym okiem.

Teoria nadprzewodnictwa ogłoszona w 1957 r. przez Johna Bardeena, Leona Coopera i Roberta Schrieffera, zwana teorią BCS, dała pierwszy mikroskopowy opis zjawiska nadprzewodnictwa. Wyjaśniła mechanizm powstawania par Coopera, które tworzą kondensat charakteryzu-

jący się makroskopową spójnością funkcji falowej nośników w całej objętości nadprzewodnika. Teoria BCS dobrze opisuje nadprzewodniki, w których parametr porządku, będący miarą koncentracji par Coopera, jest jednorodny. Jednak już w latach trzydziestych XX w. Lew W. Szubnikow wykazał, że istnieją takie nadprzewodniki, których namagnesowanie zaczyna się zmieniać po przekroczeniu dolnego pola krytycznego  $H_{c1}$  i staje się równe zeru w górnym polu krytycznym  $H_{c2}$ . W polach pośrednich nadprzewodnik jest w fazie, która obecnie nazywana jest fazą Szubnikowa. Charakteryzuje ją niejednorodny rozkład pola magnetycznego, a zatem niejednorodny parametr porządku wewnątrz nadprzewodnika. Teoria BCS nie może opisać poprawnie takiego stanu nadprzewodnika. Nazwisko Szubnikowa jest powszechnie znane w fizyce ciała stałego dzięki zjawisku Szubnikowa–de Haasa. Polega ono na regularnych oscylacjach przewodnictwa elektrycznego w silnych polach magnetycznych i zostało odkryte przez tych dwóch fizyków podczas pobytu Szubnikowa w Lejdzie. Przez kilkadziesiąt lat nie był powszechnie znany fakt, że ten uzdolniony ukraiński fizyk został niewinnie rozstrzelany w 1937 r., w czasach szalejącego terroru stalinowskiego.

## Ginzburg

Pierwszą fenomenologiczną teorię opisującą stan nadprzewodzący w obecności pola magnetycznego opracowali Witalij Ginzburg i Lew Landau. Opierając się na teorii Landaua przemian fazowych drugiego rodzaju, wyprowadzili oni równania Ginzburga–Landaua (G–L), w których stan nadprzewodzący jest opisany makroskopową funkcją falową, nazwaną przez nich parametrem porządku. Parametr porządku jest miarą koncentracji nośników nadprzewodzących. Wypada zwrócić uwagę, że teoria G–L powstała 7 lat wcześniej niż teoria BCS i że obaj uczeni nie wiedzieli, iż nośnikami prądu w stanie nadprzewodzącym są pary Coopera. Dopiero po ogłoszeniu teorii BCS wprowadzili w swej teorii czynnik 2 dla masy i ładunku nośników. Teoria G–L pozwoliła opisać nadprzewodnik, w którym parametr porządku jest niejednorodny, i poprawnie opisuje granicę faz między stanem nadprzewodzącym i stanem normalnym.

Ginzburg i Landau wprowadzili w swojej teorii parametr  $\kappa$ , nazywany obecnie parametrem G–L, będący stosunkiem dwóch długości charakteryzujących nadprzewodnik: głębokości wnikania pola magnetycznego  $\lambda$  oraz odległości  $\xi$ , w jakiej może zanikać parametr porządku. Ta odległość kilka lat później nazwana została przez B. Pipparda długością koherencji. Zgodnie z teorią G–L w nadprzewodnikach, dla których  $\kappa < 1/\sqrt{2}$ , parametr porządku jest jednorodny, natomiast gdy  $\kappa > 1/\sqrt{2}$ , możliwe są niejednorodności parametru porządku. Dzisiaj mówi się, że w pierwszym przypadku mamy do czynienia z nadprzewodnikiem I rodzaju, w drugim – II rodzaju. Teoria opracowana przez Ginzburga wspólnie z Landauem pozwoliła poprawnie opisać zwłaszcza te nadprzewodniki, które w zastosowaniach są używane w silnym polu magnetycznym.

## Abrikosow

Na początku lat 50. szczegółowe badania nowo odkrytych nadprzewodników wykazały, że pola krytyczne przewidywane przez teorię G–L nie zgadzają się z wartościami obserwowanymi doświadczalnie. Wówczas Aleksiej Abrikosow dokładnie przeanalizował równania G–L dla materiałów o dużych wartościach parametru  $\kappa$ . W 1953 r. uzyskał rozwiązanie tych równań, które dobrze określało wielkość pola krytycznego nowych nadprzewodników i prowadziło do wniosku, że w nadprzewodnikach o dużym parametrze  $\kappa$  w polach bliskich  $H_{c2}$  powstają wiry prądowe dookoła nitkowatych tworów, wzdłuż których parametr porządku przyjmuje wartość bliską zeru. Wiry w wyniku wzajemnego odpychania powinny tworzyć trójkątną sieć. Wynik ten był tak nieoczekiwany, że Abrikosow przez 5 lat nie publikował swoich rozważań; opublikował je dopiero w 1957 r., gdy koncepcja wirów została już zaproponowana dla nadciekłego helu przez Richarda Feynmana. Pierwsze zdjęcia sieci wirów w nadprzewodniku, zwanej siecią Abrikosowa, otrzymano dopiero w 1967 r., a więc 15 lat po tym, jak Abrikosow w wyniku teoretycznych rozważań przewidział ich istnienie i 10 lat po opublikowaniu przez Abrikosowa pełnej teorii nadprzewodników II rodzaju.

## Nadciekłość

Nadciekłość jest zjawiskiem występującym tylko w bardzo niskich temperaturach i dlatego rzadziej jest pokazywana w salach wykładowych, ale w laboratoriach fizycznych, w których zachowano jeszcze staroświeckie szklane kriostaty, można to kwantowe zjawisko obserwować gołym okiem. Podczas obniżania temperatury ciekłego helu przez intensywne pompowanie jego par widoczne jest burzliwe wrzenie w całej objętości cieczy; dzieje się tak do temperatury punktu  $\lambda$ , tzn. 2,17 K – w tej temperaturze następuje przemiana helu w stan nadciekły. Powierzchnia cieczy nagle się uspokaja, a w cieczy – mimo dalszego, intensywnego pompowania – nie tworzą się bąble gazowe charakterystyczne dla wrzących cieczy klasycznych. Poniżej punktu  $\lambda$  wrzenie ciekłego helu odbywa się tylko na powierzchni cieczy. Dzieje się tak dlatego, że nadciekły hel wykazuje nie tylko niezwykłą łatwość wypływu przez bardzo wąskie kapilary, ale też ma ogromną przewodność cieplną. Ciepło dostarczane kąpeli helowej jest natychmiast przekazywane do powierzchni cieczy, gdzie parowanie helu jest najłatwiejsze.

Powszechnie uważa się, że odkryciem nadciekłości była obserwacja nadzwyczajnej łatwości wypływania helu przez cienkie kapilary w temperaturze niższej niż 2,17 K. Szacowana na tej podstawie lepkość nadciekłego helu była o 6 rzędów wielkości mniejsza niż helu normalnego. Obserwacji takiej dokonali Piotr Kapica i niezależnie J.F. Allen i A.D. Misener. Jednak już 10 lat wcześniej, w 1927 r., Polak Mieczysław Wolfke i Holender W.H. Keesom, pracując razem w Lejdzie, zaobserwowali w temperaturze 2,2 K anomalię przenikalności elektrycznej ciekłego helu. W ich interpretacji anomalia ta była

związana z przemianą fazową w ciekłym helu w tej temperaturze. Zaproponowali nazwy dla dwu faz ciekłego helu: hel I dla fazy istniejącej powyżej 2,2 K i hel II dla fazy istniejącej w temperaturach niższych; nazwy te są używane do dzisiaj.

Wolfke i Keesom bardzo poprawnie interpretowali swoje obserwacje, lecz odkrycia nadciekłości helu II dokonano dopiero wiele lat później. Odkrycia te dotyczyły bardziej rozpowszechnionego w przyrodzie izotopu  $^4\text{He}$ . Naturalny hel zawiera bardzo małe ilości drugiego trwałego izotopu,  $^3\text{He}$ . Nadciekłość  $^3\text{He}$  odkryta została w 1972 r. przez Davida Lee, Douglasa Osheroffa i Roberta Richardsona; autorzy tego odkrycia otrzymali Nagrodę Nobla w 1996 r. Interpretacji zjawiska nadciekłości opartej na mechanice kwantowej dokonał Lew Landau w 1941 r. Atomy  $^4\text{He}$  mają spin całkowity równy zeru i są bozonami. Mogą więc w niskich temperaturach w nieograniczonej liczbie obsadzać najniższy, podstawowy stan energetyczny. Zgodnie z interpretacją Landaua w tak powstałym kondensacie (uważa się obecnie, że nadciekłość jest nieuniknioną cechą kondensatu Bosego–Einsteina, lecz nadciekły hel ze względu na występujące w nim oddziaływanie między atomami nie jest typowym kondensatem B–E) w temperaturach wyższych od 0 K mogą powstawać wzbudzenia, np. fonony, rotony lub wiry. Kwantowy charakter tych wzbudzeń powoduje m.in., że istnieje krytyczna prędkość przepływu helu przez kapilarę, przy której mogą one powstawać; oznacza to, że lepkość pojawia się w cieczy tylko przy dostatecznie szybkim przepływie przez kapilarę. Dla mniejszych prędkości przepływu lepkość nadciekłego helu jest równa zeru. Atomy  $^3\text{He}$  mają spin połówkowy, są zatem fermionami i podlegają wspomnianemu już zakazowi Pauliego; jeśli jednak powstaną pary atomów  $^3\text{He}$ , to będą miały spin całkowity i w odpowiednio niskiej temperaturze mogą utworzyć kondensat. Wiadomo obecnie, że powstają pary atomów  $^3\text{He}$  o równoległe ustawionych spinach, a zatem wypadkowy spin pary jest równy 1. Odkrywczy nadciekłości  $^3\text{He}$  stwierdzili istnienie dwu nadciekłych faz – A i B. Faza A wykazuje anizotropię właściwości fizycznych, natomiast faza B jest izotropowa.

### Leggett

Interpretację właściwości wykrytych faz podał trzeci z tegorocznych noblistów, Anthony Leggett. Zgodnie z jego koncepcją pary atomów  $^3\text{He}$  mają różny od zera spinowy i orbitalny moment pędu. Momenty te ustawione są względem siebie pod pewnym kątem. W nadciekłej fazie A powstaje spontaniczne uporządkowanie dalekiego zasięgu momentów spinowych i orbitalnych par atomów  $^3\text{He}$ ; wprowadza ono silną anizotropię magnetyczną tej fazy. Inny rodzaj uporządkowania dalekiego zasięgu wy-

stępuje w fazie B. Parametrem uporządkowania jest kąt między momentem spinowym i orbitalnym, jednakowy dla każdej pary atomów  $^3\text{He}$ ; nie ma w tej fazie spontanicznego uporządkowania momentów spinowych oraz orbitalnych i stąd jej izotropowe właściwości. Wykorzystując tę koncepcję, Leggett stworzył teorię dynamiki spinów w nadciekłym  $^3\text{He}$ . Szczegółowe przewidywania tej teorii zostały potwierdzone doświadczalnie metodami magnetycznego rezonansu jądrowego.

### Notki biograficzne

WITALIJ ŁAZAREWICZ GINZBURG urodził się w 1916 r. w Moskwie. Doktorat z fizyki uzyskał na Uniwersytecie Moskiewskim. Przez wiele lat kierował grupą fizyki teoretycznej w Instytucie Fizycznym im. P.N. Lebediewa w Moskwie. Jest członkiem Rosyjskiej Akademii Nauk. Jego prace dotyczą wielu działów fizyki: elektrodynamiki kwantowej i teorii cząstek elementarnych, teorii promieniowania i optyki ciała stałego, teorii ciała stałego, fizyki plazmy i astrofizyki. W 1984 r. otrzymał Medal Smoluchowskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

ALEKSIEJ ALEKSIEJEWICZ ABRİKOSOW urodził się w 1928 r. w Moskwie. Doktorat z fizyki uzyskał w Instytucie Problemów Fizycznych w Moskwie. Pracował w wielu instytutach badawczych i uniwersyteckich w ZSRR, zajmując się wieloma działami fizyki, przede wszystkim jednak teorią ciała stałego. Od 1991 r. prowadzi badania w Argonne National Laboratory w USA. Jest członkiem Rosyjskiej Akademii Nauk oraz Narodowej Akademii Nauk USA, członkiem zagranicznym Towarzystwa Królewskiego w Londynie. Otrzymał doktorat honorowy Uniwersytetu w Lozannie oraz wiele nagród rosyjskich i międzynarodowych.

ANTHONY JAMES LEGGETT urodził się w 1938 r. w Londynie. Studiował fizykę na Uniwersytecie w Oksfordzie, gdzie uzyskał doktorat z fizyki teoretycznej w 1964 r. Przez wiele lat pracował na Uniwersytecie w Sussex. Od 1983 r. jest profesorem fizyki na Uniwersytecie Stanu Illinois w Urbana-Champaign. Jest członkiem wielu towarzystw naukowych i akademii nauk. Otrzymał m.in. Medal i Nagrodę Maxwella (1975), Medal i Nagrodę Diraca (1992) oraz Nagrodę Wolfa (2003). Zajmuje się przede wszystkim badaniami z zakresu fizyki ciała stałego, zwłaszcza nadprzewodnictwem wysokotemperaturowym i nadciekłością, a także podstawami mechaniki kwantowej.

*Tadeusz Skośkiewicz*

Instytut Fizyki PAN

oraz Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego  
Warszawa



# Dwa nowe pierwiastki: 113 oraz 115

Adam Sobiczewski

*Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana, Warszawa*

## Two new elements: 113 and 115

**Abstract:** Synthesis of two new elements: 113 and 115, performed at the Joint Institute for Nuclear Research in Dubna by irradiation of  $^{243}\text{Am}$  by  $^{48}\text{Ca}$ , is shortly described. Main results of it are presented.

### 1. Wstęp

Od wielu już lat trwają intensywne prace nad syntezą nowych, najcięższych pierwiastków. Prowadzone są one głównie w dwóch ośrodkach: Instytucie Ciężkich Jonów (GSI) w Darmstadcie (Niemcy) i Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej (Rosja). Ostatnio do badań tych włączyły się także instytuty RIKEN k. Tokio i GANIL w Caen na północy Francji.

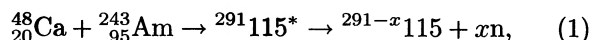
W GSI odkryto 6 pierwiastków o liczbie atomowej  $Z = 107-112$  (patrz np. [1]). Odkrycie pięciu z nich ( $Z = 107-111$ ) zostało już zatwierdzone przez Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC), współpracującą w tym zakresie z Międzynarodową Unią Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP), a cztery mają również zatwierdzoną nazwę: bohr (107), has (108), meitner (109) i darmstadt (110 – zatwierdzona w sierpniu 2003 r., patrz notatka w *Kronice PF* 6/2003). Prace nad potwierdzeniem odkrycia pierwiastka 112 (wytworzonego w GSI w 1996 r. [2]), potrzebnym do jego zatwierdzenia, jeszcze trwają. W *Postępach* o syntezie pierwiastków 110 oraz 111 pisaliśmy w artykule [3], a pierwiastka 112 – w pracy [4].

Po tych odkryciach w GSI, w Dubnej (Laboratorium Reakcji Jądrowych im. G.N. Florowa) wytworzono pierwiastki 114 [5–7], 116 [8] i zakomunikowano wstępne wyniki prac nad syntezą pierwiastka 118 [9]. W *Postępach* o odkryciu pierwiastka 114 pisaliśmy w artykule [10]. We wrześniu 2003 r. doniesiono o syntezie pierwiastków 113 oraz 115 [11].

Celem obecnego artykułu jest omówienie doświadczenia, które doprowadziło do tej syntezy, oraz przedstawienie głównych jego wyników.

### 2. Doświadczenie

Do syntezy pierwiastka 115 zastosowano następującą reakcję jądrową:



co oznacza, że najtrwalszy izotop ameryku,  $^{243}\text{Am}$  (czas jego połowicznego zaniku wynosi 7370 lat), na-

świetlany był jonami bogatego w neutrony izotopu wapnia,  $^{48}\text{Ca}$ . Powstałe w trakcie reakcji syntezy wzbudzone jądro złożone  $^{291}_{115}\text{*}$  (gwiazdka oznacza wzbudzenie jądra) natychmiast emitowało kilka ( $x$ ) neutronów, dając jądro superciężkie o liczbie masowej  $A = 291 - x$ . Ponieważ prawdopodobieństwo utworzenia jądra złożonego silnie zależy od energii kinetycznej padającego jądra, użyto dwóch energii:  $E_{\text{lab}} = 248 \text{ MeV}$  i  $253 \text{ MeV}$ , bliskich wartości, przy której oczekiwano maksimum tego prawdopodobieństwa. Natężenie wiązki wynosiło średnio ok.  $8,1 \cdot 10^{12}$  jonów na sekundę, a naświetlanie trwało 28 dni (od 14 lipca do 10 sierpnia 2003 r.). Całkowita dawka wynosiła więc ok.  $4,3 \cdot 10^{18}$  jonów  $^{48}\text{Ca}$  i była taka sama dla obu energii naświetlania. Tarczę stanowił dwutlenek izotopu ameryku  $^{243}\text{Am}$  wzbogaconego do 99,9%.

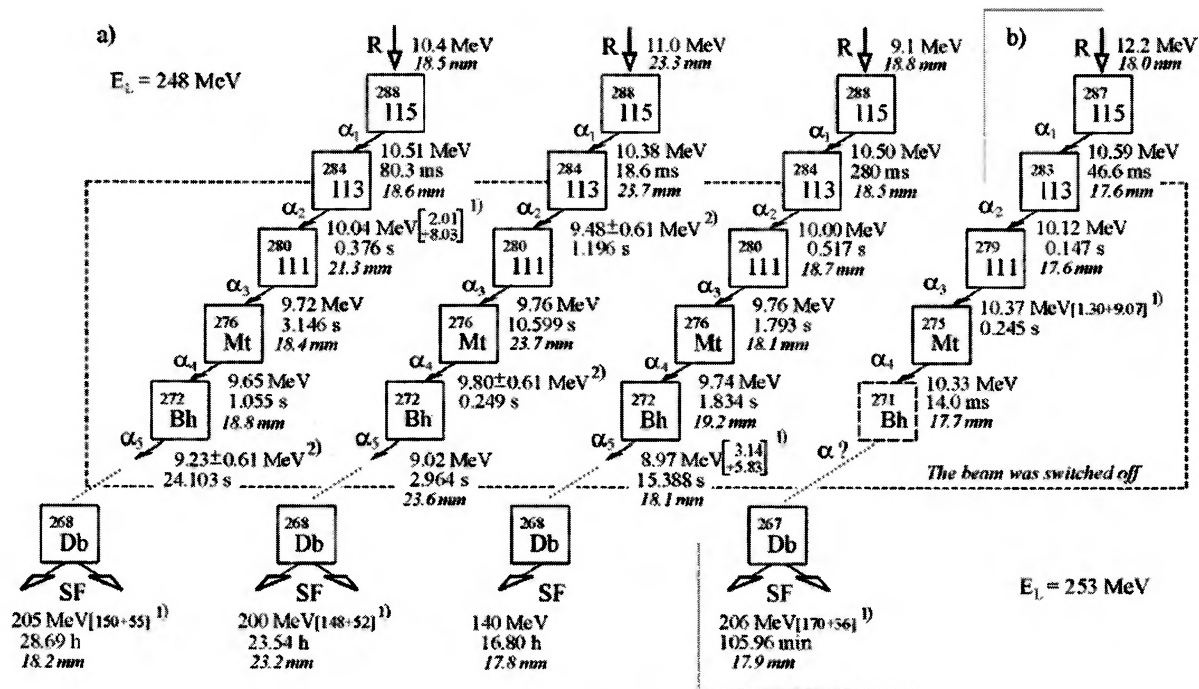
Wybijane z tarczy i biegnące z dużą prędkością (ok. 2% prędkości światła) zsyntetyzowane jądra były oddzielane od ogromnej liczby przelatujących przez tarczę jąder wiązki, które nie zderzyły się z jądrami tarczy, oraz od innych niepożądanych produktów reakcji (np. powstających przez przekaz kilku nukleonów z jądra pocisku do jądra tarczy lub odwrotnie), w napełnionym gazem separatorze i kierowane do detektora. Specjalny detektor półprzewodnikowy pozwalał na dokładną rejestrację chwili, a także miejsca (z dokładnością do ok. 1 mm) padania zsyntetyzowanego jądra, jak również chwili i miejsca jego (czy innego jądra promieniotwórczego) rozpadu. Pozwalało to (przez korelację tych wydarzeń) na identyfikację łańcuchów genetycznych, tj. skorelowanych w czasie kolejnych rozpadów jądrowych, zachodzących w tym samym miejscu w detektorze. Opis typowego układu doświadczalnego, za pomocą którego obecnie wytwarza się, wydziela z ogromnego tła i identyfikuje najcięższe jądra, podany został np. w pracy [3].

### 3. Wyniki

Rysunek 1, wzięty z pracy [11], przedstawia 4 zaobserwowane łańcuchy genetyczne. Trzy pierwsze są bardzo podobne do siebie (tzn. mają zbliżone wartości energii kinetycznej cząstek  $\alpha$  i czasów życia kolej-

nych jąder łańcucha) i zinterpretowane zostały jako rozpad jądra  $^{288}115$ , tj. jądra otrzymanego przez emisję 3 neutronów ( $x = 3$  w równ. (1)) ze wzbudzonego jądra złożonego  $^{291}115^*$ . Łańcuch czwarty jest dość wyraźnie inny. Systematycznie większe są wartości energii kinetycznej emitowanych cząstek  $\alpha$  ( $E_\alpha$ )

i odpowiednio krótsze czasy życia. Łańcuch ten zinterpretowany został jako rozpad jądra  $^{287}115$ , tj. jądra otrzymanego z jądra złożonego  $^{291}115^*$  przez emisję 4 neutronów ( $x = 4$ ). Interpretacja taka daje dobrą zgodność zmierzonych wartości  $E_\alpha$  z przewidywanymi teoretycznie [12,13].



Rys. 1. Trzy łańcuchy genetyczne zaobserwowane przy naświetlaniu jąder  $^{243}Am$  jonami  $^{48}Ca$  o energii kinetycznej  $E_L \equiv E_{lab} = 248$  MeV (a) i jeden łańcuch otrzymany przy energii naświetlania  $E_L = 253$  MeV (b). Przy każdym rozpadzie  $\alpha$  podana jest energia kinetyczna emitowanej cząstki, czas życia rozpadającego się jądra oraz miejsce w detektorze, w którym zaobserwowano rozpad. W przypadku samorzutnego rozszczepienia (SF) podano energię kinetyczną fragmentów i ich sumę. Znak 1) odnosi się do przypadków, gdy sygnał (razem z pomiarem energii) zarejestrowano, oprócz głównego detektora, także w detektorze bocznym, a znak 2) – gdy odnotowano go tylko w bocznym detektorze. Pozostałe, najczęstsze przypadki, to rejestracja sygnału tylko w detektorze głównym.

Interpretację taką sugerują również obliczone funkcje wzbudzenia, czyli zależność prawdopodobieństwa emisji określonej liczby neutronów z jądra złożonego od jego energii wzbudzenia. Tę ostatnią oblicza się z różnicy między masą jądra złożonego, jaką przewiduje teoria, a energią wnoszoną do układu przez zderzające się jądra. W przypadku trzech pierwszych łańcuchów energia kinetyczna padających jonów  $^{48}Ca$  była  $E_{lab} = 248$  MeV i obliczona energia wzbudzenia wynosiła ok. 40 MeV, zaś w przypadku czwartego łańcucha energia naświetlania była o 5 MeV większa ( $E_{lab} = 253$  MeV), a energia wzbudzenia wynosiła ok. 44 MeV, czyli była większa o ok. 4 MeV. Właśnie ta różnica energii wzbudzenia powoduje, że w pierwszym wypadku oczekuje się emisji trzech, a w drugim – czterech neutronów z jądra złożonego.

Interesujące jest ostatnie ogniwo otrzymanych łańcuchów genetycznych. Jest to samorzutne rozszcze-

pienie. W pierwszych dwóch łańcuchach oraz w czwartym zarejestrowano (w koincydencji) oba fragmenty rozszczepienia i ich energię kinetyczną, w trzecim zaś tylko jeden. Widać przy tym, jak długi czas upłynął, nim nastąpiło rozszczepienie. Na rysunku zinterpretowano je jako rozszczepienie jądra dubnu. Nie jest to jednak pewne, szczególnie w przypadku jądra  $^{268}Db$ . Mogło ono np. najpierw wychwycić elektron z powłoki atomowej i dopiero powstałe przy tym jądro  $^{268}Rf$  mogło się rozszczepić z przewidywanym przez teorię [14] czasem połowicznego zaniku 1,4 s. Jądro  $^{268}Db$  mogło też ulec rozpadowi  $\alpha$ , dając jądro  $^{264}Lr$ , które mogło się rozszczepić lub doprowadzić, przez wychwyt elektronu, do jądra  $^{264}No$ , a to dopiero mogło ulec rozszczepieniu. Możliwości interpretacji jest tu więc wiele i nie wiemy ostatecznie, jakie jądro uległo zaobserwowanemu rozszczepieniu. Sprawa wyjaśnienia tego jest ciekawa i warta uwagi w przyszłości. To, co spraw-

dzono w tym doświadczeniu, to brak jakiegokolwiek rozpadu  $\alpha$  (o energii  $E_\alpha > 7,6$  MeV), który zaszedłby w tym samym miejscu w detektorze co 3 pierwsze łańcuchy genetyczne i który byłby skorelowany czasowo z którymś z końcowych rozszczepień w przedziale czasu krótszym od 1 minuty. Nie zaobserwowano także żadnego rozpadu  $\alpha$  w detektorze przez okres 2,5 godz. po ostatnich rozpadach  $\alpha$  we wszystkich trzech łańcuchach.

Bardzo ważnym wynikiem przeprowadzonego doświadczenia jest pomiar przekroju czynnego na syntezę zaobserwowanych dwóch jąder. Wyniósł on ok. 3 pb (pikobarnów) dla syntezy jądra  $^{288}_{115}$  (przy energii kinetycznej pocisków  $E_{lab} = 248$  MeV) i ok. 1 pb dla syntezy jądra  $^{287}_{115}$  (przy  $E_{lab} = 253$  MeV). Jak dla tak ciężkich jąder, przekroje te są stosunkowo duże, większe niż oczekiwano.

Wdzięczny jestem Profesorowi Yu.Ts. Oganessianowi za dyskusję niektórych szczegółów opisanej syntezy i jej wyników.

## Literatura

- [1] S. Hofmann, G. Münzenberg, *Rev. Mod. Phys.* **72**, 733 (2000).
- [2] S. Hofmann, V. Ninov, F.P. Hessberger i in., *Z. Phys. A* **354**, 229 (1996).
- [3] P. Armbruster, S. Hofmann, A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **46**, 431 (1995).
- [4] A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **47**, 495 (1996).
- [5] Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov i in., *Phys. Rev. Lett.* **83**, 3154 (1999).
- [6] Yu.Ts. Oganessian, A.V. Yeremin, A.G. Popeko i in., *Nature* **400**, 242 (1999).
- [7] Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov i in., *Phys. Rev. C* **62**, 041604(R) (2000).
- [8] Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov i in., *Phys. Rev. C* **63**, 011301(R) (2000).
- [9] Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov i in., JINR Communication D7-2002-287 (2002); Lawrence Livermore National Lab. Report, UCRL-ID-151619 (2003).
- [10] A. Sobiczewski, *Postępy Fizyki* **50**, 204 (1999).
- [11] Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov i in., *Phys. Rev. C* **68**, posłane do druku (2003).
- [12] I. Muntian, Z. Patyk, A. Sobiczewski, *Acta Phys. Pol. B* **34**, 2141 (2003).
- [13] I. Muntian, Z. Patyk, A. Sobiczewski, *Yad. Fiz.* **66**, 1051(2003); *Phys. At. Nucl.* **66**, 1015 (2003).
- [14] R. Smolańczuk, J. Skalski, A. Sobiczewski, *Phys. Rev. C* **52**, 1871 (1995).

## SPROSTOWANIE

Do notki biograficznej o prof. Adamie Sobiczewskim, towarzyszącej jego artykułowi „Ćwierć wieku w *Postęпах Fizyki*” opublikowanemu w zeszytce 5/2003 (*PF* **54**, 187 (2003)), wkradł się przykry błąd. W ostatnim

zdaniu notki napisaliśmy: „Przez ćwierć wieku, od 1997 do 2003 r., był redaktorem naczelnym *Postępów Fizyki*”, a oczywiście powinno być: „od 1977 do 2003 r.”.

Za tę pomyłkę bardzo przepraszamy.



## Oddział Łódzki

(dokończenie ze strony 3)

wydaniach *Dziennika Łódzkiego – Wiadomości Dnia* prezentowane były proste doświadczenia z fizyki przeznaczone dla gimnazjalistów i uczniów szkół średnich.

Członkowie Oddziału współuczestniczyli w przygotowaniu i realizacji zawodów Olimpiady Fizycznej do II stopnia włącznie. Corocznie w zawodach tych bierze udział liczna rzesza uczniów. W 2001 roku rozwiązania zadań I stopnia przysłało 126 osób, natomiast w roku 2002 – 131 osób. Spośród nich do drugiego etapu zakwalifikowało się 94 uczniów w 2001 r. oraz 82 uczniów w roku 2002. W zawodach centralnych, odbywających się w Warszawie, z łódzkiego okręgu wzięło udział 6 osób w 2002 r. i 13 osób w roku 2003. Uczeń I LO w Łodzi został laureatem.

Warto odnotować również wkład organizacyjny członków Oddziału w przygotowanie konkursu fizycznego dla uczniów klas drugich LO. Zarząd Oddziału ufundował nagrody książkowe dla najlepszych zawodników, a prze-

wodniczący Oddziału wzięło udział w uroczystym zakończeniu i podsumowaniu zawodów II stopnia.

Oddział współorganizował Jubileuszowy Zjazd Absolwentów Kierunku Fizyki UŁ w dniach 21–22 września 2002 r. oraz ma swój przyczynek w organizacji międzynarodowej konferencji „Ideas of Albert Abraham Michelson in Mathematical Physics” w dniach 4–11 sierpnia 2002 r. w Matematycznym Centrum Konferencyjnym w Będlewie.

Oddział zgłosił prof. Wacława Tybora z Katedry Fizyki Teoretycznej UŁ jako kandydata na rzeczoznawcę podręczników szkolnych z fizyki w zakresie merytorycznym. Kandydatura została zaakceptowana przez Ministerstwo Edukacji Narodowej i Sportu.

Walne Zebranie udzieliło absolutorium ustępującemu Zarządowi stwierdzając, że dzięki jego aktywnej postawie osiągnięto sukcesy w realizacji celów statutowych PTF. Następnie wybrano nowy Zarząd w składzie: przewodniczący – Bogusław Broda, sekretarz – Paweł Caban, skarbnik – Stanisław Bednarek, członkowie – Maria Giller, Maria Mucha, Anna Piotrowska i Maciej Przanowski.

*Marcin Ostrowski*

# Fizyka strzału z biczem\*

Waldemar Tomaszewski, Piotr Pierański

Laboratorium Fizyki Komputerowej i Półprzewodników, Politechnika Poznańska

---

## The physics of cracking whip

*Abstract:* The history of the experimental studies of the whip cracking phenomenon as reconstructed by Goriely and McMillen is briefly described. Technical details and results of the recent experiments performed by Peter Krehl et al. are presented. The discrete model of the whip and its equations of motion are formulated. Algorithms of its numerical integration are discussed. Results of a few numerical experiments in which the end of the whip is shown to reach supersonic velocity are presented and analysed.

---

## 1. Wstęp

Mechanika klasyczna jest najstarszym, najlepiej poznanym i najbardziej wyeksploatowanym działem fizyki. Jej zasady znane są od czasów Newtona. Problemom, których rozwiązania można znaleźć, stosując zasady mechaniki klasycznej, poświęcono w przeszłości mnóstwo czasu i papieru. A jednak ciągle jeszcze redakcje najbardziej prestiżowych czasopism fizycznych przyjmują do druku prace im właśnie poświęcone. Dlaczego tak się dzieje? Czy warunkiem przyjęcia do druku artykułu z mechaniki klasycznej jest przeprowadzenie w nim analizy nowego, nieznanego dotąd zjawiska? Niekoniecznie, bywa bowiem i tak, że zjawisko jest wprawdzie dobrze znane, ale jego dotychczasowe wyjaśnienia nie były zadowalające, ponieważ równania je opisujące są zbyt skomplikowane, by móc przeanalizować ich rozwiązania przy użyciu ołówka i kartki papieru. Tam jednak, gdzie ołówek i kartka papieru nie wystarczają, możemy dziś sięgnąć po komputer, owo coraz potężniejsze narzędzie pracy naukowca. I tak się właśnie stało, gdy Alain Goriely, matematyk z Uniwersytetu Stanu Arizona w Tucson, i jego doktorant Tyler McMillen zadali sobie pytanie, czy znane są przyczyny, dla których bicz Indiany Jonesa wydaje ten dobrze wszystkim znany, głośny trzask zwany „strzałem z bicza”. Znajomi fizycy pytani o to przez Goriely’ego odpowiadali: „To proste. Słyszymy trzask, bo koniec bicza przekracza prędkość dźwięku”. Pytani jednak dalej, dlaczego koniec bicza nabiera tej nieprawdopodobnej prędkości, przyznawali, iż nie wiedzą, dlaczego tak jest. No właśnie. Dlaczego koniec bicza nabiera prędkości większej od prędkości dźwięku? Jakie równania opisują jego ruch? Jak przebiega w przestrzeni jego trajektoria? Jak zmienia się jego prędkość? Jakim przyspieszeniem jest poddawany? Goriely i McMillen po-

stanowili znaleźć odpowiedź na każde z tych pytań. I znaleźli. Praca nad problemem trzasku bicza zajęła im rok. W czerwcu 2002 r. w *Physical Review Letters* ukazał się artykuł Goriely’ego i McMillena „Kształt strzelającego bicza” [1]. Zainspirowani tą pracą, postanowiliśmy przyjrzeć się z bliska opisanym w niej obliczeniom, powtórzyć je, stosując inny model i inne algorytmy oraz rozważyć nowe, ciekawe, mające praktyczne zastosowania przypadki.

## 2. Hipoteza i doświadczenie

Problem dynamiki bicza, czy może w polskich realiach — bata, to problem ruchu liny o jednym końcu swobodnym, a drugim podlegającym więzom, których położenie w przestrzeni zmienia się w zdefiniowany przez eksperymentatora sposób. Zanim jednak przedstawimy równania ruchu, metody ich numerycznego całkowania i wyniki, powiedzmy w ślad za Gorielym i McMillenem parę słów o historii problemu.

Kiedy człowiek nauczył się strzelać z bicza? Prawdopodobnie krótko po tym, jak zrobił sobie bat do poganiania zwierząt pociągowych. Trudno powiedzieć, kiedy to się stało. Na pewno jednak dopiero na początku XX w. zaczęto, stosując naukowe metody, zastanawiać się, skąd bierze się wydawany przezeń trzask. Hipotezę, że trzask bicza jest akustycznym dowodem na przekroczenie przez jego koniec prędkości dźwięku, postawił w 1905 r. Otto Lummer [2], profesor fizyki na Uniwersytecie Wrocławskim, znany przede wszystkim z prac doświadczalnych, których wyniki wykorzystywał Planck w weryfikacji znalezionej przez siebie kwantowego prawa opisującego widmo promieniowania ciała doskonale czarnego. Inspiracją dla Lummera były słynne doświadczenia Ernsta Macha, który wraz z Peterem Salcherem wykonał metodą fotografii

---

\*Rozszerzona wersja wykładu prof. Piotra Pierańskiego wygłoszonego podczas uroczystości zakończenia LII Olimpiady Fizycznej w Warszawie w dniu 24 kwietnia 2003 r.

cieniowej pierwsze zdjęcia fali uderzeniowej wytwarzanej przez pocisk poruszający się z prędkością ponaddźwiękową. Hipoteza Lummera spotkała się z niedowierzaniem. Koniec rzemienia albo – co gorsza – zwykłego sznurka miałby poruszać się z prędkością karabinowego pocisku? Trudno było w to uwierzyć. Do zwolenników hipotezy Lummera należeli Ernst Mach i Ludwig Prandtl, których autorytet nie był bez znaczenia, przekonanie przeciwników wymagało jednak dostarczenia dowodu doświadczalnego, argumentacja heurystyczna nie wystarczała. Jak przekonać sceptyków? Jak sfalsyfikować kontrhipotezę, że źródłem trzasku jest uderzenie końca bicia w poprzedzający go fragment? Fotografia fali uderzeniowej byłaby wystarczającym dowodem. Jeszcze bardziej przekonujący byłby film, na którym gołym okiem można byłoby zobaczyć przyspieszający do prędkości ponaddźwiękowych koniec bicia i odrywającą się od niego falę uderzeniową. Niestety, wykonanie takiego filmu w czasach Lummera było nieosiągalne. Impas trwał wiele lat. Przełom pojawił się w 1927 r. Carrière z Tuluzy sfotografował poruszany mechanicznie bicz, oświetlając go iskrowym źródłem światła [3]. Wykonane zdjęcia ujawniały, że koniec bicia osiąga prędkości ponaddźwiękowe.

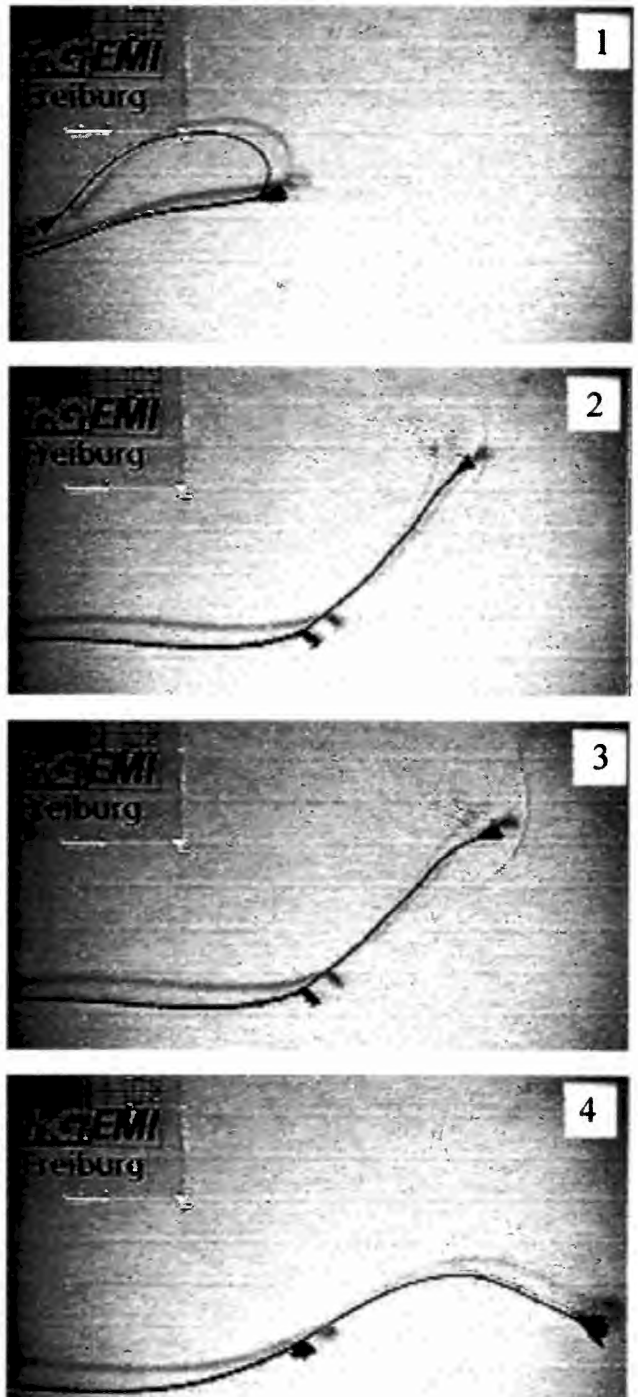
Przeskoczmy do współczesności. Ostatnie, najbardziej precyzyjne obserwacje kolejnych faz ruchu bicia zostały wykonane w 1998 r. przez Krehla, Engemanna i Schwenkela z Instytutu Ernsta Macha we Freiburgu [4]. Układ doświadczalny, jaki zbudowali, by osiągnąć swój cel, był wyrafinowany.

Bicz oświetlany był światłem lasera impulsowego o mocy średniej 25 W. Częstość impulsów wynosiła 9 kHz, ich czas trwania – 20 ns, a moc w impulsie – 200 kW. Wiązkę lasera ogniskowano na przesłonie z małym, kolistym otworem. W efekcie otrzymywano niemal punktowe, impulsowe źródło światła, równomiernie oświetlające ekran, przed którym w małej odległości poruszał się koniec bicia obsługiwanego przez zawodowca.

Szybka kamera cyfrowa filmowała bicz za pośrednictwem małego zwierciadła umieszczonego blisko przesłony z otworem. Obserwacja bicia odbywała się więc niemal z miejsca, w którym umieszczone było źródło światła. Dzięki temu cień, nieco większy od fotografowanego obiektu (rzemienia bicia) nie był przesłaniany przez sam obiekt. Kamera zapisywała kolejne obrazy z częstością 9 kHz. Obrazy z przetwornika kamery przekazywane były do bufora mogącego pomieścić 1024 obrazy. Przy zapełnionym buforze wpisanie nowego obrazu powodowało usunięcie najstarszego. Wpisywanie kolejnych obrazów przerywał trzask bicia. W ten sposób po przerwaniu rejestracji w buforze znajdowały się obrazy z interwału czasowego obejmującego pojawienie się fali uderzeniowej. Na kolejnych klatkach filmu prócz samego bicia obserwujemy jego cień i, co istotniejsze, cień fali uderzeniowej.

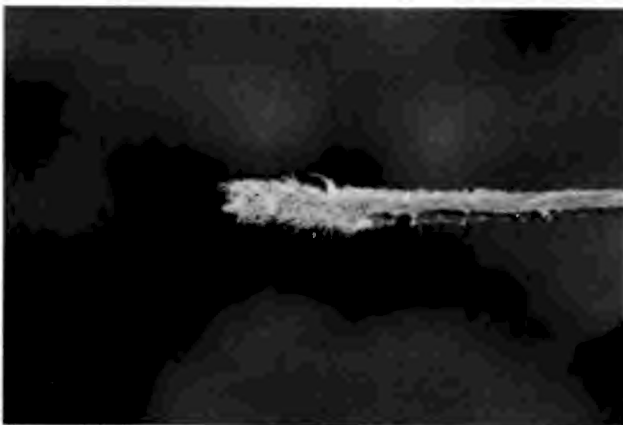
Rysunek 1 przedstawia kilka klatek filmu zarejestrowanego w doświadczeniu wykonanym przez

Krehla. Z otrzymanych obrazów można zrekonstruować kształt i położenie końca bicia w krytycznym momencie, tuż przed i tuż po uzyskaniu przez niego maksymalnej prędkości. Analiza tych danych pozwoliła autorom doświadczenia na znalezienie współrzędnych końca bicia w przestrzeni w równo od siebie odległych chwilach, wyznaczonych przez rytm impulsowego źródła światła.



Rys. 1. Cztery klatki z filmu przedstawiającego końcowe fazy ruchu bicia. Na klatce numer 3, z prawej strony końca bicia, widoczny jest kolisty cień fali uderzeniowej. (Dzięki uprzejmości Petera Krehla).

Jak się okazało, w końcowym, zanotowanym przez kamerę etapie ewolucji biczem, na wykresie zależności prędkości od czasu pojawiało się ostre maksimum podobne do asymetrycznego zęba piły. W jego szczycie koniec biczem osiągał prędkość ok. 750 m/s, a więc przeszło dwukrotnie przekraczał prędkość dźwięku. Jeszcze bardziej spektakularny wynik dała analiza przyspieszenia, jakiemu podlegał koniec biczem. W końcowym etapie przyspieszania trwającym ok. 850  $\mu$ s prędkość wzrastała od 340 m/s do wspomnianych wyżej 750 m/s. Jak łatwo obliczyć, przyspieszenie wynosiło więc prawie 50 000 g! Jeszcze większe wartości przyspieszenia pojawiały się na opadającym zboczach maksimum prędkości. Wartości te wydają się nieprawdopodobne. Zastanówmy się przez chwilę nad ich fizycznym sensem. Poddanie końca rzemienia przyspieszeniu wynoszącemu 50 000 g oznacza, że jego fragment o masie 1 grama odrywany jest siłą, jakiej trzeba użyć, by podnieść przedmiot o masie 50 kilogramów. Zwykły rzemień nie ma z pewnością takiej wytrzymałości, powinien więc ulec zerwaniu. Wykonajmy zatem proste doświadczenie: kupmy u góralki półtorametrowy rzemień, przytnijmy równiutko jego koniec i, przymocowując go do końca bambusowego palika, zmontujmy najprostszy bicz. Potrenujmy trochę, by trzaski, jakie bicz wytwarza, były dobrze słyszalne, a następnie przyjrzyjmy się koniuszkowi rzemienia. Zobaczymy wyraźne postrzępienie (rys. 2). Po każdym udanym strzale masa rzemienia maleje – drobnitkie fragmenty rzemienia ulegają oderwaniu<sup>1</sup>.



Rys. 2. Koniec biczem postrzępiony po kilkunastu strzałach.

Poniżej postaramy się wykazać, że teoria potwierdza istnienie tych olbrzymich przeciążeń. Skonstruujemy dyskretny, segmentowy model biczem, sformułujemy równania ruchu jego segmentów i wskażemy, ja-

kie są ich rozwiązania przy warunkach początkowych mających bezpośredni związek z wykonywanymi doświadczeniami.

### 3. Model biczem

Najistotniejszą częścią biczem jest oczywiście jego ruchoma, wiotka część, którą tu dla prostoty nazywać będziemy rzemieniem. Rzemień biczem australijskiego, jakiego np. używał Indiana Jones, składa się z paru części o malejącej średnicy. Pierwsza, najgrubsza część (thong) jest kołową w swym poprzecznym przekroju plecionką wykonaną z kawałków skóry kangura, mających kształt bardzo wydłużonego trójkąta. Kolejna część (fall) wykonana jest z pojedynczego rzemienia. Część ostatnia, najcieńsza i najłżejsza (popper – tę część polscy furmani nazywają pękawką), to kawałek plastikowego sznurka. Malejąca średnica powoduje zmniejszanie się liniowej gęstości, co w analizie przeprowadzonej przez Goriely'ego ma istotne znaczenie, bowiem w analizowanej przez niego technice strzału operujący biczem wytwarza na nim pętlę, która – wędrując w stronę końca – przyspiesza. Rzemień biczem polskiego jest znacznie prostszy. Składa się z jednego, wąskiego paska skóry, z pewnością nie kangurzej. Technika strzału używana przez polskich woźniców jest również znacznie prostsza. Opiszemy ją dalej, formułując warunki początkowe dla równań ruchu rzemienia.

Jednowymiarowy model rzemienia zaproponowany przez jednego z autorów (WT) jest dyskretny. Zakłada się w nim, że rzemień o całkowitej masie  $M$  i długości  $L$  składa się z  $N$  nieskończenie cienkich, połączonych ze sobą elastycznie segmentów o długości  $l = L/N$  i masie  $m = M/N$ . W najprostszej wersji modelu, którą tu przedstawimy, segmenty te ani nie są rozciągliwe, ani nie poddają się zginaniu. Nie są też rozciągliwe ich złącza, ale ich zgięcie jest możliwe, co wymaga użycia momentu siły proporcjonalnego do kąta zgięcia. Rzemień osiąga więc minimum energii sprężystej w stanie wyprostowanym. Zakłada się, że jeśli kąt zgięcia zależy od czasu, to na zgięcie między segmentami działa moment siły proporcjonalny do prędkości kątowej zginania; rzemień jest więc dysypatywny. Prócz sił wewnętrznych – sprężystości i tarcia lepkiego – na rzemień działa siła grawitacji. W opisanych niżej doświadczeniach numerycznych pomijamy dysypację energii, chodź nam bowiem o zwrócenie uwagi na te elementy modelu rzemienia, dzięki którym jest on w stanie osiągnąć prędkości ponaddźwiękowe, a dysypacja z pewnością do nich nie należy.

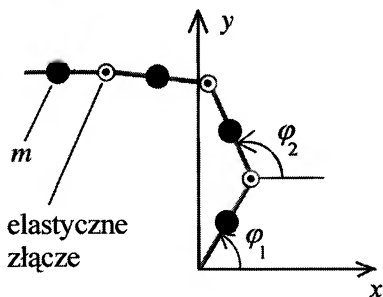
Dla uproszczenia zakładamy, że model jest dwuwymiarowy. W każdym momencie rzemień porusza się w jednej płaszczyźnie. Niech to będzie płaszczy-

<sup>1</sup> Nigdy nie ulegamy pokusie wykonania biczem z kabla elektrycznego. W latach 40. oddział okulisty kliniki w Getyndze zetknął się z serią tajemniczych przypadków – w gałkach ocznych miejskich dorożkarzy znaleziono tkwiące głęboko kawałeczki miedzianego drutu. Okazało się, że wszyscy używali batów wykonanych właśnie z elektrycznego kabelka. Oderwane pod wpływem przeciążeń drobinki miedzianych drucików poruszają się z olbrzymimi prędkościami i stanowią zagrożenie dla naszych oczu.

zna  $xy$ . Jeden z końców rzemienia przytwierdzony jest do punktu, którego trajektoria  $(x_0(t), y_0(t))$  narzucona jest przez prowadzącego doświadczenie. Zamocowany koniec zachowuje jednak swobodę obracania się. Drugi koniec rzemienia pozostaje swobodny.

#### 4. Równania ruchu

Wyprowadźmy równania ruchu rzemienia dla przypadku, w którym podczas jego zginania energia nie jest rozpraszana. Zastanówmy się więc najpierw, ile stopni swobody ma ramię, a więc ilu trzeba współrzędnych, by opisać w prostokątnym układzie współrzędnych  $xy$  jego konformację przestrzenną. Położenie pierwszego, zaczepionego w początku układu współrzędnych segmentu opisuje w pełni kąt  $\varphi_1$ , jaki tworzy on z osią  $x$  (rys. 3). Aby opisać położenie segmentu drugiego, zaczepionego do końca segmentu pierwszego, trzeba dodać drugą współrzędną – kąt  $\varphi_2$ , jaki tworzy on z osią  $x$ , itd. Widać więc, że ze względu na więzy wynikające z połączenia ze sobą kolejnych segmentów, opis przestrzennej konformacji  $n$ -segmentowego rzemienia wymaga  $n$  współrzędnych. Położenie segmentu o indeksie  $i$  wyrazić można za pomocą współrzędnej uogólnionej  $\varphi_i$  oznaczającej kąt nachylenia tego segmentu do osi  $x$ . Jak pokazujemy w Dodatku, wychodząc z tak zdefiniowanych zmiennych, można stosunkowo łatwo otrzymać układ równań ruchu rzemienia, który daje się całkować numerycznie.



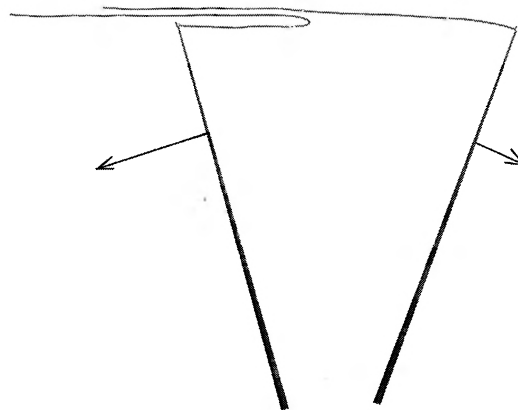
Rys. 3. Segmentowy model rzemienia.

#### 5. Techniki strzału z bicz i odpowiadające im warunki początkowe

Technik trzaskania z bicz jest kilka. Którą z nich należy zastosować, zależy od tego, jaki bicz trzymamy w dłoni. Technika najprostsza, stosowana przez polskich woźniców, to dość spokojny ruch rękojeścią wstecz, po którym następuje, wykonana w odpowiednim momencie, zmiana kierunku ruchu i jego silne przyspieszenie (rys. 4).

Załóżmy, że po pierwszej fazie ruchu uzyskujemy stan, w którym wyprostowany ramię porusza się ruchem jednostajnym w prawo. Przyjmijmy teraz, że po niewielkim przesunięciu w dół rękojeści wprawimy ją w jednostajnie przyspieszony ruch w kierunku przeciwnym, w lewo. Jeśli przejdziemy do nieinercyjnego

układu odniesienia związanego z końcem rękojeści, czyli do układu, w którym koniec rzemienia przytwierdzony do rękojeści pozostaje nieruchomy, stwierdzimy wystąpienie w nim siły bezwładności równoważnej pewnemu jednorodnemu polu grawitacyjnemu. W efekcie rozważany problem ruchu rzemienia przymocowanego do poruszającej się rękojeści możemy opisać jako problem ruchu rzemienia w polu grawitacyjnym. W opisanych niżej doświadczeniach numerycznych nie wykorzystujemy jednak tej metody.

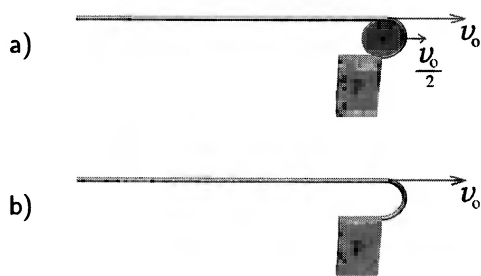


Rys. 4. Technika strzału z bicz polskiego.

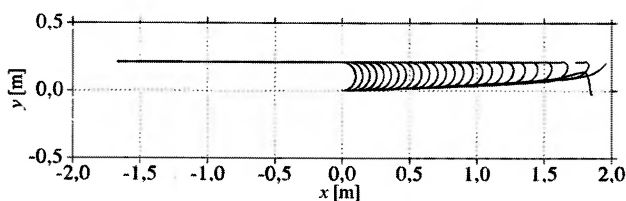
#### 6. Doświadczenia numeryczne

Aby nabrać nieco intuicji, rozważmy najpierw warunki, w których nie uzyskuje się ponaddźwiękowych prędkości rzemienia. Wykonajmy jedno z najprostszych doświadczeń, symulując sytuację, w której w przestrzeni wolnej od pola grawitacyjnego, a więc przy  $g = 0$ , poruszający się ruchem jednostajnym, wyprostowany ramię zostaje wyhamowany poprzez uchwycenie i zamocowanie jego początku. (Z podobną sytuacją mamy do czynienia, gdy bawiące się w węży dziecko biegnąc trzymając się za ręce i biegnące na przdzie dziecko zatrzymuje się, starając się zatrzymać „poruszającego się rozpędem węży”). Uchwycenie i zamocowanie początku rzemienia odbywa się przez owinięcie go wokół bloczka poruszającego się z prędkością  $v_0/2$  (rys. 5).

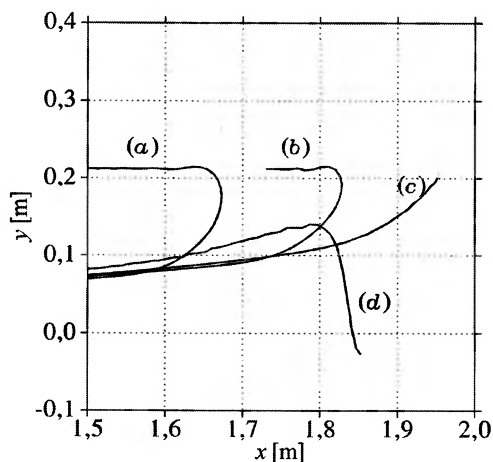
Symulację rozpoczynamy od momentu, w którym ruchomy bloczek został już usunięty, a pędzący ramię pozostaje jednym swym końcem przymocowany do podpory. Rysunki 6 i 7 przedstawiają kolejne konformacje znajdowane przez program całkujący równania ruchu. Założyliśmy, że ramię o długości 2 m i masie 100 g jest reprezentowany przez 200 jednakowych segmentów. Dla uproszczenia przyjęliśmy, że ramię jest idealnie wiotki, tj. współczynnik określający sztywność połączenia  $k = 0$ . Ramię wprawiamy w ruch, nadając mu prędkość początkową  $v_0 = 10$  m/s, a promień wirtualnego bloczka, na który nawijamy jego uchwycony początek, wynosi 0,1 m.



Rys. 5. Fizyczny sens warunków początkowych użytych w jednej z przeprowadzonych symulacji numerycznych. Wyprostowany ramię poruszający się ruchem jednostajnym z prędkością  $v_0$  zostaje owinięty wokół bloczka o promieniu  $R$  poruszającego się z prędkością  $v_0/2$  i zamocowany do podpory P (a). Bloczek zostaje usunięty (b). Ruch, który ma miejsce w następstwie tak przygotowanych warunków początkowych, przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Kolejne fazy ewolucji kształtu poruszającego się początkowo ruchem jednostajnym ramię, którego koniec został uchwycony i przymocowany do nieruchomej podpory.

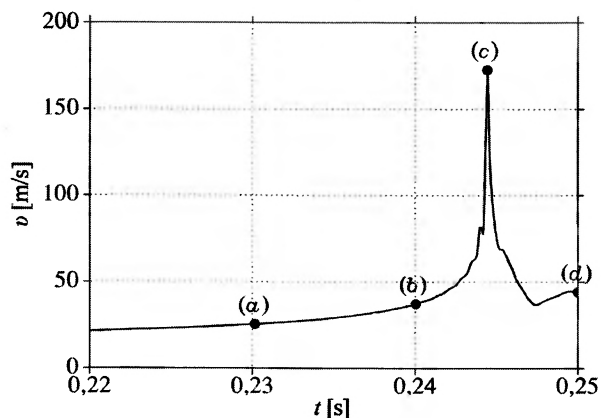


Rys. 7. Szczegóły ruchu końca ramię o nieruchomej rękojeści w otoczeniu chwili (c), w której osiąga on największą prędkość.

Obserwacja symulowanych zdarzeń ujawnia, że w tak wykonanym doświadczeniu ramię możemy podzielić w przybliżeniu na trzy części: liniową ruchomą, quasi-liniową nieruchomą i ruchome, półkoliste złącze. Jak doskonale widać na rys. 6, z biegiem czasu część

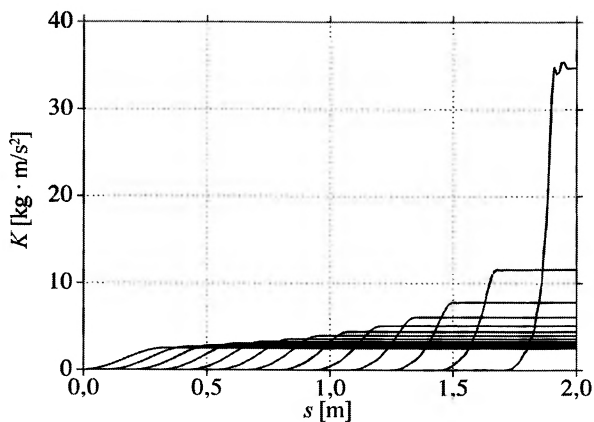
rzemienia, która została wyhamowana, wydłuża się. Jednocześnie liniowa część ruchoma ulega skróceniu, a jej prędkość powoli narasta.

Ten dość spokojny bieg zdarzeń ulega gwałtownemu przyspieszeniu, gdy koniec ramię osiąga obszar zagięcia, w którym części nieruchoma i ruchoma łączą się ze sobą. Wejście końca ramię w zakręt objawia się gwałtownym wzrostem jego prędkości. Doskonale widać to na rys. 8, na którym wykreśliliśmy zależność prędkości samego koniuszka ramię od czasu. Maksimum prędkości osiągnięte jest w momencie, gdy ramię ulega niemal idealnemu wyprostowaniu.



Rys. 8. Zależność prędkości ostatniego segmentu ramię od czasu.

Bardzo pouczające wydaje się nam sprawdzenie, co w przypadku doświadczenia numerycznego jest dziecinnie łatwe, jak w kolejnych fazach ruchu zmienia się rozkład energii kinetycznej ramię między jego segmenty (rys. 9). Widać wyraźnie, jak uchwycenie i zatrzymanie początku ramię powoduje, że jego



Rys. 9. Liniowa gęstość energii kinetycznej bicia w kolejnych fazach jego ruchu. Widać wyraźnie, jak w miarę zbliżania się do fazy, w której koniec ramię osiąga maksymalną prędkość, niemal cała energia kinetyczna  $K$  zostaje zlokalizowana w jego ostatnim fragmencie.

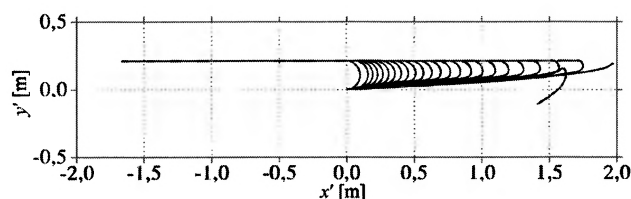


energia kinetyczna, której sumaryczna wartość musi pozostawać stała (w tak prowadzonym doświadczeniu), wtłaczana jest w coraz krótszy, pozostający w ruchu odcinek. Gęstość liniowa energii wtłoczonej w końcowy fragment rzemienia rośnie. W efekcie prędkość ostatnich fragmentów rzemienia osiąga coraz większe wartości.

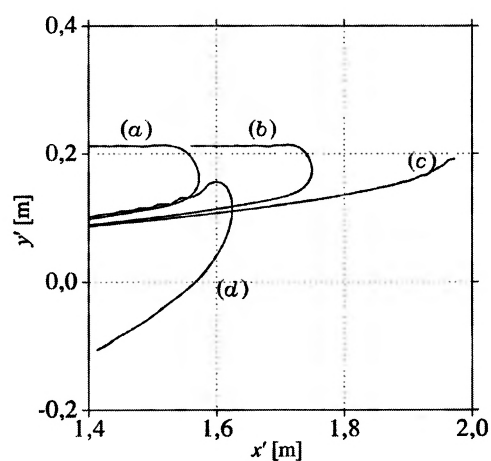
W sposób przybliżony możemy powiedzieć, że wzrost prędkości koniuszka rzemienia to wynik działania zasady zachowania energii. Oczywiście mówiąc to, musimy zdawać sobie sprawę, iż jest to tylko część prawdy; jej druga, trudniejsza do wyjaśnienia część to obserwowany w doświadczeniu numerycznym przybliżony podział rzemienia na część ruchomą i nieruchomą. Podział ten wynika z rozwiązania równań ruchu przy odpowiednio dobranych warunkach początkowych i nie jest bynajmniej oczywisty. Piszemy to, by podkreślić, iż zdroworoządkowe, ilościowe wyjaśnienia zjawiska strzału z bicza są chyba niemożliwe. Obserwowany bieg zdarzeń pozostaje wprawdzie w zgodzie z zasadami zachowania, ale bez napisania równań ruchu i ich rozwiązania jest nie do przewidzenia. Z podobną sytuacją mamy do czynienia i w innych zagadnieniach, np. analizując fale biegnące na przymocowanej jednym swym brzegiem do poziomej struny wąskiej taśmie gumowej. Taśma taka to model ciągłego ośrodka sinus-Gordona. Łatwo wytworzyć na niej, obserwować i badać solitony, ale dowieść ich istnienia... to inna para kaloszy. Bez napisania równania ruchu i jego rozwiązania, w tym wypadku analitycznego, istnienie solitonowych fal pozostaje jedynie mglistym, choć zgodnym z zasadą zachowania energii przypuszczeniem.

Analizując realną technikę strzału z bicza, trzeba zauważyć, że jest ona nieco bardziej złożona. W doświadczeniu, w którym koniec rzemienia osiąga prędkości ponaddźwiękowe, jego przymocowany do rękojeści początek nie pozostaje unieruchomiony, lecz zostaje wprawiony w ruch jednostajnie przyspieszony w kierunku przeciwnym do kierunku początkowego ruchu. Druga z przedstawionych tu symulacji numerycznych dotyczy takiej właśnie sytuacji. Symulację przeprowadzamy w warunkach niemal identycznych z tymi, w jakich wykonano symulację poprzednią: rzemień jest idealnie wiotki i nierozciągliwy. Jedyna różnica polega na tym, iż obecnie podpora, do której przymocowano koniec rzemienia, nie pozostaje nieruchoma, lecz porusza się w kierunku przeciwnym do jego ruchu z przyspieszeniem  $200 \text{ m/s}^2$ . Rysunki 10 i 11 przedstawiają kolejne fazy symulowanego numerycznie ruchu rzemienia, zaś rys. 12 – zależność prędkości jego końca od czasu. Widać wyraźnie, że wzrost prędkości końca rzemienia jest w tej sytuacji większy niż wtedy, gdy jego początek pozostawał nieruchomy. W efekcie w tym doświadczeniu numerycznym prędkość dźwięku zostaje przekroczona. Prędkość osiągana w maksimum zależy od takich parametrów, jak długość rzemienia, promień łuku, po którym zmuszamy jego początek do powrotu, i przyspieszenie, z jakim zaczyna on powracać. Zależności te są

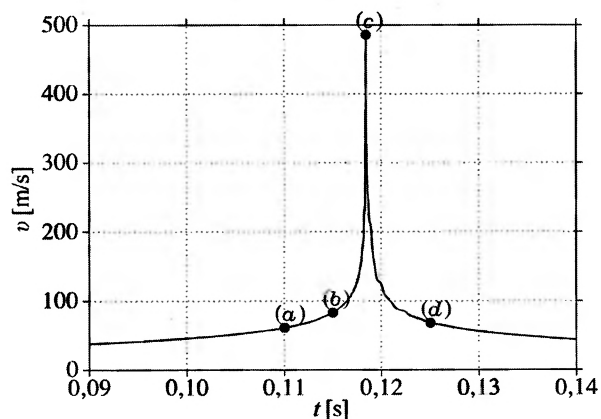
dyskutowane w obszerniejszej publikacji [5], w której opisujemy wyniki przeprowadzonych symulacji.



Rys. 10. Kolejne fazy ruchu rzemienia w sytuacji, gdy jego początek poddany jest przyspieszeniu w kierunku przeciwnym do kierunku początkowego ruchu rzemienia (patrz także rys. 11).

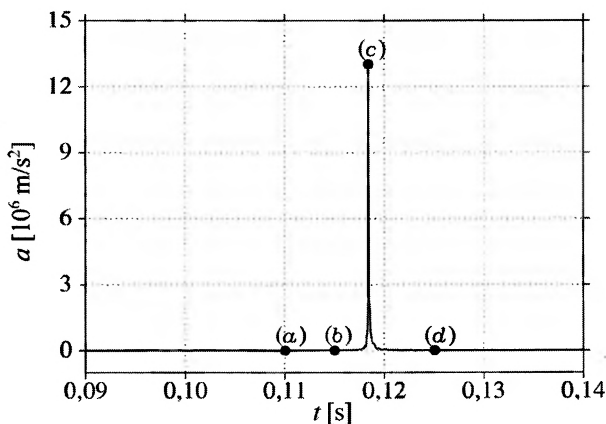


Rys. 11. Szczegóły ruchu końca bicza w otoczeniu chwili (c), w której osiąga on największą prędkość. Wykresy z rysunków 10 i 11 wykonano w nieinercyjnym układzie odniesienia związanym z początkiem rzemienia.



Rys. 12. Zależność prędkości ostatniego segmentu rzemienia od czasu w sytuacji, gdy jego początek poddany jest przyspieszeniu w kierunku przeciwnym do kierunku początkowego ruchu. Wykres obejmuje otoczenie punktu, w którym prędkość osiąga wartość maksymalną.

Rysunek 13 przedstawia wykres zależności przyspieszenia rejestrowanego w numerycznym doświadczeniu od czasu. Przedstawiamy go tu przede wszystkim po to, by wskazać na niebezpieczeństwa bezkrytycznego traktowania wyników dostarczanych przez komputer. Z rysunku tego wynika, iż przyspieszenie osiąga wartości bliskie miliona  $g$ . Bez wątplenia są to wartości nierealne. Zastanówmy się jednak, skąd się wzięły i co dzieje się w realnym doświadczeniu. Otóż tak wielkie wartości przyspieszenia są wynikiem niefizycznego założenia, że segmenty, z których zbudowany jest rzemień, są nierozciągliwe. W realnych warunkach pojawienie się związanych z tymi przyspieszeniami sił bezwładności powoduje chwilowe wydłużenie rzemienia, co z kolei zmniejsza wartość przyspieszenia. Podajmy tu znaną wszystkim analogię. Rozważmy zderzenie sprężystej piłki z nieskończenie twardą ścianą. Elastyczne ugięcie uderzającej w ścianę piłki zmniejsza przyspieszenie, któremu jest ona poddana. Działające siły i przyspieszenia maleją, bo czas zderzenia się wydłuża. Przyspieszenia są mniejsze, ale trwają dłużej: w efekcie po zderzeniu ze ścianą prędkość jest taka, jaka być powinna: co do modułu równa prędkości przed zderzeniem, ale skierowana przeciwnie. Im twardsza piłka, tym krótszy czas zderzenia i większe przyspieszenia. Z podobną sytuacją mamy do czynienia w przypadku bicza. Elastyczność rzemienia powinna zmniejszać wartość maksymalną przyspieszenia, rozciągając jednocześnie maksimum w czasie. W efekcie prędkość maksymalna powinna być bliska tej, którą obserwujemy w przypadku rzemienia nierozciągliwego. Ten i podobne problemy czekają jeszcze na rozwiązanie.



Rys. 13. Przyspieszenie ostatniego segmentu rzemienia w sytuacji, gdy jego początek poddany jest przyspieszeniu w kierunku przeciwnym do kierunku początkowego ruchu.

## 7. Wnioski

Dynamika lin jest – mimo swej czysto klasycznej natury – problemem, z którym ze względu na nietrywialność równań ruchu trudno się zmierzyć bez uży-

cia komputera. Rozwój algorytmów całkowania numerycznego (i kompilatorów umożliwiających ich efektywną implementację) pozwala dziś wykonać przy użyciu komputera klasy PC Pentium całe serie symulacji numerycznych przewidujących ewolucję konformacji, prędkości i przyspieszenia lin dla dowolnych warunków początkowych i w dowolnych warunkach doświadczalnych. Możliwe są więc np. opisane wyżej symulacje tego szczególnego ruchu rzemienia, jaki wywołujemy, strzelając z bicza. Nawiązując do zjawisk mniej rozrywkowych, wspomnijmy symulację ruchu lin, które samoczynnie pękły lub zostały zerwane celowo. Możliwość takich symulacji jest z pewnością istotna w przypadku liny nośnej kolejki górskiej, liny dźwigu czy windy. Bez wątplenia zerwania takich lin to zagadnienia, które trudno badać, przeprowadzając realne doświadczenia. Nikt przy zdrowych zmysłach nie wykona doświadczenia, w którym miałyby zostać zerwana lina ostatniego odcinka kolejki na Pic du Midi, mimo iż wiedza, jak lina ta zachowa się w takim przypadku, byłaby z pewnością bardzo cenna. Symulacje numeryczne, nawet niezbyt dokładne z powodu założeń upraszczających, są tu jedyną rozsądną metodą badań.

Na zakończenie pozwólmy sobie na nutkę przestrogi. Jest faktem, że techniki symulacji numerycznych nabierają coraz większego znaczenia w nauczaniu fizyki. Usuwanie z sal wykładowych realnych doświadczeń i zastępowanie ich odtwarzanymi z krążka CD symulacjami numerycznymi wydaje się jednak niebezpieczne. Uchwycenie w dłoń rękojęści bata i samodzielne wykonanie kilku strzałów daje więcej niż obejrzenie symulacji tego doświadczenia. Wykonując te doświadczenia, zaczynamy intuicyjnie rozumieć, jakie elementy wymuszonego rękojęścią ruchu początku rzemienia są istotne, gdy chcemy, by jego koniec przekroczył prędkość dźwięku. Droga, którą idziemy wykonując nasze symulacje, jest wytyczona właśnie przez wyniki takich prostych, mających heurystyczne znaczenie doświadczeń. Wykonując realne doświadczenie, dostarczamy naszym zmysłom informacji, na których podstawie nasz umysł buduje intuicyjną pre-teorię zjawiska. Naszym zdaniem doświadczenia numeryczne powinny być zawsze poprzedzone przez demonstracje realnych doświadczeń. Chyba że wykład dotyczy broni jądrowej.

## Dodatek

### Równania ruchu

W laboratoryjnym układzie współrzędnych  $xy$  położenie środka ciężkości  $i$ -tego segmentu opisują współrzędne  $(x_i, y_i)$ , gdzie

$$\begin{aligned} x_i &= x_0 + \sum_j^{i-1} l \cos \varphi_j + \frac{1}{2} l \cos \varphi_i, \\ y_i &= y_0 + \sum_j^{i-1} l \sin \varphi_j + \frac{1}{2} l \sin \varphi_i. \end{aligned} \quad (1)$$

Ruch każdego z segmentów można rozpatrywać jako złożenie ruchu postępowego i obrotowego. Każdy z segmentów ma moment bezwładności  $I_i = ml^2/12$  względem osi przechodzącej przez jego środek masy i prostopadłej do segmentu. Energia kinetyczna rzemienia wyraża się więc wzorem

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [m(\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2) + I_i \dot{\varphi}_i^2] = m \frac{n}{2} (\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2) - ml \sum_{i=1}^n \left[ \frac{2(n-i)+1}{2} (\dot{x}_0 \sin \varphi_i - \dot{y}_0 \cos \varphi_i) \right] + ml^2 \sum_{i=1}^n \left[ \frac{3(n-i)+1}{6} \dot{\varphi}_i^2 \right] + \sum_{j=i+1}^n \frac{2(n-j)+1}{2} \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_j \cos(\varphi_i - \varphi_j). \quad (2)$$

Na układ segmentów działają siły sprężyste i siła grawitacji. Przyjmujemy, że energia potencjalna sprężystego złącza między dwoma kolejnymi segmentami wynosi  $(1/2)k(\varphi_i - \varphi_{i-1})^2$ , gdzie współczynnik  $k$  określa sztywność połączenia. Ponieważ pierwszy segment mimo przymocowania do punktu  $(x_0, y_0)$  zachowuje swobodę obrotu, na segment ten nie działa siła sprężysta. Możemy zatem założyć, że  $\varphi_0 = \varphi_1$ . Siła grawitacji działająca na dowolny segment jest równa  $mgy_i$ . W związku z tym energią potencjalną układu wyraża wzór

$$U = \sum_{i=1}^n \left[ mgy_i + \frac{1}{2} k(\varphi_i - \varphi_{i-1})^2 \right] = nmgy_0 + \sum_{i=1}^n \left[ \frac{2(n-i)+1}{2} mgl \sin \varphi_i + \frac{1}{2} k(\varphi_i - \varphi_{i-1})^2 \right]. \quad (3)$$

Równania ruchu segmentów rzemienia zapiszmy jako równania Lagrange'a drugiego rodzaju:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi_i} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

gdzie  $L$  jest funkcją Lagrange'a zdefiniowaną jako  $L = K - U$ . Podstawiając (2) i (3) do równań (4), otrzymujemy układ równań różniczkowych opisujących ruch rzemienia. Jak łatwo sprawdzić, dla  $n = 1$ ,  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 0$  równanie jest jedno i zgodnie z oczekiwaniami ma postać równania ruchu wahadła fizycznego:

$$\frac{1}{3} \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{g}{l} \cos \varphi_1 = 0.$$

Dla dowolnego  $n$  i przy założeniu, że początek bicia może zostać wprowadzony w ruch, otrzymujemy następujący układ równań różniczkowych:

$$\ddot{x}_0 \mathbf{S}e + \ddot{y}_0 \mathbf{C}e + l(\mathbf{M}\ddot{\varphi} + \dot{\varphi}^T \mathbf{M}_\varphi \dot{\varphi}) + g \mathbf{C}e + \frac{k}{ml} \mathbf{E}\varphi = 0, \quad (5)$$

gdzie  $\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$ ,  $\dot{\varphi} = [\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, \dots, \dot{\varphi}_n]^T$ ,  $\ddot{\varphi} = [\ddot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_2, \dots, \ddot{\varphi}_n]^T$  oraz  $e = [1, 1, \dots, 1]^T_n$ . Macierze  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{S}$  oraz  $\mathbf{E}$  zdefiniowane są w [5].

## Algorytm całkowania numerycznego

Opracowanie algorytmów symulacji numerycznych nawet tak zdawałoby się prostego, czysto klasycznego obiektu jak kawałek rzemienia nie jest bynajmniej zajęciem trywialnym. Ich poprawne wykonanie wymaga pewnych umiejętności praktycznych, może nie tak wyrafinowanych, jak osiąganie wysokiej próżni w doświadczeniach nad pułapkowaniem jonów, lecz równie istotnych ze względu na możliwość pojawienia się artefaktów. Algorytmy symulacyjne to coś w rodzaju aparatury pomiarowej. Pamiętajmy jednak, że i w doświadczeniach laboratoryjnych, i w symulacjach numerycznych nie o szczegóły techniczne aparatury chodzi, a o zjawiska fizyczne badane przy jej użyciu. Oczywiście, stosując zle techniki doświadczenia można w laboratorium zamiast faktów badać artefakty. To samo można powiedzieć o symulacjach numerycznych. Dołożyliśmy starań, by w doświadczeniach numerycznych, które opisujemy, były to właśnie fakty. Powiedzmy więc – nie wchodząc w szczegóły – parę słów o użytych algorytmach.

Znając równania ruchu, można przystąpić do ich całkowania. Oczywiście, choćby ze względu na liczbę użytych zmiennych, nie ma mowy o całkowaniu analitycznym. Układ równań różniczkowych drugiego rzędu (5) można przekształcić do układu równań różniczkowych pierwszego rzędu i zastosować metody numeryczne typu Rungego-Kutty. Do najbardziej efektywnych metod w tej rodzinie zaliczyć można metody oznaczane w literaturze jako DOPRI5, DOPRI853 oraz RADAU5. Teoria dotycząca tych metod opisana jest bardzo szczegółowo w książce [6].

Jeśli początek rzemienia jest nieruchomy,  $x_0(t) = 0$  i  $y_0(t) = 0$ , to układ jest zachowawczy i jego równania ruchu można zapisać w postaci kanonicznej [7]:

$$\begin{aligned} \dot{q} &= \frac{\partial H(q, p)}{\partial p} = \mathbf{M}^{-1} p, \\ \dot{p} &= -\frac{\partial H(q, p)}{\partial q}, \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie  $H(q, p) = (1/2)p^T \mathbf{M}^{-1} p + U(q)$ .

Nowe zmienne  $q = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$  oraz  $p = [p_1, p_2, \dots, p_n]^T$  opisujące układ to położenia i pędy uogólnione, zaś funkcja  $H(q, p)$  to funkcja Hamiltona definiująca energię całkowitą układu, która podczas ruchu pozostaje stała. Fakt ten ma duże znaczenie dla konstrukcji algorytmów numerycznych rozwiązywania równań ruchu, bowiem w takim przypadku zastosować można metody symplektyczne. Szeroki wachlarz metod całkowania zagadnień hamiltonowskich znaleźć można w pracach [8,9]. Podczas opisanych niżej eksperymentów numerycznych, w stosownych przypadkach użyliśmy metod typu Rungego-Kutty opartych na kwadraturach Gaussa-Legendre'a oraz metod podziałowych Rungego-Kutty oznaczanych w literaturze jako LobattoIIIA-LobattoIIIB. Ze względu na obszerność tematu pomijamy szczegółowy opis algorytmu użytego w symulacjach.

Badania opisane w niniejszym artykule finansowane były przez Politechnikę Poznańską w ramach projektu PB 62-197/03-BW.

## Literatura

- [1] A. Goriely, T. McMillen, „Shape of a cracking whip”, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 244301 (2002).

- [2] O. Lummer, „Über die Theorie des Knalls”, *Schlesische Gesellschaft für vaterländische Kultur* **83**, II:2 (1905) (cytowane za [4]).
- [3] Z. Carrière, „Le claquement du fouet”, *J. de Physique et Le Radium*, Ser. VI **8**, 365 (1927).
- [4] P. Krehl, S. Engemann, D. Schwenkel, „The puzzle of whip cracking – uncovered by a correlation of whip-tip dynamics with shock wave emission”, *Shock Waves* **8**, 1 (1998).
- [5] W. Tomaszewski, P. Pierański, „Dynamics of ropes and chains. I. The fall of the folded chain”, *New J. Phys.* (2004), wysłane do druku.
- [6] E. Hairer, S.P. Nørsett, G. Wanner, *Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems* (Springer-Verlag, 1987).
- [7] V.I. Arnold, *Mathematical Methods of Classical Mechanics* (Springer-Verlag, 1989).
- [8] J.M. Sanz-Serna, M.P. Calvo, *Numerical Hamiltonian Problems* (Chapman and Hall, London 1994).
- [9] D.I. Okunbur, „Canonical integration methods for Hamiltonian dynamical systems”, praca doktorska, University of Illinois (1993).



Mgr inż. WALDEMAR TOMASZEWSKI jest absolwentem Politechniki Poznańskiej. Magisterium z matematyki (specjalizacja: metody numeryczne) uzyskał w 1998 r. na podstawie pracy „Wybrane zagadnienia metod numerycznych z wykorzystaniem pakietu algebry symbolicznej Derive”. Od roku 1999 przygotowuje rozprawę doktorską na temat dynamiki lin. Jest specjalistą w dziedzinie numerycznej symulacji układów dynamicznych i – zdaniem swojego promotora, prof. Piotra Pierańskiego – pracowitym, bystrym i miłym współpracownikiem.

Prof. PIOTR PIERAŃSKI uważa, że jego powołaniem jest fizyka doświadczalna i komputerowa. Głównym celem większości jego prac było dochodzenie do tych miejsc w doświadczeniu, do których nikt przedtem nie dotarł, a do których można dotrzeć przy bardzo prostym oprzyrządowaniu. Starał się też, by w miejsca te prowadzić młodych adeptów nauki. Za prace nad symulacją mechaniczną układów wielu ciał otrzymał w 1979 r. nagrodę Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Z myślą o najmłodszych miłośnikach nauki napisał książkę popularnonaukową *Fraktale – od geometrii do sztuki*. Prace symulacyjne, które prowadzi obecnie ze swoimi współpracownikami, wpisują się w rodzący się nowy dział fizyki: fizykę węzłów. Jest profesorem na Wydziale Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej, kierownikiem specjalności symulacje komputerowe.



# Narodziny astronomii rentgenowskiej\*

Riccardo Giacconi

*Associated Universities, Inc., Washington, D.C.*

oraz *Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, USA*

---

## The dawn of X-ray astronomy

---

*Nobel Lecture, 8 December 2002, Stockholm*

### 1. Wprowadzenie

Rozwój techniki raketowej, pozwalający na wyniesienie instrumentów astronomicznych ponad gęstą warstwę atmosfery, oraz postępy astronomii satelitarnej umożliwiły obserwacje ciał niebieskich w zakresie rentgenowskim.

Fotony rentgenowskie o energiach powyżej kilkuset elektronowoltów docierają do Ziemi z rozległych obszarów naszej Galaktyki mimo absorpcji przez gaz międzygwiazdowy. Przy energii kilku keV promieniowanie jest w stanie przeniknąć całą warstwę gazu galaktycznego, co pozwala rejestrować promieniowanie przychodzące do nas z odległości porównywalnych z rozmiarami Wszechświata.

Możliwość badania obiektów astronomicznych w zakresie rentgenowskim okazała się niezwykle doniosła dla całej astronomii. Fotony rentgenowskie, dominujące liczebnie w zakresie rentgenowskim i gamma, ukazują nam zachodzące we Wszechświecie zjawiska „wysokoenergetyczne”. Pod tym pojęciem rozumiem zarówno zjawiska, w których wyzwalane są skrajnie duże ilości energii (wybuchy supernowych, świecenie aktywnych jąder galaktyk itd.), jak też procesy, w których temperatura lub energia przypadająca na jeden nukleon są nadzwyczaj duże (spadek materii na obiekt zwarty, wysokotemperaturowa plazma, oddziaływanie relatywistycznych elektronów z polem magnetycznym lub polem promieniowania).

Wzrost czułości instrumentów rentgenowskich w stosunku do pierwszych urządzeń z roku 1962 przekracza dziś 9 rzędów wielkości, co odpowiada stosunkowi czułości współczesnych ośmio- czy dziesięciometrowych teleskopów optycznych do czułości nieuzbrojonego oka. Obserwacjom poddane zostały wszystkie rodzaje obiektów astronomicznych: planety i gwiazdy, zwykle galaktyki i kwazary, niewielkie grupy galaktyk i najodleglejsze znane ich gromady. W wyniku tych badań stało się jasne, że zjawiska wysokoenergetyczne odgrywają podstawową rolę przy powstawaniu

oraz chemicznej i dynamicznej ewolucji struktur kosmicznych we wszystkich skalach. Zarazem okazało się, że obserwacje rentgenowskie mają decydujące znaczenie w odkrywaniu istotnych elementów tych procesów. To właśnie obserwacje rentgenowskie po raz pierwszy ujawniły wydzielanie się znacznych ilości energii przy spadku materii na zwarte obiekty, w szczególności na gwiazdy neutronowe i czarne dziury. Podobnie, to promieniowanie rentgenowskie emitowane przez wysokotemperaturową plazmę w gromadach galaktyk wskazało na istnienie tego składnika materii we Wszechświecie i zwiększyło ponaddwukrotnie ilość „widocznej” materii barionowej w gromadach.

Perspektywy przyszłych badań Wszechświata w zakresie promieniowania rentgenowskiego rysują się w równie jasnych barwach. Gwarancje kolejnych odkryć daje wykorzystanie nowych, jeszcze potężniejszych technik obserwacyjnych, jak niedispersyjna spektroskopia wysokiej rozdzielczości oraz teleskopy rentgenowskie odznaczające się dużym polem widzenia i zdolne skupiać promieniowanie o coraz większych energiach.

### 2. Początki astronomii rentgenowskiej

Gdy w 1959 r. grupa naukowców z niewielkiej prywatnej firmy American Science & Engineering (AS&E) z Cambridge (stan Massachusetts, USA) rozpoczęła analizę teoretycznych i eksperymentalnych możliwości rozwoju astronomii rentgenowskiej, zespół kierowany przez Herberta Friedmana w Naval Research Laboratory (NRL) prowadził już od ok. 10 lat rentgenowskie obserwacje Słońca i miał za sobą wiele nieudanych prób detekcji promieniowania rentgenowskiego emitowanego z obiektów gwiazdowych [1]. Wraz z Clarkiem i Rossim opublikowałem wówczas „Krótki przegląd doświadczalnego i teoretycznego rozwoju astronomii rentgenowskiej” [2], w którym podjęliśmy próbę oceny wielkości strumieni promieniowania rentgenowskiego pochodzącego od różnych ciał niebieskich.

---

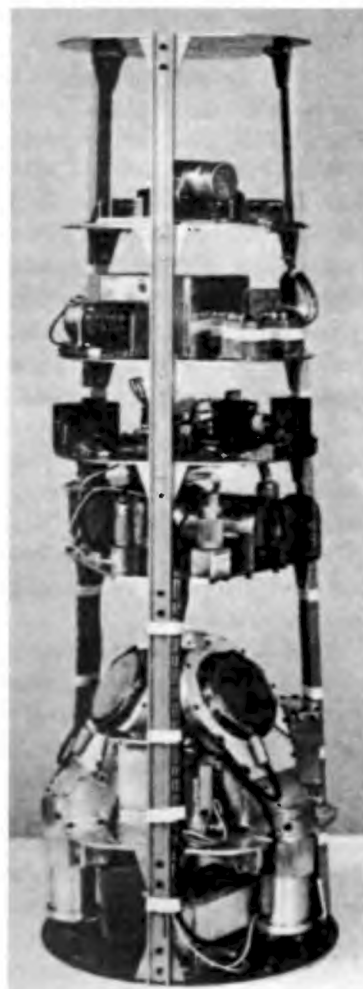
\*Wykład noblowski, wygłoszony 8 grudnia 2002 r. w Sztokholmie, został przetłumaczony za zgodą Autora i Fundacji Nobla [Translated with permission. Copyright © 2002 by the Nobel Foundation].

Tabela 1. Oszacowanie strumieni promieniowania rentgenowskiego ze Słońca i obiektów spoza Układu Słonecznego [2].

| Źródło   | Maksymalna długość fali  | Mechanizm emisji  | Strumień [ $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ] |
|--|--------------------------|---|---|
| Słońce   | $< 20 \text{ \AA}$       | promieniowanie termiczne korony   | $\sim 10^6$                                       |
| gwiazda wielkości Słońca w odległości 8 lat świetlnych | $< 20 \text{ \AA}$       | promieniowanie termiczne korony   | $3,6 \cdot 10^{-6}$                               |
| Syriusz, gdy $L_X \approx L_{\text{opt}}$              | $< 20 \text{ \AA}$       | ? (brak warstwy konwekcyjnej)   | 0,25  |
| gwiazdy rozbłyskowe                                    | $< 20 \text{ \AA}$       | rozbłyski typu słonecznego (?)  | ?   |
| gwiazdy osobliwe typu A                                | $< 20 \text{ \AA}$       | $B \sim 10^4 \text{ Gs}$ ; silne pole magnetyczne powoduje przyspieszanie cząstek                                       | ?   |
| Mgławica Krab  | $< 25 \text{ \AA}$       | promieniowanie synchrotronowe $E_e \geq 10^{13} \text{ eV}$ przy $B = 10^4 \text{ Gs}$ ; problem czasu życia elektronów | ?   |
| Księżyc  | $< 23 \text{ \AA}$       | fluorescencja   | 0,4   |
| Księżyc  | $\approx 20 \text{ \AA}$ | uderzenia elektronów wiatru słonecznego (strumień $\phi_e = 0-10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )            | $0-1,6 \cdot 10^{-3}$                             |
| Sco X-1  | 2–8 $\text{ \AA}$        | ?   | $28,0 \pm 1,2$                                    |

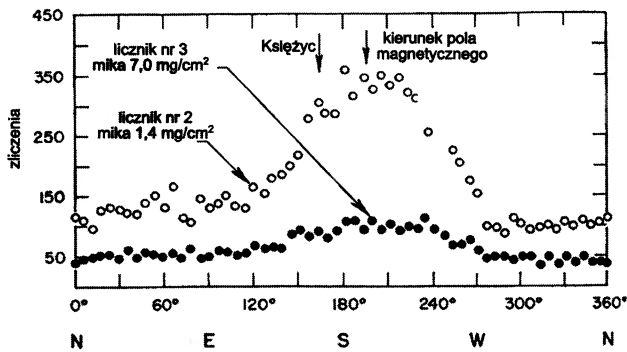
W tabeli 1 zestawiono główne wyniki tej analizy. Wytwarzany przez Słońce strumień  $10^6$  fotonów rentgenowskich docierających do  $1 \text{ cm}^2$  powierzchni Ziemi w ciągu 1 s był z łatwością wykrywany przez ówczesne liczniki o typowej czułości  $10-10^2$  fotonów/ $(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ . Gdyby jednak gwiazdy świeciły rentgenowsko z tym samym natężeniem co Słońce, moglibyśmy oczekiwać na Ziemi strumieni o natężeniu co najwyżej  $10^{-4}$  fotonów/ $(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ . Rozważaliśmy inne możliwe źródła rentgenowskie, m.in. pozostałości po wybuchach supernowych, gwiazdy rozbłyskowe i gwiazdy osobliwe typu A, lecz oceny ich strumieni rentgenowskich były obciążone znacznymi niepewnościami. Ocenialiśmy, że najjaśniejszym obiektem nocnego nieba może być Księżyc dzięki fluorescencji gruntu na jego powierzchni spowodowanej przez strumień rentgenowskich fotonów ze Słońca.

Przygotowaliśmy instrument zdolny do wykrycia strumienia  $0,1-1$  fotonów/ $(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , czyli 50–100 razy czulszy od przyrządów wysyłanych dotychczas na raketach sondujących. Wzrost czułości został osiągnięty dzięki zwiększeniu powierzchni detektora i osłonie antykoincydencyjnej, która znacznie obniżyła poziom tła pochodzącego od cząstek naładowanych; duży kąt bryłowy, w którym rejestrowano fotony, zwiększał dodatkowo szansę zaobserwowania źródła w czasie lotu. Aparatura ta (rys. 1), stanowiąca ładunek użyteczny w locie z 12 czerwca 1962 r., pozwoliła zarejestrować pierwsze gwiazdowe (poza Słońcem) źródło rentgenowskie [4]. Obiekt ten (Sco X-1), dominujący na rentgenowskim nocnym niebie, został zarejestrowany jako źródło o strumieniu  $28,0 \pm 1,2$  fotonów/ $(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , nieco poniżej progu czułości wcześniejszych eksperymentów (rys. 2). W okolicy położenia źródła rentgenowskiego



Rys. 1. Instrumenty wyniesione ponad atmosferę ziemską w locie rakiety AS&amp;E z 12 czerwca 1962 r. ([3], s. 9).

na niebie (wyznaczonego jednak bardzo niedokładnie) nie znajdował się żaden obiekt szczególnie jasny lub nieprzećiętny pod względem swych własności optycznych czy radiowych. Nasze wyniki zostały wkrótce potwierdzone dzięki obserwacjom raketowym w kwietniu 1963 r. przez grupę Friedmana z NRL, która odkryła również rentgenowską emisję Mgławicy Krab [5].



Rys. 2. Pierwsza obserwacja Sco X-1 i rentgenowskiego promieniowania tła wykonana podczas lotu raketowego 12 czerwca 1962 r. [4].

Istotne znaczenie odkrycia nie polegało jedynie na stwierdzeniu istnienia „gwiazdy rentgenowskiej”, ale na jej wyjątkowych własnościach. Jasność rentgenowska Słońca stanowi zaledwie  $10^{-6}$  jego jasności optycznej. W przypadku Sco X-1 jasność rentgenowska jest  $10^3$  razy większa od optycznej i – jak później oszacowano – również  $10^3$  razy przewyższa całkowitą moc promieniowania Słońca! Był to rzeczywiście zadziwiający, nowy rodzaj obiektu astronomicznego. Co więcej, proces fizyczny odpowiedzialny za emisję rentgenowską w Sco X-1 musiał być inny od znanych dotychczas, gdyż w ziemskich laboratoriach wydajność procesów emisji rentgenowskiej nigdy nie osiąga 99,9%.

Liczne loty raketowe przeprowadzone w latach sześćdziesiątych XX w. przez wiele grup doprowadziły do odkrycia dużej liczby rentgenowskich źródeł gwiazdowych i pierwszych źródeł pozagalaktycznych. Zespół w NRL oraz grupa z Lockheed (kierowana przez Phila Fishera) kontynuowały obserwacje obejmujące głównie duże fragmenty nieba. Istotnym wyjątkiem jest tu wykonana w NRL w 1964 r. obserwacja zakrycia Mgławicy Krab [6].

Nasza grupa w AS&E zajęła się szczegółowymi badaniami konkretnych źródeł rentgenowskich. Najbardziej ważne okazały się obserwacje wykonane podczas serii lotów raketowych, które doprowadziły do odkrycia – identyfikacji, jak mówią astronomowie – źródła Sco X-1 w optycznym obszarze widma. Szybko stwierdziliśmy, że świecenia Sco X-1 nie można przypisać emisji termicznej z powierzchni gwiazdy neutronowej [7], co pozwoliło ocenić, że optyczny odpowiednik Sco X-1 powinien być 13. wielkości gwiazdowej. W pierwszych obserwacjach raketowych mają-

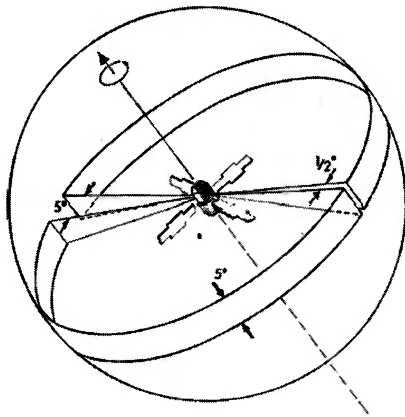
cych na celu ocenę rozmiarów kątowych źródła stwierdzono, że średnica Sco X-1 nie przekracza  $7''$  [8]. Obiekt musi zatem mieć wygląd gwiazdy, a nie rozmytej mgławicy. Ten wynik z kolei umożliwił przeprowadzenie przez grupę AS&E-MIT, kierowaną przez Herberta Gursky'ego, finezyjnego pomiaru położenia z dokładnością dostatecznie dużą [9], by możliwa stała się identyfikacja obiektu z gwiazdą 13. wielkości [10], której widmo miało wygląd podobny do widma „starej” gwiazdy nowej, czyli gwiazdy nowej obserwowanej w jakiś czas po wybuchu. To odkrycie wzmogło zainteresowanie modelem Sco X-1 jako składnika układu podwójnego [11]; w szczególności Szklowski wysunął hipotezę, że jest to układ z gwiazdą neutronową [12]. Jednakże brak emisji rentgenowskiej znanych gwiazd nowych oraz charakterystycznych znamion podwójności układu zarówno w widmie optycznym, jak też w danych rentgenowskich, i wreszcie powszechne przekonanie, że poprzedzający utworzenie gwiazdy neutronowej wybuch supernowej nieuchronnie prowadziłby do rozzerwania układu podwójnego, zdawały się świadczyć przeciw temu modelowi. Odkrycie pulsarów przez Hewisha w 1967 r. zachęciło teoretyków do budowania modeli źródeł rentgenowskich właśnie jako pulsarów. Jednakże efekty wielu wysiłków były nieprzekonujące ze względu na brak obserwacji pulsacji rentgenowskich. Rozwiązanie zagadki Sco X-1 i podobnych źródeł musiało zaczekać aż do wysłania satelity *Uhuru* – pierwszego obserwatorium rentgenowskiego umieszczonego na orbicie okołoziemskiej.

Projekt wyniesienia na orbitę „satelity skanującego” sferę niebieską, jakim ostatecznie był *Uhuru*, zawarliśmy z Herbem Gurskym w dokumencie dla NASA z 25 września 1963 r. Przedstawiliśmy tam całościowy program badań rentgenowskich, którego uwieńczeniem miało być wysłanie w przestrzeń w 1968 r. teleskopu o średnicy zwierciadła 1,2 m. Nasze młodzieńcze marzenia spełniły się dopiero z chwilą wystrzelenia obserwatorium rentgenowskiego *Chandra* w 1999 r. z teleskopem o średnicy zwierciadła właśnie 1,2 m. Mimo że rozwój trudnych technologii, które umożliwiły ostatecznie budowę teleskopów rentgenowskich, wymagał czasu, postęp astronomii rentgenowskiej nie uległ zatrzymaniu – ważne odkrycia zostały dokonane przy użyciu stosunkowo prymitywnych instrumentów umieszczonych na satelitach.

### 3. Odkrycia *Uhuru*

Łączny czas obserwacji rentgenowskiego nieba wykonanych w latach 60. wynosił ok. jednej godziny. Złożyło się na to po 5 minut przebywania powyżej 100 km dla każdego z około tuzina lotów. Następny krok, o wielkiej doniosłości, w badaniach rentgenowskich, który z rejestracji fenomenologicznych przeniósł nas w dziedzinę obserwacji astrofizycznych, nastąpił 12 grudnia 1970 r. Wówczas z włoskiej platformy startowej San Marco w Kenii został wyniesiony na orbitę *Uhuru* – pierwszy z serii SAS (małych satelitów astro-

nomicznych). *Uhuru* rzeczywiście był mały (rys. 3). Powstał w całości w AS&E; trwająca 7 lat praca obejmowała studia koncepcyjne, budowę i testy instrumentów oraz montaż całości.



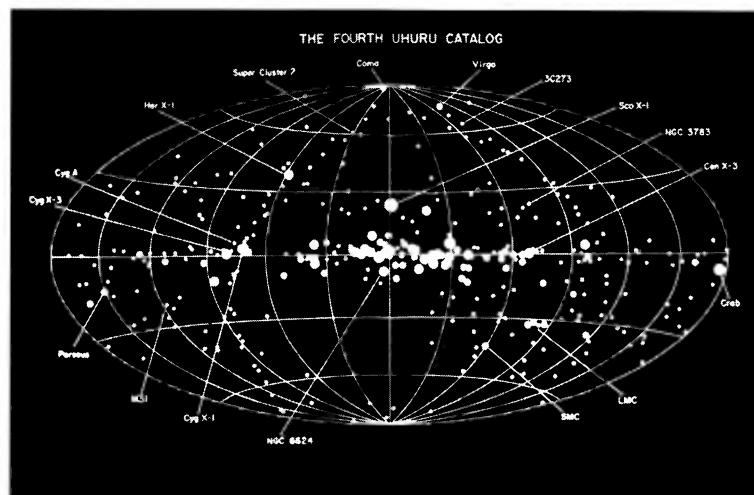
Rys. 3. Pole widzenia detektorów satelity *Uhuru* ([13] oraz [3], s. 95).

*Uhuru* był pierwszym obserwatorium przeznaczonym całkowicie do badań rentgenowskich. Zwiększył czas obserwacji z minut do lat, czyli o 5 rzędów wielkości [14]. Pole widzenia detektorów umieszczonych na pokładzie satelity powoli się obracało, tak że pas o szerokości kątowej  $5^\circ$  przesunął się w ciągu doby o  $1^\circ$ . Po trzech miesiącach obserwacje obejmowały już całą sferę niebieską. W efekcie zarejestrowano położenia wielu nowych źródeł z dokładnością ok.  $1'$ , co często pozwalało na identyfikację źródła rentgenowskiego z obiektem optycznym lub radiowym. To z kolei dawało możliwość wyznaczenia odległości, jasności absolutnej (mocy promieniowania) i warunków fizycznych panujących w obiektach emitujących promieniowanie rentgenowskie. Wśród 300 no-

wych źródeł odkrytych przez *Uhuru* zidentyfikowaliśmy układy podwójne, supernowe, galaktyki, galaktyki aktywne, kwazary i gromady galaktyk (rys. 4). Niezwykle ważna okazała się możliwość zdalnego wstrzymania obrotu satelity i prowadzenia bardzo długich obserwacji pojedynczego obiektu w celu pomiaru zmian jasności. Głównie dzięki tej technice obserwacji udało się rozwiązać podstawowy wówczas problem astronomii rentgenowskiej, a mianowicie wyjaśnić naturę źródeł energii odpowiedzialnych za wielkie jasności absolutne rentgenowskich obiektów gwiazdowych.

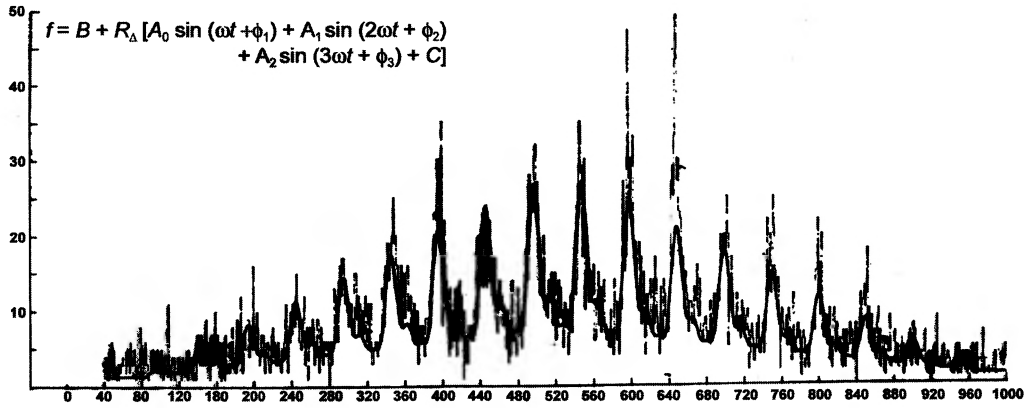
### 3.1. Rentgenowskie układy podwójne

Analiza zebranych danych ujawniła, że niektóre źródła (Her X-1 i Cen X-3, rys. 5) pulsują regularnie z okresem rzędu sekund [16], inne natomiast (Cyg X-1) zmieniają blask nieregularnie w skalach czasowych poniżej 0,1 s. Pierwszy zauważył to Minoru Oda, który w tym czasie gościł w AS&E. Z Ethanem Schreierem stwierdziliśmy, że średnia jasność Cen X-3 jest modulowana z okresem kilku dni i wykazuje charakterystyczne zaćmienia (rys. 6). Okres pulsacji jest przy tym również zależny od fazy tych długookresowych zmian. Przyczyna takiego zachowania została szybko wyjaśniona: obserwowaliśmy gwiazdowe źródło rentgenowskie krążące wokół „normalnej” gwiazdy (rys. 7). Zmiany obserwowanego okresu pulsacji są spowodowane przez zjawisko Dopplera. Wcześniej, w 1967 r., Hewish odkrył pulsary w zakresie radiowym. Czyżby obserwowane źródło rentgenowskie było pulsarem obiegającym zwyczajną gwiazdę? Wydawało się to wówczas trudne do przyjęcia. Pulsar jest gwiazdą neutronową, która – jak przypuszczamy – powstaje w wyniku zapadnięcia się (kolapsu) gwiazdy w późnych etapach jej życia. Uważano, że eksplozja poprzedzająca kolaps spowoduje rozzerwanie każdego układu podwójnego. Podwójny pulsar nie został jeszcze wówczas odkryty przez Josepha Taylora.

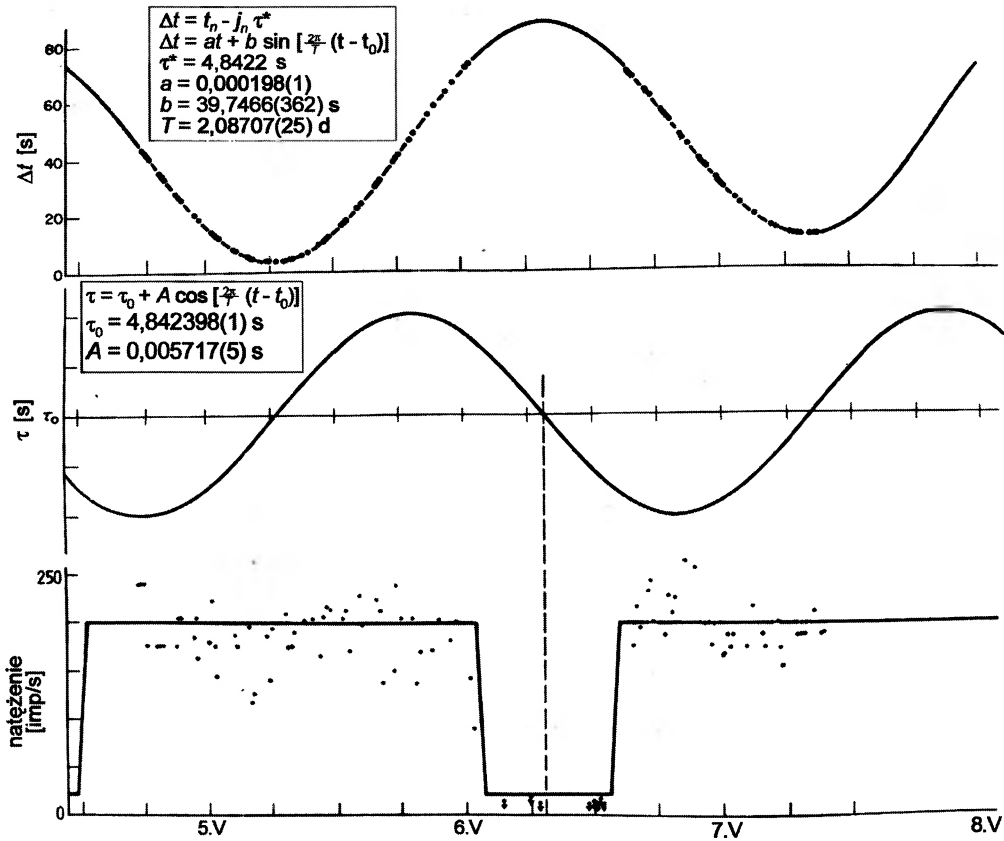


Rys. 4. Rozmieszczenie zarejestrowanych przez *Uhuru* źródeł rentgenowskich na sferze niebieskiej we współrzędnych galaktycznych. Rozmiary kropek są proporcjonalne do logarytmu obserwowanego strumienia ([3], s. 156).





Rys. 5. Pulsacje rentgenowskie z obiektu Centaur X-3 zebrane przez AS&E 7 maja 1971 r.; na osi pionowej liczba zliczeń w ciągu 0,096 s, na osi poziomej – czas [15].



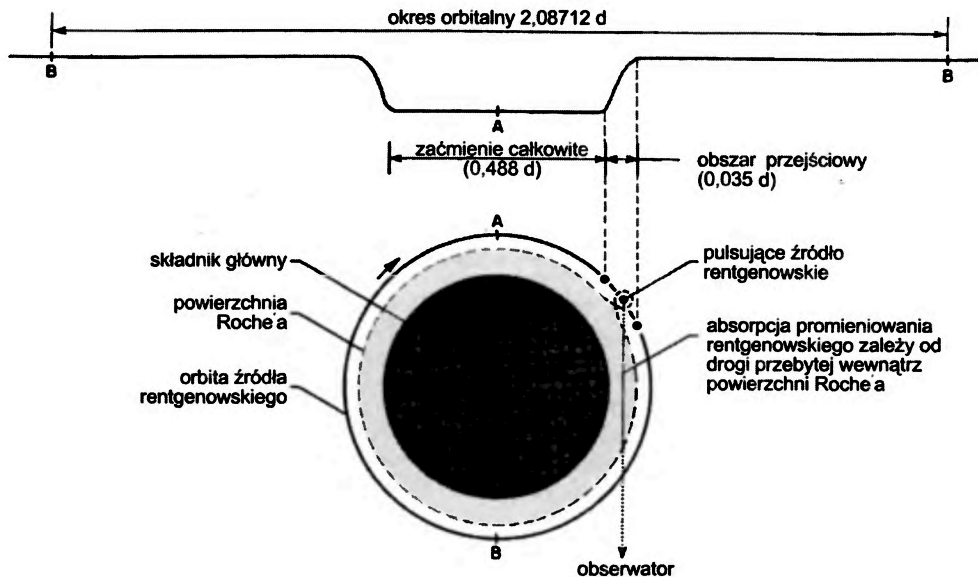
Rys. 6. Zmiany okresu i zaćmienia Cen X-3 [15].

Wkrótce podano nową, zaskakującą i ważną wiadomość: okres pulsacji ulega z czasem skracaniu, a nie wydłużaniu (rys. 8). Taką zależność zaobserwowano nie tylko dla Cen X-3, ale także – co stwierdził Harvey Tananbaum – dla Her X-1 [17]. Z tym to dopiero mieliśmy kłopot! Pulsary emitują promieniowanie elektromagnetyczne kosztem swej energii kinetycznej ruchu obrotowego. A tu rentgenowsko świecąca gwiazda neutronowa zwiększa swoją energię rota-

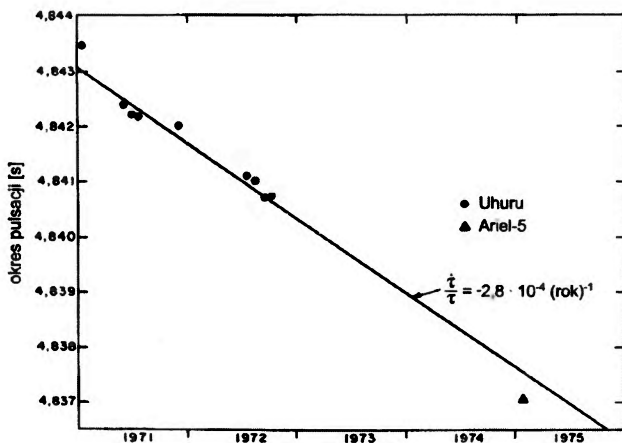
cyjną, zamiast ją tracić! Wyjaśnienie tkwiło w szczególnym oddziaływaniu gazu pochodzącego z normalnej gwiazdy z gwiazdą, która uległa zapadnięciu. Materia z zewnętrznych warstw atmosfery gwiazdy normalnej może zostać ściągnięta przez silne pole grawitacyjne gwiazdy zwartej i uzyskać energię kinetyczną rzędu  $0,1mc^2$  na nukleon. Szybko poruszające się nukleony w warstwie ponad powierzchnią gwiazdy neutronowej oddają energię, podgrzewając znajdujący się tam gaz

do bardzo wysokiej temperatury, co prowadzi do emisji promieniowania rentgenowskiego (rys. 9). Właśnie ta spadająca materia dostarcza energii zapadniętej gwiazdzie. Model taki stosuje się zarówno do Sco X-1, jak i do większości galaktycznych źródeł rentgenowskich. W gwiazdzie neutronowej wytwarzającej silne pole ma-

gnetyczne ( $10^{12}$  gausów) zjonizowany gaz skupia się przy biegunach magnetycznych, co wskutek wirowania gwiazdy powoduje powstawanie obserwowanych zależności okresowych (rys. 10). W przypadku czarnej dziury brak jest określonych struktur powierzchniowych i pulsacje mają charakter chaotyczny (rys. 11).

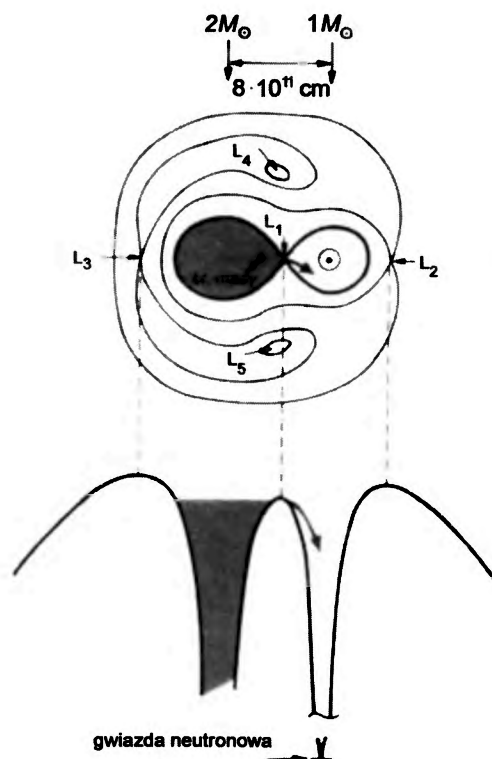


Rys. 7. Model układu podwójnego Cen X-3.



Rys. 8. Zmiany okresu pulsacji Cen X-3 w ciągu kilku lat.

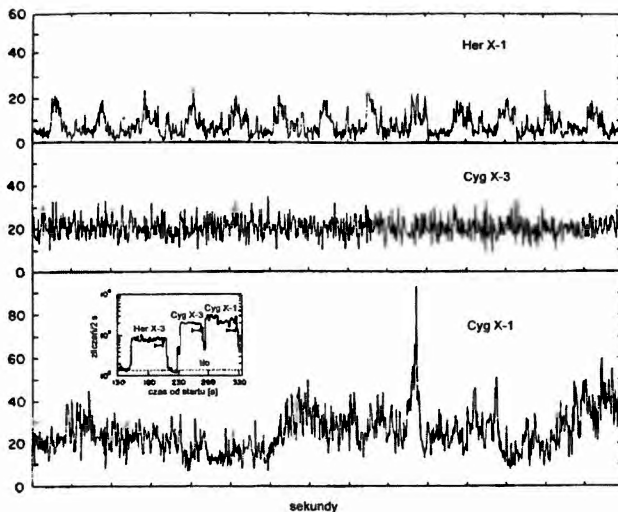
Zaobserwowane przez Odę [18] za pomocą *Uhuru* gwałtowne zmiany jasności Cyg X-1 zostały wkrótce potwierdzone dzięki lotom raketowym przeprowadzonym przez grupy z GSFC (Goddard Space Flight Center) i MIT. Obserwacje te ostatecznie wykazały, że dostrzeżone pulsacje nie mają charakteru okresowego, lecz są chaotyczne [19,20]. Obserwacje prowadzone przez grupę z GSFC w 1974 r. osiągnęły rozdzielczość czasową ok. 1 ms i ujawniły silne chaotyczne fluktuacje jasności nawet w tak krótkich skalach czasowych [21]. Zmienność tę można było łatwiej wytłu-



Rys. 9. Kształt powierzchni ekwipotencjalnych pola grawitacyjnego w typowym układzie podwójnym zawierającym źródło rentgenowskie. Widok „z góry” i w przekroju.



Rys. 10. Artystyczna wizja gwiazdy neutronowej z akrecją zachodzącą w okolicach jej biegunów magnetycznych (autor: R. Plourde).

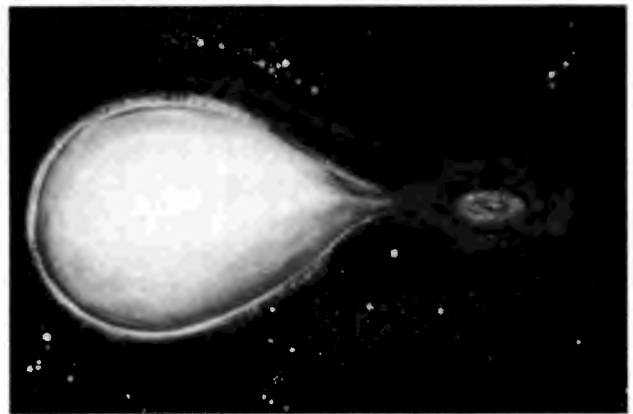


Rys. 11. Porównanie krzywych blasku Her X-1, Cyg X-3 i Cyg X-1 (dzięki uprzejmości R. Rothschilda); na osi pionowej – liczba zliczeń w ciągu 20,48 s.

maczyć przyjmując, że zwarty składnik układu podwójnego (źródło rentgenowskie) jest czarną dziurą, a nie gwiazdą neutronową. Powyższe wyniki spowodowały w latach 1971–72 intensywne poszukiwania identyfikacji optycznej i radiowej źródła Cyg X-1. Dzięki *Uhuru* znacznie poprawiono wyznaczenie jego położenia [22], co zachęciło Hjellminga i Wade'a do poszukiwań obiektu radiowego. Jeszcze większą dokładność uzyskały – dzięki zastosowaniu układu kolimatorów modulacyjnych – grupa japońska kierowana przez Odę [23] i grupa z MIT [24]. Na tej podstawie Hjellming i Wade [25] oraz Braes i Miley [26] donieśli o odkryciu źródła radiowego związanego z Cyg X-1. Dokładne wyznaczenie położenia źródła radiowego doprowadziło do identyfikacji optycznej Cyg X-1 przez Webstera i Murdina [27] oraz Boltona [28] z układem po-

dwójnym HDE 226862 o okresie orbitalnym 5,6 doby. Identyfikacja źródła radiowego z Cyg X-1 została dodatkowo przypieczętowana przez jednoczesne obserwacje rentgenowskie i radiowe [29]. Spektroskopowe pomiary prędkości HDE 226862 pozwoliły także Websterowi i Murdinowi ostatecznie potwierdzić, iż Cyg X-1 jest układem podwójnym. Masa zwartego obiektu została oceniona na co najmniej 6 mas Słońca. Jednocześnie w 1972 r. Rhoades i Ruffini wykazali [30], że zwarty obiekt o masie większej od 3,4 mas Słońca musi być czarną dziurą.

Wyniki obserwacji Cyg X-1 można podsumować następująco: źródło rentgenowskie Cyg X-1 jest obiektem zwartym o rozmiarach poniżej 30 km – ocena wynika z szybkości zmian blasku, a duża amplituda tych zmian oznacza, że dotyczą one całego obiektu ([16], s. 147); masa obiektu przekracza znaną z teorii górną granicę masy gwiazd neutronowych. Na tej podstawie Cyg X-1 stał się pierwszym kandydatem na czarną dziurę (rys. 12). Obecnie znamy już co najmniej 6 galaktycznych źródeł rentgenowskich, które przypuszczalnie zawierają czarną dziurę [31].



Rys. 12. Artystyczna wizja Cyg X-1 (autor: L. Cohen).

Odkrycie źródeł rentgenowskich w układach podwójnych pociągnęło za sobą daleko idące następstwa (tab. 2). Wykazaliśmy istnienie układów zawierających gwiazdy neutronowe i czarne dziury. Tym samym odkryliśmy gwiazdowe czarne dziury. Rentgenowskie układy podwójne stały się niejako laboratorium fizycznym, w którym badaniom poddawane są: masa, moment bezwładności i równanie stanu gwiazdy neutronowej (o gęstości rzędu  $10^{15}$  g/cm<sup>3</sup>). Znaleźliśmy nowe źródło energii występujące w ciałach niebieskich – spadek (akrecja) materii w silnym polu grawitacyjnym. W przypadku gwiazdy neutronowej energia na nukleon wyzwolona w wyniku akrecji ok. 50 razy przewyższa energię uzyskiwaną w syntezie termojądrowej. Powszechnie przyjmuje się, że powyższy model, tj. akrecja gazu na zwarty obiekt, opisuje źródło energii w kwazarach i we wszystkich typach aktywnych jąder galaktyk. Liczne dane wskazują na to, że w aktyw-

Tabela 2. Konsekwencje odkrycia rentgenowskich układów podwójnych.

- Istnienie układów podwójnych gwiazd zawierających gwiazdę neutronową lub czarną dziurę
- Istnienie czarnych dziur o masach gwiazdowych
- Oceny mas, promieni, momentów bezwładności i równań stanu materii gwiazd neutronowych (o gęstości  $\sim 10^{15}$  g/cm<sup>3</sup>)
- Akrecja grawitacyjna jako nowe źródło energii (100 razy wydajniejsze w przeliczeniu na nukleon niż synteza termojądrowa)
- Powstanie ogólnie przyjętego modelu aktywnych jąder galaktyk i kwazarów

nych jądrach galaktyk występuje akrecja na masywną czarną dziurę (o masie większej niż  $10^7$  mas Słońca).

### 3.2. Odkrycie gorącego gazu międzygalaktycznego

Ujawnienie gwałtownych zmian jasności obiektów na rentgenowskim niebie, odkrycie gwiazd neutronowych i czarnych dziur w układach podwójnych oraz identyfikacja akrecji jako dominującego źródła energii to jedynie część wielkich osiągnięć *Uhuru*. Innym nadzwyczaj ważnym sukcesem tego obserwatorium i całej astronomii rentgenowskiej stała się detekcja promieniowania rentgenowskiego gromad galaktyk. Zjawisko zarówno ma znaczenie dla badań samych gromad, jak i dotyczy zagadnień kosmologicznych. Emisja gromad nie stanowi sumy emisji galaktyk składowych, ale pochodzi również od rozrzedzonego gazu wypełniającego przestrzeń międzygalaktyczną. Gaz ten został rozgrzany do temperatury wielu milionów stopni w czasie grawitacyjnej kontrakcji materii i formowania się gromady. Jego masa jest porównywalna z masą samych galaktyk [32]. Dzięki temu jednemu odkryciu podwoiła się masa barionów, które jesteśmy w stanie zarejestrować w gromadach. Pierwsze obserwacje *Uhuru*, z niewielką rozdzielczością kątową rzędu  $0,5^\circ$ , dotyczące jedynie trzech najbliższych i najliczniejszych gromad galaktyk, zostały znakomicie uzupełnione i rozszerzone dzięki wprowadzeniu nowego, potężnego obserwatorium rentgenowskiego *Einstein*, w którym po raz pierwszy zastosowano w pozasłonecznej astronomii rentgenowskiej nową technologię: teleskopy zwierciadlane.

## 4. Teleskopy rentgenowskie

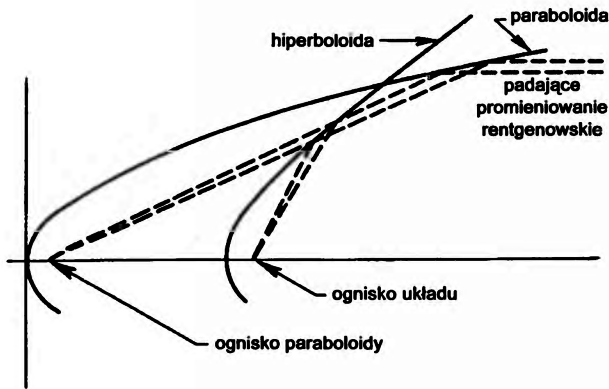
W tym miejscu niezbędna jest krótka dygresja opisująca rewolucję w astronomii rentgenowskiej, jaka dokonała się wskutek wprowadzenia optyki ogniskującej. Przyglądając się naszym ocenom oczekiwanych strumieni rentgenowskich z 1959 r., doszedłem do przekonania, że rozwój astronomii rentgenowskiej może dokonać się jedynie poprzez wprowadzenie zupełnie nowych urządzeń – innych niż dotąd stosowane. Do badania Słońca Friedman skonstruował licznik Geigera–Müllera z cienkim oknem, co pozwoliło na

wnikanie fotonów rentgenowskich głęboko do komory licznika. Licznik taki nie umożliwił jednak określenia ani kierunku padającego fotonu, ani jego energii. Aby poprawić charakterystykę kierunkową, astronomowie rentgenowscy stosowali kolimatory, czyli mechaniczne przegrody, które ograniczały pole widzenia, zwykle do  $1^\circ$ . Dla poprawienia czułości konstruowaliśmy zaś układy antykoincydencyjne eliminujące cząstki naładowane i zwiększaliśmy powierzchnię detektorów. Podstawą odkryć związanych z lotem w 1962 r. były właśnie te ulepszenia. Instrumenty *Uhuru* w 1970 r. działały na bardzo podobnej zasadzie. Udoskonalenia polegały głównie na dalszym zwiększeniu powierzchni ( $800\text{ cm}^2$  zamiast  $10\text{ cm}^2$ ) i wielokrotnemu wydłużeniu czasu obserwacji. Uzyskaliśmy efektywny wzrost czułości o czynnik rzędu  $10^4$ . Trzeba jednak zauważyć, że obecność tła implikowała wzrost czułości proporcjonalny zaledwie do pierwiastka z powierzchni efektywnej. A zatem dalsze zwiększanie czułości wymagałoby budowania satelitów o rozmiarach boisk do piłki nożnej. Co więcej, wszystkie próby uzyskania lepszej rozdzielczości kątowej za pomocą przegród (jak w układach kolimatorów modulacyjnych) prowadziły nieuchronnie do obniżenia czułości.

Rozwiązaniem, które przyszło mi na myśl już w 1959 r., było zastosowanie teleskopu, podobnie jak to się robi w astronomii optycznej [33]. Teleskop pozwala zogniskować strumień z dużej powierzchni na niewielkim detektorze, a tym samym zwiększyć ilość rejestrowanej energii i stosunek sygnału do szumu. Dzięki optyce ogniskującej uzyskiwana jest też wysoka rozdzielczość kątowa całego obrazu bez konieczności obracania instrumentu i skanowania badanego obszaru nieba, co umożliwia zbieranie danych ze wszystkich źródeł w polu widzenia przez znacznie dłuższy czas.

Pozostawał jeden problem: należało zaprojektować teleskop rentgenowski i opracować technologię jego budowy. Ostatecznie potrzeba było na to aż 20 lat, które upłynęły od pomysłu w 1959 r. do pierwszych obserwacji gwiazd wykonanych za pomocą teleskopu rentgenowskiego w roku 1979. Ponieważ długości fali promieniowania rentgenowskiego są porównywalne z odległościami między atomami, teleskop rentgenowski jest zupełnie inny niż optyczny. Z teorii dyspersji Lorentza wynika, że współczynnik załamania promieniowania rentgenowskiego jest mniejszy od jedności. Uniemożliwia to budowę rentgenowskich teleskopów soczewkowych, co zauważył już Roentgen w swych klasycznych doświadczeniach z końca XIX w. Jednakże promieniowanie rentgenowskie może ulec odbiciu od zwierciadła. Aby mogło zajść zjawisko odbicia, promienie muszą padać niemal stycznie do powierzchni odbijającej. Już w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX w. Hans Wolter rozważał możliwość uzyskania w mikroskopach obrazów rentgenowskich wytworzonych za pomocą zwierciadła. Wykazał on, że stosując układ dwóch współosiowych powierzchni – paraboloidy i hiperboloidy – można uzyskać wolny

od aberracji sferycznej i komy obraz o polu widzenia rzędu  $1^\circ$  (rys. 13). Teoretycznie zatem układ taki był możliwy do wykonania, ale trudności techniczne przy małych rozmiarach elementów mikroskopu okazały się nieprzezwyciężalne. Byłem jednak pewien, że konstrukcja znacznie większego układu, jakim był teleskop (o rozmiarach mierzonych w metrach, a nie w mikrometrach), nie będzie nastrożać aż takich trudności.

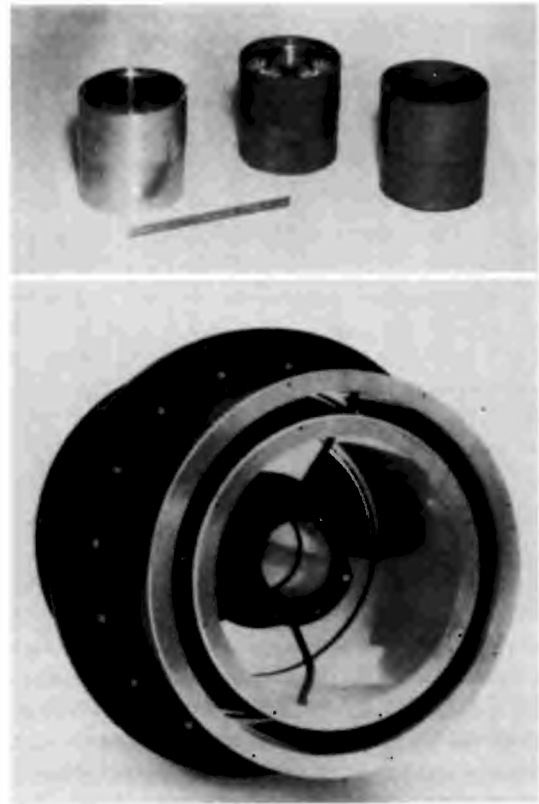


Rys. 13. Zasada działania zwierciadlanego teleskopu rentgenowskiego.

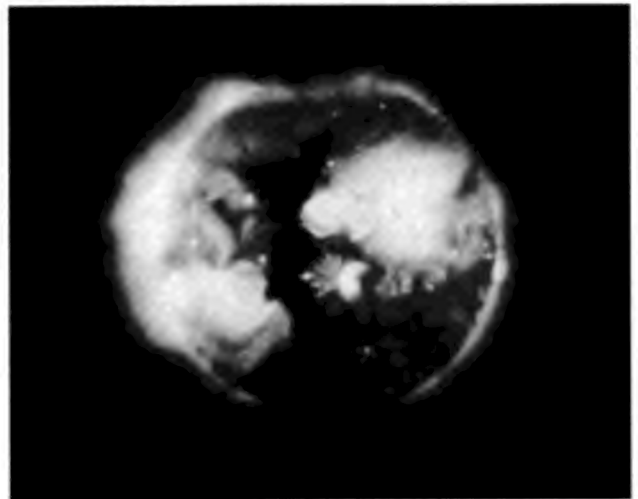
W pracy z 1960 r. przedstawiliśmy układ, którego czułość sięgała  $5 \cdot 10^{-14}$  erg/( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ), a rozdzielczość kąтова –  $2''$ . W porównaniu z innymi ówczesnymi urządzeniami odpowiadało to poprawie czułości o czynnik  $10^6$ – $10^7$ , a rozdzielczości kątowej – o czynnik  $10^3$ . Niestety, wiele czasu zajęło opracowanie technologii wykonania zwierciadła (rys. 14) [34]. Pierwsze, niedoskonałe obrazy Słońca uzyskaliśmy za pomocą teleskopu rentgenowskiego w 1965 r. Kierownictwo nad naszymi dalszymi badaniami fizyki Słońca przejął w 1967 r. Giuseppe Vaiana. W roku 1973 gotowy był wysokorozdzielczy teleskop rentgenowski, za którego pomocą przez wiele miesięcy prowadzone były obserwacje Słońca. Pole widzenia instrumentu obejmowało całą tarczę i wewnętrzne obszary korony przy rozdzielczości kątowej lepszej niż  $5''$  (rys. 15) [35].

Jednak dopiero w 1979 r. można było wysłać na orbitę teleskop rentgenowski umożliwiający rejestrację o wiele słabszych strumieni pochodzących z odległych źródeł. Nowy satelita, o nazwie *Einstein*, był w istocie całym obserwatorium astronomicznym (rys. 16) [36]. W płaszczyźnie ogniskowej teleskopu można było umieścić detektory rejestrujące obrazy z rozdzielczością kątową kilku sekund łuku, a więc porównywalną z uzyskiwaną przez detektory optyczne. Czułość dla źródeł punktowych wzrosła w porównaniu z *Uhuru*  $10^3$  razy, co pozwoliło rejestrować źródła  $10^6$  razy słabsze niż *Sco X-1*. Stały się również możliwe badania spektroskopowe z widmową zdolnością rozdzielczą  $\lambda/\Delta\lambda \approx 500$ .

Ten zasadniczy postęp w technice rentgenowskiej umożliwił rejestrację prawie wszystkich rodzajów zja-



Rys. 14. Kilka pierwszych konstrukcji zwierciadeł rentgenowskich [34].



Rys. 15. Rentgenowskie zdjęcie Słońca z pokładu Skylaba (dzięki uprzejmości L. Goluba, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics).

wisk astrofizycznych (tab. 3). Potrafiliśmy obserwować wyładowania elektryczne w obszarach zorzowych Jowisza, gwiazdy ciągu głównego wszystkich typów widmowych, nowe i supernowe. Mogliśmy śledzić rentgenowskie układy podwójne w dowolnym zakątku naszej Galaktyki, jak też w galaktykach sąsiednich (patrz fo-

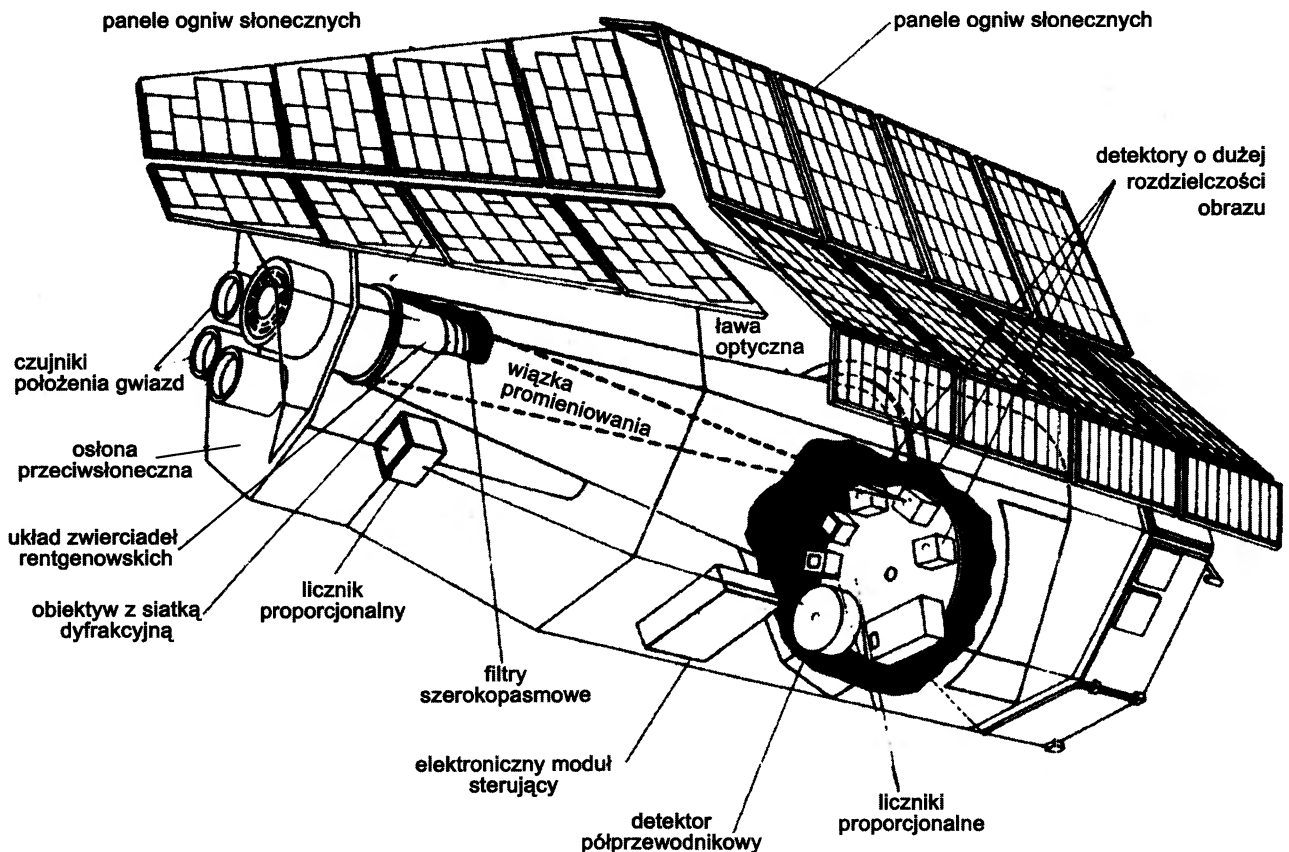
tografia na okładce tego zeszytu). *Einstein* mógł badać galaktyki normalne i galaktyki aktywne, w tym nawet galaktyki Seyferta i obiekty typu BL Lac, położone w znacznych odległościach. W zasięgu teleskopu rentgenowskiego znalazły się najodleglejsze kwazary rejestrowane dotychczas jedynie w zakresie optycznym i radiowym. Po części wyjaśniliśmy zagadkę tajemniczego, izotropowego, pozagalaktycznego promieniowania tła.

Chyba najważniejsze okazały się obserwacje za pomocą *Einsteina* promieniowania emitowanego przez gorącą plazmę w gromadach galaktyk. Uzyskanie obrazów gorącego gazu w gromadach umożliwiło badanie rozkładu potencjału grawitacyjnego wytworzonego przez całą skupioną tam materię. Badanie jedynie rozkładu galaktyk nie pozwalało na szczegółowe określenie rozkładu masy wewnątrz gromady. Obserwacje rentgenowskie ukazały całą różnorodność morfologii gromad. Niektóre z nich charakteryzują się symetrycznym rozkładem materii wokół centralnego maksimum gęstości, co wskazuje na zaawansowanie ewolucji dynamicznej układu. Inne jednak wykazują złożoną strukturę z dwoma lokalnymi maksimumami gęstości lub większą ich liczbą. Oznacza to, że proces łączenia się mniejszych struktur nie został jeszcze zakończony. O zróżnicowaniu wieku gromad nie wiadomo do tego czasu zbyt wiele. Odkrycie emisji rentgenowskiej gro-

mad stało się punktem wyjścia do badania niezwykle interesującego i otwartego problemu współczesnej kosmologii, a mianowicie powstawania i rozwoju struktur we wczesnych epokach życia Wszechświata. Piero Rosati [37] rozszerzył te badania na bardzo odległe gromady ( $z \approx 1,2$ ) przy użyciu satelity *Rosat*, wspaniałego następcy *Einsteina*, zbudowanego przez grupę Joachima Trümpera i Günthera Hasingera w Max-Planck Institut für extraterrestrische Physik.

Tabela 3. Typy obiektów obserwowanych za pomocą *Einsteina*.

- Zorza polarna na Jowiszu
- Emisja rentgenowska gwiazd wszystkich typów widmowych
- Gwiazdy nowe i supernowe
- Pulsary
- Podwójne źródła rentgenowskie i supernowe w innych galaktykach
- Galaktyki „normalne”
- Aktywne jądra galaktyk
- Kwazary
- Grupy i gromady galaktyk
- Źródła wytwarzające rentgenowskie promieniowanie tła



Rys. 16. Schematyczny wygląd obserwatorium rentgenowskiego *Einstein* [36].

## 5. Dzisiejszy stan badań – *Chandra*

W 1976 r. wspólnie z Harveyem Tananbaumem złożyliśmy w NASA nową wersję projektu teleskopu o średnicy zwierciadła 1,2 m. Tananbaum, który wcześniej prowadził badania przy użyciu *Uhuru*, a następnie był kierownikiem programu naukowego *Einsteina*, objął kierownictwo *Chandry* i z wielkim powodzeniem doprowadził przedsięwzięcie do końca już po moim odejściu z Uniwersytetu Harvarda w 1981 r. *Chandra* z nawiązką spełnił wszystkie nasze oczekiwania. Obrazy pulsara w Mgławicy Krab uzyskane za pomocą *Chandry* (rys. 17), porównywane z wcześniejszymi obrazami z *Einsteina*, ukazują poprawę czułości i rozdzielczości kątowej, jaka nastąpiła w czasie dzielącym oba eksperymenty [38].

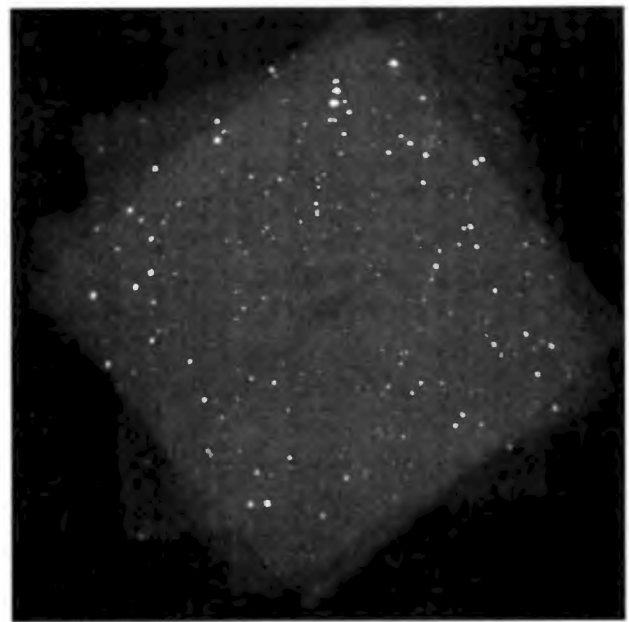


Rys. 17. Obraz rentgenowski Mgławicy Krab zarejestrowany za pomocą *Chandry* (dzięki uprzejmości NASA).

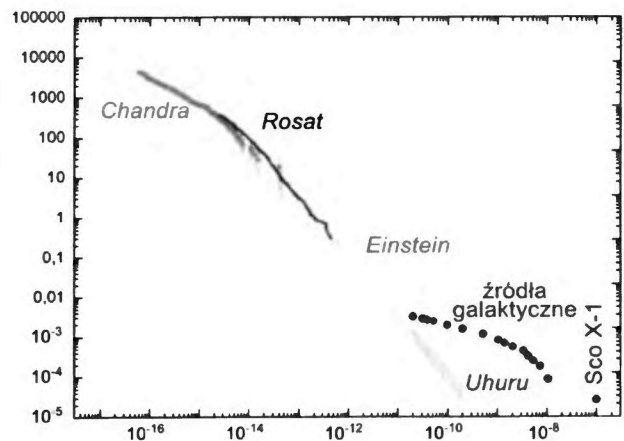
Miałem możliwość wykorzystać milion sekund czasu obserwacyjnego *Chandry* do wyjaśnienia pochodzenia rentgenowskiego promieniowania tła – kwestii nierozwiązanej od momentu jego odkrycia w 1962 r. (rys. 18) [39]. Dzięki wysokiej czułości i rozdzielczości kątowej *Chandry* udało nam się pozornie ciągnąć do nas ze wszystkich kierunków rozdzielić na miliony źródeł dyskretnych. Są to jądra aktywnych galaktyk, kwazary i galaktyki normalne. Wzrost czułości, jaki to umożliwił, pokazano na rys. 19. Rysunek 20 jest świadectwem, że obecnie znaczący i różnorodny wkład do astronomii rentgenowskiej wnoszą liczne grupy uczonych.

## 6. Przyszłość astronomii rentgenowskiej

Na zakończenie chciałbym podjąć próbę odpowiedzi na proste pytanie: dlaczego astronomia rentgenow-

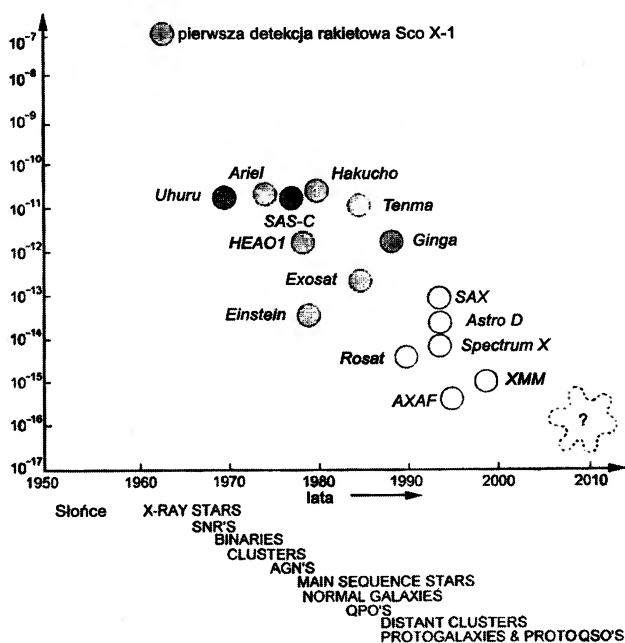


Rys. 18. Trwająca milion sekund ekspozycja fragmentu nieba wykonana za pomocą *Chandry* (CDFS – *Chandra* Deep Field South).



Rys. 19. Zmiana czułości obserwacji rentgenowskich w latach 1962–2000, czyli od Sco X-1 do *Chandry*; na osi poziomej – strumień fotonów o energii 0,5–2 keV (w ergach na  $\text{cm}^2$  i sekundę), na osi pionowej – liczba zliczeń (na stopień do kwadratu) powyżej progu czułości (dzięki uprzejmości G. Hasingera).

ska stała się tak ważna? Otóż okazało się, że promieniowanie wysokoenergetyczne ujawnia obecność procesów astrofizycznych, w których materia ulega rozgrzaniu do temperatury milionów stopni lub cząstki są przyspieszane do prędkości relatywistycznych. Fotony rentgenowskie szczególnie nadają się do badania tych zjawisk, ponieważ są liczne, przebiegają bez zakłóceń odległości kosmologiczne i można je skupić za pomocą specjalnych teleskopów. Ta ostatnia cecha szczególnie odróżnia astronomię rentgenowską od astronomii promieniowania gamma. Przede wszystkim jednak za-



Rys. 20. Czulość (najmniejszy wykrywalny strumień fotonów w ergach na  $\text{cm}^2$  i sekundę) różnych eksperymentów rentgenowskich (1970–2000). Angielskie nazwy obiektów astronomicznych oznaczają (od góry): gwiazdy rentgenowskie, mgławice po wybuchach supernowych, układy podwójne, gromady galaktyk, aktywne jądra galaktyk, gwiazdy ciągu głównego, galaktyki normalne, oscylujące układy podwójne, odległe gromady, protogalaktyki i pierwsze kwazary.

sadnicze znaczenie astronomii rentgenowskiej w badaniach Wszechświata bierze się stąd, że zjawiska wysokoenergetyczne odgrywają podstawową rolę w ogromnej ilości procesów zachodzących w całej jego historii.

Do przeszłości należy obraz Wszechświata jako spokojnego, majestatycznego zbioru obiektów, którego powolną ewolucją rządzi stopniowe zużywanie paliwa jądrowego. Wszechświat, jaki ukazuje się nam obecnie, wypełniają liczne pozostałości gigantycznych eksplozji, przenikają go także wciąż gwałtowne rozbłyski związane z wydzielaniem wielkich ilości energii. Od pierwotnego wybuchu do powstania galaktyk i gromad galaktyk, od narodzin do śmierci gwiazdy, zjawiska wysokoenergetyczne stanowią normę w ewolucji Wszechświata, a nie odstępstwo od niej.

Tłumaczył Andrzej Sołtan  
Centrum Astronomiczne PAN  
im. Mikołaja Kopernika  
Warszawa

## Literatura

- [1] R.F. Hirsh, „Science, Technology and Public Policy: the case of X-ray astronomy, 1959–1972”, praca doktorska, University of Wisconsin, Madison (1979).
- [2] R. Giacconi, G.W. Clark, B.B. Rossi, „A brief review of experimental and theoretical progress in X-ray astronomy”, Technical Note of American Science and Engineering, ASE-TN-49, Jan. 15, 1960.

- [3] X-Ray Astronomy, Astrophysics and Space Science Library No. 43, red. R. Giacconi, H. Gursky (Reidel, Dordrecht 1974).
- [4] R. Giacconi i in., *Phys. Rev. Lett.* **9**, 439 (1962).
- [5] S. Bowyer i in., *Astron. J.* **69**, 135 (1964).
- [6] S. Bowyer i in., *Science* **146**, 912 (1964).
- [7] R. Giacconi, H. Gursky, J. Waters, *Nature* **207**, 573 (1965).
- [8] M. Oda i in., *Nature* **205**, 554 (1965).
- [9] H. Gursky i in., *Astrophys. J.* **146**, 310 (1966).
- [10] A. Sandage i in., *Astrophys. J.* **146**, 316 (1966).
- [11] G.R. Burbidge, „Theoretical ideas concerning x-ray sources”, w: *Radio Astronomy and the Galactic System: Proc. IAU Symp. No. 31*, red. H. van Woerden (Academic Press, London/New York 1967), s. 463.
- [12] I.S. Shklovsky, *Astrophys. J. Lett.* **148**, L1 (1967).
- [13] H. Gursky, w: *A Survey of Instruments and Experiments for X-ray Astronomy: Proc. IAU Symp. No. 37*, red. L. Gratton (Reidel, Dordrecht 1970), s. 19.
- [14] R. Giacconi i in., *Astrophys. J. Lett.* **165**, L27 (1971).
- [15] R. Giacconi, „Binary x-ray sources”, w: *Gravitational Radiation and Gravitational Collapse: Proc. IAU Symp. No. 64*, red. C. DeWitt-Morette (Reidel, Dordrecht 1974), s. 147.
- [16] E. Schreier i in., *Astrophys. J. Lett.* **172**, L79 (1972).
- [17] H. Tananbaum i in., *Astrophys. J. Lett.* **174**, L143 (1972).
- [18] M. Oda i in., *Astrophys. J. Lett.* **166**, L1 (1971).
- [19] S. Holt, *Astrophys. J. Lett.* **166**, L65 (1971).
- [20] S. Rappaport i in., *Astrophys. J. Lett.* **168**, L43 (1971).
- [21] R. Rothschild i in., *Astrophys. J. Lett.* **189**, L13 (1974).
- [22] H. Tananbaum i in., *Astrophys. J. Lett.* **165**, L37 (1971).
- [23] S. Miyamoto i in., *Astrophys. J. Lett.* **168**, L11 (1971).
- [24] S. Rappaport i in., *Astrophys. J. Lett.* **168**, L17 (1971).
- [25] R.M. Hjellming, C.M. Wade, *Astrophys. J. Lett.* **168**, L21 (1971).
- [26] L. Braes, G. Miley, *Nature* **232**, 246 (1971).
- [27] B. Webster, P. Murdin, *Nature* **235**, 37 (1972).
- [28] C. Bolton, *Nature* **235**, 271 (1972).
- [29] H. Tananbaum i in., *Astrophys. J. Lett.* **177**, L5 (1972).
- [30] C. Rhoades, R. Ruffini, *Phys. Rev. Lett.* **32**, 324 (1974).
- [31] Y. Tanaka, „Black Hole X-ray Binaries”, w: *Proceedings of Ginga Memorial Symposium: from Ginga to ASTRO-D and further to DUET*, ISAS Symposium on Astrophysics, red. F. Makino, F. Nagase (Institute of Space and Astronautical Science, Tokyo 1992), s. 19.
- [32] H. Gursky i in., *Astrophys. J. Lett.* **173**, L99 (1972).
- [33] R. Giacconi, B. Rossi, *J. Geophys. Res.* **65**, 773 (1960).
- [34] R. Giacconi i in., *Space Sci. Rev.* **9**, 3 (1969).
- [35] G.S. Vaiana, R. Rosner, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **16**, 393 (1978).
- [36] R. Giacconi i in., *Astrophys. J.* **230**, 540 (1979).
- [37] P. Rosati i in., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **40**, 539 (2002).
- [38] H. Tananbaum, M. Weisskopf, w: *New Century of X-Ray Astronomy*, Astron. Soc. Pacific Conference Proceedings 251, red. H. Inoue, H. Kunieda (Astron. Soc. Pacific, San Francisco 2001), s. 4.
- [39] R. Giacconi i in., *Astrophys. J., Suppl. Ser.* **139**, 369 (2002).



# Dokąd zmierza fizyka zabawek?

Stanisław Bednarek

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki*

---

## Physics of toys: the perspectives

*Abstract:* Some problems related to intensive growth of interest in physical aspects of toys are discussed. Special attention is paid to application of some toys in physics education and popularisation.

---

### Wstęp

Współczesna fizyka nie tylko sięga do coraz dalszych obszarów mikro- i makroświata, zajmując się badaniem właściwości materii w stanach ekstremalnych, np. plazmy kwarkowo-gluonowej, kondensatu Bosego–Einsteina czy gwiazd neutronowych [1,2]. Współczesna fizyka wkracza również do tych dyscyplin nauki, które dotychczas wydawały się od niej bardzo odległe, jak choćby psychologia czy ekonomia [3]. Wykorzystanie niektórych metod stosowanych w fizyce doprowadziło na przykład do powstania intensywnie rozwijanej w ostatnich latach i obiecującej dziedziny zwanej ekonofizyką. Również działanie zabawek jest przedmiotem zainteresowania fizyków. W ciągu wielu wieków rozwoju naszej cywilizacji ludzie wymyślili tysiące zabawek i wciąż budują nowe, dlatego też nie sposób ich wszystkich wymienić. Wszystkie one zachowują się jednak zgodnie z prawami fizyki, które mają charakter obiektywny i uniwersalny. Zasady działania wielu popularnych zabawek są dość oczywiste z punktu widzenia fizyki. Istnieje jednak pewna grupa zabawek, w których zjawiska i prawa fizyki oraz właściwości ciał zostały wykorzystane w sposób bardzo pomysłowy i interesujący; są one umownie nazywane zabawkami fizycznymi.

Na temat zabawek fizycznych pojawiają się liczne artykuły w prestiżowych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, np. *Journal of Physics*, *Scientific American*, *The Physics Teacher* czy *Physics Education* [4]. W samym tylko *The Physics Teacher* każdego roku ukazuje się kilkanaście publikacji na ten temat [5]. Dokładne wyjaśnienie działania i podanie ilościowego opisu zachowania się niektórych z tych zabawek, jak choćby kamienia celtyckiego lub elastycznej kuli wodnej, sprawia poważne trudności i wciąż jeszcze stanowi wyzwanie dla fizyków [6]. Okazuje się również, że zabawki fizyczne mogą w wielu przypadkach z powodzeniem pełnić funkcję środków dydaktycznych i bardzo dobrze nadają się do popularyzacji fizyki [7,8].

Zwiększone zainteresowanie zabawkami fizycznymi w Polsce datuje się od kilku lat, odkąd zaczęto je prezentować szerokiej publiczności nie tylko na festi-

walach, jarmarkach i piknikach, ale także na wystawach towarzyszących ogólnopolskim spotkaniom naukowym, np. Zjazdowi Fizyków Polskich [9]. Przy tych okazjach pokazuje się zwykle od kilkunastu do kilkudziesięciu zabawek, podobnie jak na istniejących stronach internetowych poświęconych zabawkom fizycznym [10,11]. W rzeczywistości tego typu zabawek jest o wiele więcej. Niestety, są one nadal mało znane nie tylko nauczycielom i uczniom, ale również ogółowi fizyków. Ze względu na tę ograniczoną znajomość zabawek fizycznych oraz możliwości ich wykorzystania do nauczania fizyki, w Zakładzie Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego przed 4 laty rozpoczęto ich gromadzenie. Zainicjowano także badania zmierzające do określenia zakresu wykorzystania zabawek fizycznych w nauczaniu i popularyzacji fizyki oraz ich znaczenia poznawczego w fizyce. Badania te doprowadziły do sformułowania szeregu wniosków zawartych w niniejszym artykule.

### Zabawki fizyczne jako środki dydaktyczne

Przemiany gospodarcze, które od kilkunastu lat następują w Polsce, spowodowały znaczne trudności związane z finansowaniem szkolnictwa oraz ograniczenie lub zaniechanie produkcji wielu środków dydaktycznych, w tym również przeznaczonych do nauczania fizyki. Produkowane w kraju pomoce dydaktyczne są drogie i nie zawsze dobrej jakości, dlatego szkoły nieczęsto decydują się na ich zakup. Lepszej jakości, choć niestety bardzo drogie i przez to praktycznie niedostępne dla szkół, są oferowane w Polsce środki produkowane za granicą [12]. Ta sytuacja doprowadziła do pogorszenia stanu wyposażenia szkolnych pracowni fizycznych i braku odpowiednich pomocy dydaktycznych do nauczania fizyki. Fakt ten potwierdziły ogólnopolskie badania. Sytuacja ta jest również jedną z głównych przyczyn poszukiwania zastępczych środków dydaktycznych w postaci niektórych przedmiotów codziennego użytku lub zabawek fizycznych [7].

Zabawki fizyczne jako środki dydaktyczne mają istotne zalety, ale mają też pewne wady, a wykorzystanie tych zabawek sprawia czasami dodatkowe kłopoty.

Niewątpliwą zaletą zabawek fizycznych jest ich atrakcyjność. Zabawa od wieków stanowi jedną z najprzystępniejszych form aktywności człowieka, dlatego zabawki fizyczne łatwo przyciągają uwagę i zainteresowanie, a przez to zachęcają do poznawania fizyki. Towarzystwając temu pozytywne emocje sprzyjają dalszemu zainteresowaniu fizyką. Większość zabawek fizycznych jest łatwo, a nawet bardzo łatwo dostępna, stale lub okresowo. Można je kupić w sklepach z zabawkami, pamiątkami, śmiesznymi przedmiotami (gadżetami), na jarmarkach, bazarach, a często nawet w kioskach [13]. Zabawki fizyczne, np. długopis lewitujący dzięki siłom odpychania magnetycznego, sprężynka *slinky* czy schodzące po pionowej powierzchni zwierzątko wykonane z materiału lepkosprężystego, bywają dołączane do niektórych zeszytów czasopism przeznaczonych dla dzieci.

Trzeba jednak dodać, że niektóre interesujące zabawki fizyczne, np. lewitron czy zwierciadlany tunel, są bardzo rzadko dostępne w krajowych sklepach i najskuteczniejszym sposobem ich uzyskania jest sprowadzenie z zagranicy lub zakup w sklepie internetowym. Są też i takie zabawki, które łatwo można wykonać samodzielnie, np. nurek Kartezjusza, fontanna Herona czy tornado w butelce. W przypadku niektórych zabawek mylące są ich nazwy. Na przykład lampka, w której wykorzystano światłowodę, spotykana jest pod nazwą lampy z pióropuszem, latarki świętojańskiej lub magicznej latarki. Słowo „magiczny” występuje zresztą w nazwach wielu zabawek, mistyfikując ich rzeczywistą zasadę działania, np. magiczna skarbonka zawiera pochylone zwierciadło płaskie, sprawiające wrażenie, że jest pusta, a wrzucona do niej moneta w rzeczywistości nie znika, lecz wpada za zwierciadło i przez to staje się niewidoczna. Taka sytuacja w nazewnictwie zabawek spowodowana jest dążeniem producentów do nadania jak największej atrakcyjności swoim wyrobom i zainteresowania nimi kupujących.

Zdecydowana większość dostępnych na polskim rynku zabawek fizycznych pochodzi z krajów Dalekiego Wschodu, najczęściej z Chin, Tajwanu, Korei, Singapuru czy Indonezji. Zabawki te zwykle są tanie – ich cena wynosi od kilku do kilkunastu złotych. Z tego też względu dobrze się sprzedają i trafiają do szerokich kręgów odbiorców. Niestety, niska cena tych zabawek oznacza również ich małą trwałość i dlatego ulegają one szybkiemu zużyciu (np. w wyniku ścierania zbyt miękkich tworzyw sztucznych) albo zmieniają swoje właściwości (np. odbarwiają się lub pękają pod wpływem światła słonecznego, a elastyczne elementy tracą sprężystość). W przypadku wykorzystywania takich zabawek jako środków dydaktycznych ich ograniczona trwałość jest wadą i musi być brana pod uwagę, podobnie jak szybkie ich wykupywanie i okresowe braki na rynku. W celu uniknięcia wynikających stąd problemów konieczny jest zakup większej liczby egzemplarzy danej zabawki. Trzeba też dodać, że oprócz zabawek tanich, np. różnego rodzaju bąków w cenie kilku zło-

tych, pojawiają się również zabawki bardzo interesujące, ale drogie, np. kule plazmowe, których cena przekracza 100 zł.

Wiele zabawek fizycznych w prosty, atrakcyjny i interesujący sposób wykorzystuje określone prawo lub zjawisko fizyczne albo własność ciał, np. w kalejdoskopie jest to odbicie światła, a w przypadku bąka – precesja. Takie zabawki najlepiej nadają się jako środki dydaktyczne w nauczaniu fizyki, a sposób ich wykorzystania nie budzi wątpliwości. Jest też liczna grupa zabawek fizycznych, w których działaniu występuje kilka zjawisk fizycznych jednocześnie, np. pijący ptaszek działa dzięki parowaniu cieczy, skraplaniu oraz utracie równowagi mechanicznej i jej odzyskiwaniu. Jeżeli jedno z tych zjawisk gra decydującą rolę w działaniu danej zabawki lub zjawiska te należą do zbliżonych tematycznie działów fizyki, to wykorzystanie takiej zabawki jako środka dydaktycznego również nie sprawia większych trudności, np. wspomniany pijący ptaszek wykorzystywany jest najczęściej jako model silnika termodynamicznego [14].

Coraz częściej spotyka się jednak zabawki fizyczne, w których wprowadzone zostały dodatkowe elementy, głównie elektroniczne, np. bąki z błyskającymi diodami emitującymi światło czy elektronicznymi pozytywkami. Producenci zabawek czynią to, poszukując sposobów uatrakcyjnienia wyrobu i zwiększenia popytu. Zabawki takie mogą jednak sprawiać trudności podczas ich wykorzystania w roli środków dydaktycznych. Jest to spowodowane rozproszeniem uwagi oglądających i koniecznością wykorzystania rozległej wiedzy z kilku działów fizyki do pełnego zrozumienia zasady ich działania. Tego rodzaju zabawki nie nadają się raczej do wprowadzania nowych pojęć fizycznych i zapoznawania z nowymi zjawiskami, natomiast mogą być z powodzeniem używane podczas zajęć, których celem jest integracja oraz utrwalanie zdobytej wiedzy i umiejętności.

Zabawki fizyczne są środkami dydaktycznymi bardzo łatwymi w użyciu. W odróżnieniu od większości konwencjonalnych pomocy naukowych nie wymagają montowania i sprawdzania układów, ponieważ występują w postaci gotowej do wykorzystania. Ma to istotne znaczenie dla obciążonego licznymi obowiązkami nauczyciela. Większość zabawek fizycznych, pomijając np. wspomnianą kulę plazmową, może być bez obaw o spowodowanie niebezpieczeństwa samodzielnie używana przez uczniów. Niektóre zabawki, np. wahadło (kołyska) Newtona, nadają się zarówno do wykonywania efektownych pokazów, jak i do przeprowadzania prostych ćwiczeń laboratoryjnych. Zabawki fizyczne jako środki dydaktyczne mogą z powodzeniem znaleźć zastosowanie nie tylko w początkowych etapach nauczania fizyki w gimnazjum i liceum. Znane są bowiem takie zabawki, np. wahadła chaotyczne wykorzystujące zjawisko chaosu deterministycznego, których działanie może być w pełni zrozumiane dopiero podczas zajęć z mechaniki teoretycznej prowadzonych na wyższych

uczelnianach. Wtedy to bowiem można wprowadzić takie pojęcia, jak dziwny atraktor, wymiar fraktalny, bifurkacja czy intermitencja, niezbędne do ilościowego opisu ruchu wspomnianych wahadeł.

### Zabawki fizyczne w popularyzacji fizyki

Od kilku lat organizuje się w Polsce różnego rodzaju imprezy popularnonaukowe pod nazwą festiwal, jarmarków czy pikników. Imprezy zakrojone na szeroką skalę odbywają się w dużych miastach, jak Warszawa, Kraków, Łódź, Poznań czy Wrocław. Mniejsze imprezy tego typu organizowane są w licznych szkołach, domach kultury czy muzeach. Stałym elementem programu wspomnianych spotkań bywają pokazy z fizyki, realizowane przy użyciu zabawek fizycznych. Pokazy takie odbyły się już kilkakrotnie jako imprezy towarzyszące Zjazdowi Fizyków Polskich. Pomysłodawcą tego sposobu popularyzacji jest prof. Vittorio Zanetti z Uniwersytetu w Trydencie. Dzięki prof. Grzegorzowi Karwaszowi z Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku pomysł ten został przeniesiony do Polski [9].

Organizatorzy pokazów popularnonaukowych mają pełną swobodę doboru tematów, mogą więc prezentować zabawki fizyczne o najbardziej widowiskowym działaniu. Celem tych spotkań jest przyciągnięcie dużej liczby widzów i przedstawienie im atrakcyjnych, kształcących, a często również zadziwiających i na pozór paradoksalnych efektów po to, żeby wzbudzić zainteresowanie fizyką, pokazać szerokiej publiczności jej piękno i pozostawić trwałe wspomnienia. Jest bardzo możliwe, że cel ten rzeczywiście osiągną. Pokazy takie cieszą się frekwencją liczoną w tysiącach osób. Biorą w nich udział nie tylko uczniowie i nauczyciele, ale także znani naukowcy. Kilkuletnie obserwacje pokazują jednak, że na dobór i przygotowanie osób prowadzących pokazy należałoby zwrócić większą uwagę. W zdecydowanej większości są to studenci fizyki, a nawet uczniowie, którzy starając się o atrakcyjność prezentacji i uproszczenie opisu popełniają czasem błędy merytoryczne.

Oprócz opisanych pokazów, które z założenia są imprezami krótkotrwałymi i odbywają się w ciągu kilku dni, podejmowane są również próby wykorzystania zabawek fizycznych w stałych ekspozycjach popularyzujących fizykę. Na wystawach tych, zwanych z angielska eksploratoriami, zwiedzający mogą samodzielnie przeprowadzać niektóre doświadczenia, używając do tego celu odpowiednio dobranych zabawek fizycznych. Żeby ułatwić ich użytkowanie i zwiększyć wartość kształcącą, zabawki te opatruje się opisami i instrukcjami. Tego typu eksploratorium udostępniające ponad 60 zabawek fizycznych zostało zorganizowane w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego [15].

Warto też dodać, że istnieje, jak dotąd jedyna w Polsce, wypożyczalnia zabawek fizycznych, prowadzona przy PAP w Słupsku, udostępniająca bezpłatnie zabawki szkołom z północno-zachodniej części kraju [10]. Niektórzy autorzy – prof. Jan Gaj,

a do niedawna również prof. Krzysztof Ernst – wykorzystują zabawki fizyczne do popularyzacji w artykułach publikowanych w *Wiedzy i Życiu*, w których szczegółowo omawiają ich budowę i działanie, zapoznając w ten sposób czytelników z prawami fizyki [16,17]. Ukazała się również książka popularnonaukowa Krzysztofa Ernsta dotycząca fizyki zabaw, gier i zabawek. Kilkanaście jej rozdziałów poświęconych jest nie tylko opisowi budowy i wyjaśnieniu działania, ale także historii niektórych rodzajów zabawek fizycznych, np. kalejdoskopów, bumerangów czy łódek napędzanych świeczką [18].

### Podsumowanie

Na świecie fizyka zabawek stanowi uznany dział fizyki, czego dowodem jest jej uwzględnienie (symbol 01.50.Wg) w powszechnie stosowanej klasyfikacji tematycznej publikacji z zakresu fizyki i astronomii – PACS (Physics and Astronomy Classification Scheme). W Polsce od kilku lat obserwuje się przyspieszony rozwój tej dziedziny, na co wskazują coraz liczniejsze publikacje dotyczące zabawek fizycznych, przede wszystkim w czasopismach popularnonaukowych oraz poświęconych nauczaniu fizyki, takich jak *Wiedza i Życie*, *Fizyka w Szkole* czy *Foton*. Znany popularyzator fizyki, Wiktor Niedzicki, przygotował dwa filmy na kasetach wideo pokazujące działanie kilkudziesięciu zabawek fizycznych [19]. Prof. Grzegorz Karwasz planuje wydanie za kilka miesięcy płyty CD, dotyczącej około stu zabawek [20]. Pojawiają się także prace licencjackie i magisterskie na temat zabawek fizycznych [21,22]. Wyjaśnienie działania intrygujących zabawek staje się tematem artykułów w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, liczących się w dorobku naukowym. Szkoda jednak, że w Polsce niektóre osoby decydujące o kierunkach działalności placówek naukowych wciąż jeszcze nie traktują poważnie tej dziedziny badań.

Wobec pojawiania się wielu nowych zabawek fizycznych i ich odmian pożyteczne byłoby utworzenie łatwo dostępnej (np. w Internecie) bazy danych o jak największej liczbie tych zabawek [23,24]. Ułatwiłoby to szybką ocenę ich przydatności w nauczaniu i popularyzacji fizyki, a wszystkim zainteresowanym fizyką – zapoznanie się z nimi bez dodatkowych kosztów. Dla nauczycieli fizyki bardzo użyteczne byłoby natomiast wydanie poradnika, zapoznającego szczegółowo ze sposobami wykorzystania najłatwiej dostępnych w Polsce zabawek fizycznych do przeprowadzania określonych doświadczeń pokazowych i ćwiczeń laboratoryjnych. Tego rodzaju poradnik opracowany w ostatnich latach w Stanach Zjednoczonych i wydany przez Amerykańskie Stowarzyszenie Nauczycieli Fizyki okazał się bestsellerem [5]. Wykorzystywanie zabawek fizycznych w procesie dydaktycznym przez liczną grupę nauczycieli pozwoliłoby również na ocenę ich rzeczywistej skuteczności, popartą rzetelnymi badaniami. Zaplanowa-

nie i przeprowadzenie takich badań jest aktualnym zadaniem stojącym przed pracownikami naukowymi zajmującymi się dydaktyką fizyki. Być może dzięki temu niektóre zabawki stałyby się uznanymi i zalecanymi środkami dydaktycznymi w nauczaniu fizyki.

Dążenie producentów zabawek do zwiększenia zysków powoduje, że na rynku ukazują się coraz to nowe zabawki, które szybko trafiają również do Polski. W celu zwiększenia ich atrakcyjności wykorzystywane są w tych zabawkach zjawiska fizyczne i właściwości materiałów dotychczas mało znane osobom spoza kręgu specjalistów – przykładem może tu być wahadło chaotyczne, folia magnetoptyczna czy skacząca plastelina. Ta ostatnia stanowi świetny przykład ciała lepkosprężystego, będącego przedmiotem badań reologii – dyscypliny naukowej zajmującej się właściwościami nowoczesnych materiałów. Jest to niewątpliwie pozytywny kierunek, pozwalający na zapoznawanie szerokich grup społecznych z najnowszymi osiągnięciami współczesnej fizyki w atrakcyjny i interesujący sposób.

Czynnikiem sprzyjającym pojawianiu się nowych i wartościowych pod względem edukacyjnym zabawek fizycznych byłyby także konkursy na zabawkę fizyczną. Ogłoszenia takiego konkursu mógłby podjąć się np. któryś z instytutów fizyki lub oddziałów Polskiego Towarzystwa Fizycznego, wykorzystując przy tym wzory organizacyjne zdobyte podczas kolejnych edycji konkursów na doświadczenia pokazowe z fizyki, odbywających się w Krakowie. Jury takiego konkursu, składające się z fizyków i dydaktyków fizyki, zapewniłoby wyróżnienie i promocję zabawek nie tylko efektownych, ale zawierających również, a może przede wszystkim, nowe treści fizyczne lub sposób ich prezentacji.

## Literatura

- [1] C. Townsend, W. Ketterle, S. Stringari, *Postępy Fizyki* **48**, 333 (1997).
- [2] S. Mrówczyński, *Postępy Fizyki* **50**, 225 (1999).
- [3] K. Sznajd-Weron, *Materiały XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich, Gdańsk 15–18 września 2003 r.*, s. 179.
- [4] R.F. Gans, T.B. Jones, M. Washizu, *J. Phys. D* **31**, 671 (1998).
- [5] J. McCullough, R. McCullough, *The Role of Toys in Teaching Physics* (American Association of Physics Teachers, College Park, Madison 2000).
- [6] J. Walker, *Scientific American*, nr 10/1978, s. 148.
- [7] B. Bończak, S. Bednarek, *Fizyka w Szkole*, nr 1/2002, s. 13.
- [8] W. Niedzicki, *Postępy Fizyki* **53**, 245 (2002).
- [9] G. Karwasz, *Postępy Fizyki* **51**, zesz. dod. (2000), s. 97.
- [10] <http://zabawki.pap.edu.pl>.
- [11] [www.wsip.com.pl](http://www.wsip.com.pl).
- [12] B. Bończak, S. Bednarek, *Fizyka w Szkole*, nr 4/1994, s. 214.
- [13] S. Bednarek, *Foton*, nr 79 (zima 2002), s. 36.
- [14] K. Ernst, *Wiedza i Życie*, nr 9/1998, s. 52.
- [15] S. Bednarek, *Fizyka w Szkole*, nr 3/2002, s. 183.
- [16] J. Gaj, *Wiedza i Życie*, nr 1/2001, s. 58.
- [17] K. Ernst, *Wiedza i Życie*, nr 8/1994, s. 22.
- [18] K. Ernst, *Einstein na huśtawce, czyli fizyka zabaw, gier i zabawek* (Prószyński i S-ka, Warszawa 2002).
- [19] W. Niedzicki, *Fizyka zabawek*, cz. 1 i 2, kasety wideo VHS (Ambernet, Warszawa 1999).
- [20] G. Karwasz, informacja prywatna.
- [21] J. Turło, informacja prywatna.
- [22] E. Wojtania, praca magisterska, Wydział Fizyki UW, Warszawa 1986.
- [23] K. Zabawa, praca magisterska, Wydział Fizyki i Chemii UŁ, Łódź 2003.
- [24] P. Zuterek-Makowska, praca magisterska, Wydział Fizyki i Chemii UŁ, Łódź 2003.



Dr hab. STANISŁAW BEDNAREK jest profesorem nadzwyczajnym Uniwersytetu Łódzkiego. Główne kierunki jego prac badawczych to metody wytwarzania silnych i ultrasilnych pól magnetycznych oraz właściwości materiałów z rozproszoną fazą ferromagnetyczną – elastycznych kompozytów i przewodzących zawieszin magnetoreologicznych. Zajmuje się również problemami dydaktyki fizyki, szczególnie środkami dydaktycznymi i edukacyjnym eksperymentem fizycznym, oraz popularyzacją fizyki.

# Znaczenie matematyki czystej dla społeczeństwa

Odczyt, wygłoszony w Poznaniu na zamknięciu I Kongresu Matematyków Krajów Słowiańskich dnia 27 września 1929 r.

Dostojni Słuchacze! Szanowni Państwo!

Przypadł mi w udziale zaszczyt przemawiania na temat „Znaczenie matematyki czystej dla społeczeństwa”. Jakkolwiek matematyk-fachowiec jasno sobie zdaje sprawę z ważności nauki wogóle, a matematyki w szczególności, przecież wybór tematu mego przemówienia może się wydać dziwnym dla niefachowca. Pomyśli on bowiem: jakież to znaczenie może mieć czysta matematyka, która jest chyba jedną z najmniej ważnych dziedzin myśli ludzkiej, dziedziną ciasnych specjalistów, nie mających żadnej styczności z życiem, dziedziną, która jest w najlepszym razie – poezją abstrakcyj!

Nic w tem dziwnego, że tak myśli większość nawet zresztą bardzo inteligentnych ludzi. Niefachowiec nigdy matematyki nie widział, a zetknął się jedynie z jej abecadłem w gimnazjum, gdzie mu je podawano w postaci nie zawsze strawnej i nie zawsze dostatecznie jasnej. Niejeden człowiek, który – wedle swego własnego zdania – nie miał nawet zdolności do matematyki szkolnej, jest mimo to dzisiaj tegim fachowcem w innej dziedzinie, fachowcem, pracującym owocnie. Stąd też, jakkolwiek wie on, że matematyka jest pomocna w technice, nie widzi ani istotnej ważności, ani też roli, jaką odegrała nasza nauka w historii kultury.

Zresztą, nawet bardzo uczone dzieła, traktujące o historii kultury, nie uwidoczniają należycie znaczenia matematyki. Mówi się tam dużo i szeroko o filozofach, literatach, artystach i politykach, o znaczeniu i wpływie ich zainteresowań na losy ludzkości, a jeżeli idzie o matematykę, wspomina się jedynie krótko, że ten lub ów był między innymi też sławnym matematykiem. Nieliczne i mało znane są książki, z których się może i niefachowiec cośniewoś dowiedzieć o istotnym znaczeniu naszej nauki.

Że tak mało uwagi się zwraca na znaczenie matematyki, przyczyna jest prosta. Matematyka ma budowę skomplikowaną. Gmach jej leży na wysokiej skale niełatwo dostępnej, odgradzonej murem trudności, które musi adept długo przewyciężać, zanim dostanie się do kwitnących ogrodów. Kto jednak raz ujrzał tę czarowną krainę, ten nie zapragnie już odwrotu. Urok świata myśli czystej, który zdaleka wydaje się lodownią nie wtajemniczonym, jest nieprzewyciężony. Stąd też matematyk woli pracować w swej dziedzinie własnej, aniżeli pisać popularne książki o znaczeniu jej dla ludzkości, tem bardziej, że, aby rzecz należycie wyłożyć, musiałby wejść w szczegóły czysto matema-

tyczne, a więc niedostępne dla przeciętnego czytelnika. Stąd też matematycy niewiele mówili o sobie.

Czasy jednak się zmieniły. Amerykanizujemy się i nadeszła chwila, w której nauka musi się zacząć reklamować, jeśli nie chce zginąć. Przejdźmy zatem do właściwego tematu i omówmy pokrótce, na przykładach, co matematyka dała ludzkości.

Czem jest fizyka dla ludzkości, każdy dobrze wie: wystarczy spojrzeć dokoła, by ujrzyć owoce tej nauki, która jest dźwignią techniki. Tak jak fizyka służy technice, tak matematyka służy fizyce, będąc dla niej narzędziem, a równocześnie językiem subtelnym i ścisłym, w którym ogólne prawa przyrody dają się wypowiedzieć należycie. Rachunek różniczkowy i całkowy, równania różniczkowe i funkcyjne – oto niektóre główne części mowy tego języka. Widać stąd, jak to matematyka pośrednio wpływa na rozwój techniki, która znów z kolei powoduje poważne zmiany w ustroju społeczeństw, umacniając ludzkość w jej walce z przyrodą. Matematyka jest więc co najmniej pożyteczna.

Wolę jednak mówić o tych badaniach matematycznych, które nie zostały podjęte dla celów bezpośrednio i natychmiastowej użyteczności. Dla większej wyrazistości będę się nawet starał możliwie unikać przykładów, gdzie badacze podjęli rozważania teoretyczne dla celów natychmiastowego eksperymentu, dla umożliwienia i kontynuowania badań doświadczalnych z zakresu fizyki i techniki, a zajmę się tylko wypadkami, gdy matematyk badał i tworzył w swej dziedzinie tylko dla siebie, bez oglądania się na możliwość zastosowań, gdzie badał tylko z chęci poznania prawdy, tylko w celu usłyszenia nowych akordów tej harmonji, która rządzi w świecie czystej myśli teoretycznej. Będę mówił o badaniach, które każdy nie-matematyk nazwie bezużyteczną zabawką, grą i fantazją, pozbawioną nawet cienia rzeczywistości.

Pomińmy odkrycie głównych własności elipsy, hiperboli i paraboli, które były jeszcze w starożytności przedmiotem badań czysto teoretycznych, gdyż znaczenie tych krzywych linii dla fizyki i techniki jest dziś zanadto dobrze znane. Pomówmy o radjo. Polega ono, jak powszechnie wiadomo, na wysyłaniu i chwytaniu fal elektromagnetycznych. Pospolicie uważa się też Marconiego za głównego wynalazcę, tymczasem historia nauki stwierdza, że, jakkolwiek Marconi skonstruował pierwszy aparat radiotelegraficzny, nie on był tym, który najważniejszej rzeczy tu dokonał. Najważniejszą rzeczą było odkrycie *możliwości istnienia* fal

elektromagnetycznych. Dokonał tego angielski fizyk teoretyczny Maxwell. Sama myśl, że takie fale istnieją, była niedostępna, gdyż człowiek nie posiada żadnego zmysłu, reagującego na nie (na tak zwane długie fale), a wówczas nie znano też żadnych sztucznych receptorów. Jakże więc to się stało, że nauka wpadła na pomysł poszukiwania omawianych fal?

Trudno mi dokładnie rzecz przedstawić w kilku słowach, gdyż zawile i poplątane są okoliczności, warunkujące narodziny każdej nowej idei. Jednak, jeśli wolno użyć schematu, sprawa przedstawia się, jak następuje.

W owych czasach, t. j. w połowie ubiegłego stulecia, znane już były ogólne prawa matematyczne, rządzące zjawiskami dynamiki elektromagnetycznej. Technika więc miała wszystko, czego jej było potrzeba. Mimo to Maxwell podjął czysto teoretyczne badania owych praw, dążąc do jednolitego ich ujęcia, poszukując w nich harmonji. Drogą czystej spekulacji i nie mając na widoku żadnych bezpośrednich zastosowań praktycznych, wykrył Maxwell swe słynne równania różniczkowe elektromagnetyki, będące piękną syntezą wówczas znanych praw. I oto pokazała się dziwna rzecz. Z równań Maxwella wynikły drogą matematycznej dedukcji nowe równania różniczkowe, ładujące podobne do znanego oddawna równania, rządzącego rozchodzeniem się głosu, do t. zw. równania fal. W ten sposób pióro Maxwella wykryło – że się tak wyrażę – na papierze niewidoczne dla nas i zazdrośnie przez przyrodę ukrywane fale elektromagnetyczne. Eksperymenty Hertza potwierdziły odkrycie Maxwella; w świecie rzeczywistym odnalazło się naprawdę to, co Maxwell przewidział teoretycznie. Odkrywcą fal umarł w 1879, ale jego dzieło żyje w postaci radjotelegrafji i radjotelefonji, wyolbrzymione i wysubtelnione, służąc nam wiernie, a nawet umilając życie. Oto jeden z licznych triumfów matematyki czystej.

Przejdźmy jednak do czasów dzisiejszych. Fizyk niemiecki Planck odkrył t. zw. kwanty energii drogą czystej spekulacji, badając matematycznie teorię promieniowania. I oto owe kwanty, znalezione „na papierze”, odkryto też w rzeczywistości. Szczupłe ramy mego odczytu nie pozwalają mi na szczegółowe objaśnienie, czym są owe kwanty. Wspomnę tylko, że na tle współczesnej teorii kwantów odkryła fizyka takie cuda, o jakich się naszym przodkom nawet nie śniło. Wnika ona w najwewnętrzniejszą i najskrytszą strukturę materji i energii, otwierając nie oczekiwane i dalekie horyzonty.

Odbiegijmy jednak na chwilę od owej teorii kwantów. Zapewne zdziwi się nie-matematyk, gdy powiem, że liczni uczeni zajmowali się badaniem własności przestrzeni czterowymiarowej, ba, nawet prze-

strzeni o nieskończenie wielu wymiarach. Badali z gorliwością i wysiłkiem – powie ktoś – godnym lepszej sprawy.

Do czegoż przyda się człowiekowi, który przecież żyje w trójwymiarowej przestrzeni, taka fikcja, abstrakcja niewyobrażalna i niepożyteczna?

Ale oto pokazało się, że owa piękna teoria kwantów, o której mówiłem, teoria, przypuszczająca szturm do – być może – najtwardszych murów, za którymi przyroda skryła swe tajniki, znalazła w owej, niby to niepożytecznej, geometrii przestrzeni o nieskończenie wielu wymiarach swe najodpowiedniejsze i najzgrabniejsze narzędzie. Oto nowy triumf matematyki czystej<sup>1</sup>.

Jakkolwiek można podobne przykłady przytaczać bez liku, ograniczę się do powyżej podanych, nie chcąc zbyt trudzić uwagi Szanownych Państwa. Zdaje się, że pokazałem, jaką wartość ma dla ludzkości bezinteresowna myśl matematyka. Śmiało można wierzyć, że każda bezinteresowna, nawet najbardziej abstrakcyjna teoria wyda kiedyś owoce, a miarą ich słodyczy będzie głębia harmonji i rozpiętość horyzontu tej dziedziny. Stąd też należy się spodziewać, że i Teoria Mnogości, tak pilnie uprawiana w Polsce, teoria, która powoli przenika do całej matematyki, doczeka się zastosowań kapitalnych<sup>2</sup>. Naodwrot, niejednokrotnie zauważono, że badania matematyczne, przeprowadzone li tylko w celach natychmiastowego zastosowania praktycznego, dawały zaledwie nikłe plony. Teorie czystej matematyki nie zawsze znajdują od razu zastosowanie praktyczne. Teorie te są – jak się trafnie wyraził nasz miły gość rumuński, prof. Sergescu (w swej książce p. t. „Candirea Matematica”, Myśl Matematyczna) – teorie te są jako korzenie, które stają się krzewem i które dopiero wtedy, gdy drzewem się staną, wydadzą owoce.

Pokazałem na przykładach, jak to myśl genjuszów matematyki ciężko waży. Chociaż cicho i jakby na nóżkach gołębich osiada na niwie kultury, silniejsza jest niejednokrotnie od tych, którzy biją w wielki bęben na jarmarku świata. Zaprawdę, silniejszy jest Newton od Cezara! Silniejszy od Napoleona!

Proszę jednak nie sądzić, że matematyka czysta rości sobie pretensję do tego, że jest jedyną sprężyną rozwoju kultury. Byłoby to przesadą. Istotnie, dużo czynników składa się na rozwój ludzkości i wszystkie poszczególne dziedziny nauki i sztuki składają się na jedną całość. Poszczególne działy nauk matematycznych i przyrodniczych wspomagają się wzajemnie, zachodzą na siebie, przerzucają sobie z rąk do rąk złotą piłkę. Tak np. fizyka zasila często matematykę, nawsuwając jej zagadnienia, które matematyk bada, rozwija i uogólnia niezależnie, a uzyskane przezeń wyniki

<sup>1</sup> Por. J. v. Neumann: *Mathematische Begründung der Quantenmechanik*. Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, Mathem.-Phys. Klasse 1926.

<sup>2</sup> Znamiennem jest, że pierwszy rozdział najnowszego podręcznika Hydromechaniki prof. Lichtensteina poświęcony jest Topologii (Przyp. Red.).

dają znów fizykowi nowe narzędzie, nowy język, nowy asumpt do nowych odkryć.

Mówiliśmy o tem, co matematyka daje ludzkości, a teraz zastanówmy się nad tem, jakby świat dziś wyglądał, gdyby matematyka nie była wcale znana. Fizyka, nie mając niezbędnego do swych celów narzędzia, zaledwie żółtym krokiem posuwałaby się naprzód; technika stałaby nisko. Mielibyśmy dziś może taką mniej więcej kulturę, jaką mieli niegdyś – powiedzmy – Asyryjczycy. W każdym razie nie mielibyśmy maszyn precyzyjnych, które stanowią może jedyną istotną cechę, odróżniającą naszą kulturę od kultury starożytnej.

Czy wiedza i technika uczyniły człowieka szczęśliwym? Różnieby można o tem mówić... W każdym jednak razie jesteśmy grubo mądrzejsi od starożytnych i od średniowiecza, bardziej trzeźwi, wolni od przesądów i metafizycznego strachu przed nieznanem, jesteśmy bliżsi bogom.

Omówiłem pokrótce znaczenie matematyki dla ludzkości, a więc pośrednio i dla społeczeństwa. Społeczeństwo jest, właściwie mówiąc, pewną relacją, zależnością wzajemną pomiędzy instytucjami, jednostkami, zwyczajami i dążeniami i to zależnością zmienną w czasie. Matematyka czysta, zmieniając ustawicznie obraz kultury, zmienia tem samem i poszczególne społeczeństwa, gdyż warunkuje powstawanie nowych instytucyj, nowych potrzeb, a nawet obyczajów. Tak np. mamy dziś to, czego przed stu laty nie było; szybką komunikację i telegraf, które z kolei spowodowały ogromne zmiany ekonomiczne i obyczajowe. Wszystko to jest przeopojone matematyką, której dusza spogląda z każdej nowej zdobyczy technicznej, z każdej nowej instytucji. Prawie wszystko, co mamy, jest między innymi zdobyczą teoretycznej myśli. Społeczeństwo, które czci i pilnie popiera tę naukę, dostaje z pierwszej ręki nowe odkrycia i wynalazki, bogaci się i zyskuje na znaczeniu.

Chociaż nauka, a więc i matematyka, jest tak pożądana i tak wiele daje ludzkości, społeczeństwo nie zawsze rozumie potrzeby nauki i nie zawsze ją ota-

cza opieką, na jaką ona zasługuje. Tymczasem nauka i sztuka winny być głównym dążeniem poszczególnych społeczeństw, gdyż właśnie nauka i sztuka stanowią miernik ich obiektywnej wartości. Tak dom, jak i szkoła powinny wychowywać młodzież w kulcie i czci dla nauki i sztuki, a nie tak, jak to się dziś, niestety, zbyt często zdarza, w utwierdzaniu młodzieży w poziomych dążeniach do zdobywania dóbr materialnych i do wygody życia. Doprawdy! Coraz to mniej widać lotu u młodzieży, coraz to mniej bezinteresownej żądzy wiedzy. Brak idei daje się dotkliwie odczuwać tak w szkole średniej, jak i wyższej.

Może byłoby dobrze, gdyby więcej uwagi zwracano w szkole na rozwijanie logicznych zdolności młodzieży, stopniowo wprowadzając ją w świat myśli teoretycznej. Wyrobi to trzeźwy i ostrożny sąd o wszystkim, a równocześnie wpoi w młodzież szacunek dla nauki i przekonanie o jej sile i ważności. Nadmienię, że abstrakcyjna teoria mnogości, logika matematyczna i krytyka podstaw matematyki dała nam do rąk środki do racjonalnego nauczania matematyki, nauczania, które sprawia, że większość uczniów może czynić wystarczające postępy i rozwinąć swe zdolności do logicznego myślenia.

Wychowujmy młodzież w czci dla nauki! Dziś, gdy nam świta nowa zorza, możliwość zgodnej współpracy wszystkich cywilizowanych narodów w ramach przyszłej Paneuropy, może ludzkość zrozumie i przejmie wielką ideę, którą przeczuł Poincaré<sup>3</sup>, a którą wypowiedział wyraźnie, podkreślił i pięknie rozwinął A. B. Dobrowolski<sup>4</sup>, nasz znakomity badacz lodu i podróżnik polarny, że jedyną racją istnienia ludzkości i jedynym jej celem jest poszukiwanie prawdy i piękna. Istotnie, historia kultury uczy, że ludzkość poprzez wszystkie swe trudy, radości i smutki tylko do tego celu zdąża i że każdy, nawet najskromniejszy wyrobnik kładł zawsze – chociaż może nieświadomie – i kładzie dziś swą cegielkę do budowy wspaniałej świątyni przyszłości, świątyni wszechwiedzy i wszechpiękna.

Dr. Otton Nikodym (Kraków)



OTTON NIKODYM urodził się w 1889 r. w Zabłotowie k. Kołomyi. Studiował na Uniwersytecie Lwowskim matematykę u Sierpińskiego i Puzyny oraz fizykę u Smoluchowskiego. Po ukończeniu studiów pracował jako nauczyciel gimnazjalny w Krakowie i wykładał dydaktykę w Studium Pedagogicznym UJ. W 1924 r. doktoryzował się na Uniwersytecie Warszawskim i tam się habilitował w 1927 r. po rocznych studiach na Sorbonie. Od 1930 r. mieszkał w Warszawie i prowadził wykłady zleczone na UW. Po wojnie wyjechał do Belgii, potem do Francji, w końcu do USA, gdzie był profesorem w Kenyon Colleges (Ohio), a później pracował naukowo na zlecenie Atomic Commission oraz National Science Foundation. Zmarł w 1974 r.

Jego prace dotyczyły wielu działów matematyki. Trwale zapisał się w światowej literaturze matematycznej twierdzeniem o możliwości przedstawienia przeliczalnie addytywnej funkcji zbioru w postaci całki, zwanym później twierdzeniem Radona–Nikodyma. Pracował nad uściśleniem podstaw fizyki matematycznej, co częściowo zrealizował w książce *The Mathematical Apparatus for Quantum Theories* (Springer Verlag, 1966).

Tekst odczytu udostępnił nam i zachęcił nas do jego przedrukowania prof. Łukasz A. Turski.

<sup>3</sup> H. Poincaré: La valeur de la science.

<sup>4</sup> A. B. Dobrowolski: Rudolf Maria Holzapfel i podstawy naukowe wychowania uczuć (odbitka z miesięcznika „Droga” Nr. 1-3, Warszawa 1927. P. 17-20).

## ■ Leszek Sirko

Urodził się w 1956 r. we Włodawie. Studia odbył na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, uzyskując w 1980 r. magisterium na podstawie pracy „Analiza procesów bielenia hologramów płaskich”. Od 1980 r. pracuje w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie, gdzie w 1986 r. obronił pracę doktorską „Zderzeniowe mieszanie subtelne w stanach rydbergowskich atomów ciężkich metali alkalicznych” (promotor prof. Kazimierz Rosiński), a w 1995 r. habilitował się na podstawie pracy „Oddziaływanie wysoko wzbudzonych atomów H i He z silnymi polami mikrofalowymi”. Tytuł naukowy otrzymał 6 czerwca 2003 r.



W latach 1979–92 prowadził badania dotyczące holografii oraz zjawisk zderzeniowych w wysoko wzbudzonych atomach. Następnie skoncentrował się na problemach oddziaływania wysoko wzbudzonych atomów z silnymi polami mikrofalowymi, zjawiskach chaotycznej jonizacji oraz chaosu w układach niskowymiarowych, takich jak bilardy i grafy.

Odbył staże naukowe w Max-Planck-Institut für Quantenoptik w Garching (Niemcy, 1988–89) oraz na State University of New York w Stony Brook (USA, 1991–93), pracując pod kierunkiem profesorów H. Walthera oraz P.M. Kocha. Był profesorem-gościeniem na Uniwersytecie w Marburgu (Niemcy, 1997–98) oraz na State University of New York w Stony Brook (USA, 1999–2000), współpracując z profesorami H.-J. Stöckmannem oraz P.M. Kochem.

Jest współautorem 38 publikacji oraz 42 komunikatów i 6 referatów na zaproszenie na konferencjach naukowych. Wypromował dwóch doktorów. Otrzymał Nagrodę Naukową PTF (1986) i Nagrodę Naukową Sekretarza Wydziału III PAN (1995).

Jest członkiem PTF oraz wiceprezesem Fundacji „Pro Physica”. Poza fizyką pasjonuje się szachami, fotografią i tenisem. Żona Agnieszka (biolog), dzieci Piotr i Wojciech.

## ■ Czesław Zygmunt Rudowicz

Urodził się w 1948 r. w Poznaniu. Studia fizyczne ukończył w 1970 r. na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza, gdzie następnie pracował w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego. Doktorat uzyskał w 1974 r. Od 1978 r. przebywa za granicą. W latach 1978–80 był wykładowcą na University of Port Harcourt (Nigeria), w latach 1980–82 – stypendystą Fundacji Humboldta na Uniwersytecie w Erlangen, a w latach 1982–89 prowadził badania na Australian National University (Canberra). Habilitował się na UAM w 1989 r. Od 1989 r. jest pracownikiem City University of Hong Kong, a od 1995 r. ma tam stanowisko profesora. Prowadzi badania w zakresie teoretycznej i doświadczalnej fizyki ciała stałego, głównie elektronowego rezonansu magnetycznego (EMR), teorii pola krystalicznego i magnetyzmu. Tytuł naukowy został mu nadany 4 grudnia 2002 r.



Jest założycielem (1997) i prezesem Asia-Pacific EPR/ESR Society (APES) oraz organizatorem kolejnych konferencji APES. Jego dorobek naukowy obejmuje 2 monografie, 130 artykułów naukowych i 80 referatów na konferencjach. Jest członkiem komitetów redakcyjnych *Applied Magnetic Resonance*, *Physica B* oraz *Indian J. of Pure and Applied Physics*. Był profesorem-gościeniem Korea University (1995), Uniwersytetu Jagiellońskiego (2002) i Kobe University (2003). Prowadził zajęcia m.in. z mechaniki kwantowej, mechaniki klasycznej, fizyki ciała stałego, matematycznych metod fizyki, fizyki materiałów magnetycznych i teorii grup. Był promotorem kilku prac doktorskich.

W czasie pobytu w Australii założył społecznie Polską Komisję Oświatową i Polską Szkołę Przedmiotów Oczyszczonych w Canberze, którą kierował do wyjazdu z Australii i która nadal istnieje.

Zamiłowania: filmy przyrodnicze (oglądanie), badminton, pływanie, chodzenie po (niewysokich) górach, narciarstwo (na niebieskich szlakach). Żona Elżbieta (psycholog), dzieci (doroste) Agnieszka i Jacek.



## ■ Grażyna Sznajd (Kontrym-Sznajd)

Urodziła się w 1946 r. w Olsztynie. Magisterium z fizyki uzyskała na Uniwersytecie Wrocławskim w 1969 r., a doktorat (w 1975 r.) oraz habilitację (w 1990 r.) – w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. Tytuł naukowy otrzymała 10 października 2003 r.

Jej specjalnością jest fizyka teoretyczna, w szczególności teoria ciała stałego. Zajmowała się metodami interpretacji (głównie technikami matematycznymi tomografii komputerowej) danych doświadczalnych anihilacji pozytonów i rozpraszania Comptona oraz teorii oddziaływania elektron–pozyton w metalach. Ostatnio bada zjawisko tzw. nesting (zagnieżdżania) oraz jego związek z uporządkowaniem magnetycznym w związkach metali ziem rzadkich.

Odbyła kilkumiesięczne staże naukowe na Politechnice w Kopenhadze, Uniwersytecie w Genewie, Tufts University oraz Texas University. Wypromowała 2 doktorów, kierowała lub kieruje 4 grantami KBN, współpracuje z kilkunastoma ośrodkami naukowymi na świecie, wielokrotnie organizowała konferencje naukowe. Otrzymała Nagrodę Sekretarza PAN (1985) oraz Nagrodę Wydziału III PAN (1990). Opublikowała 84 prace naukowe.



Promotorem jej pracy magisterskiej i doktorskiej był prof. Henryk Stachowiak, a wiedzę w dziedzinie technik matematycznych tomografii komputerowej zawdzięcza w dużej mierze jej twórcy, prof. Allanowi Cormackowi z Tufts University, laureatowi Nagrody Nobla w dziedzinie medycyny w 1979 r.

Interesuje ją diagnostyka medyczna, bardzo lubi prace w ogródku oraz pracę społeczną w ruchu Lions.

Pracuje w INTiBS PAN we Wrocławiu. Jej mężem jest Józef Sznajd, profesor fizyki w tym samym Instytucie. Córka, Katarzyna Sznajd-Weron, jest adiunktem w Instytucie Fizyki Teoretycznej UW. Ma dwóch wnuków, Tomka i Marcina.

## ■ Józef Musielok

Urodził się w 1946 r. w Toszku, na pograniczu Górnego Śląska i Opolszczyzny. Studia fizyczne ukończył w WSP w Opolu i z tą uczelnią związała całą swoją dotychczasową działalność zawodową. Doktoryzował się na Uniwersytecie Wrocławskim w 1976 r., a habilitował na UMK w Toruniu w 1991 r. na podstawie monografii *Starkowskie rozszerzenie linii widmowych i jego wykorzystanie w diagnostyce plazmy*. Tytuł naukowy otrzymał 8 lipca 2003 r.



Zajmuje się doświadczalnym wyznaczaniem prawdopodobieństw przejść oraz badaniem poszerzenia i przesunięcia linii widmowych wynikającego z oddziaływania atomów ze środowiskiem plazmowym oraz spektroskopową diagnostyką plazmy.

Opublikował ponad 60 prac naukowych, wypromował 2 doktorów. Prowadził przez wiele lat badania w National Bureau of Standards, Ruhr-Universität Bochum oraz National Institute of Standards and Technology, biorąc udział w realizacji polsko-amerykańskiego programu doświadczalnego wyznaczania stałych atomowych.

W opolskiej uczelni był przez 2 lata prodziekanem ds. studenckich Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii, przez 3 lata dyrektorem Instytutu Fizyki, przez dwie 3-letnie kadencje prorektorem ds. nauki i współpracy z zagranicą, a w 2002 r. został wybrany na rektora Uniwersytetu Opolskiego. W latach 1999–2002 był członkiem Rady Głównej Szkolnictwa Wyższego.

Członkiem PTF jest od 1968 r.; pełnił wiele funkcji w Oddziale Opolskim oraz w Sekcji Optyki. Jest też członkiem PTChem oraz Societas Humboldtiana Polonorum. Działał w Sekcji Fizyki Plazmy oraz Sekcji Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optyki (FAMO) Komitetu Fizyki PAN. Od chwili utworzenia Krajowego Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optyki jest członkiem jego Rady Naukowej.

Prowadzi wykłady z fizyki atomowej i molekularnej oraz podstaw optyki nieliniowej.

Żona Dorota, czworo dzieci (Ewa, Katarzyna, Dominika i Łukasz) oraz wnuczka Emilia.

## ■ Andrzej Kus

Urodził się w 1944 r. w Krakowie. Studiował w latach 1962–67 na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii UMK w Toruniu, uzyskując tytuł magistra astronomii. Zatrudniony w tym samym roku w Obserwatorium Astronomicznym UMK; obecnie jest dyrektorem Centrum Astronomii Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK oraz kierownikiem Katedry Radioastronomii tegoż Centrum.



W pierwszym okresie pracy budował interferometry i konstruował teleskop do supersyntezy apertury. W 1973 r. wyjechał na roczny pobyt do Mullard Radio Astronomy Observatory (MRAO) w Cavendish Laboratory, Cambridge, na specjalne stypendium British Council w związku z 500. rocznicą urodzin Kopernika. Pod kierunkiem prof. Martina Ryle'a uczestniczył w głębokich radiowych przeglądach nieba i budowie nowego radioteleskopu, zbierając materiał obserwacyjny do pracy doktorskiej o kosmologicznych aspektach jednorodności i symetrii Wszechświata (UMK 1975, promotor prof. Stanisław Gorgolewski). Stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1992 r. Rozwijał technikę interferometrii wielkobazowej, wprowadzał toruńskie radioteleskopy do światowej sieci VLBI. Kierował inwestycją budowy 32-m radioteleskopu, dzięki któremu rozwinął nowoczesne kierunki badań radiastronomicznych.

Tytuł naukowy otrzymał 6 czerwca 2003 r.

Jego działalność naukowa koncentruje się na badaniu aktywnych galaktyk i kwazarów oraz źródeł maserów molekularnych. Do swych największych osiągnięć zalicza m.in. wykonanie przeglądu nieba 5C7, pierwszą trójwymiarową tomografię otoczki gwiazdowej OH/IR 127.8-0.0, odkrycie pozornej nadświetlnej prędkości ruchu składników w kwazarze 3C309.1 oraz przygotowanie i wdrożenie projektu OCRA (One Centimeter Receiver Array) realizowanego we współpracy z Jodrell Bank i Bristol University. Jego dorobek naukowy obejmuje ponad 70 artykułów.

Wypromował czworo doktorów. Należy do wielu międzynarodowych towarzystw naukowych, m.in. jest od 1995 r. członkiem honorowym brytyjskiego Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego.

## ■ Grzegorz Wilk

Urodził się w 1945 r. w Giedlarowej (nieдалеко Leżajska, gdzie są największe w Polsce organy), szkołę średnią ukończył w Stalowej Woli (sztandarowym mieście polskiego kapitalizmu – chlubie Centralnego Okręgu Przemysłowego i przedwojennej polskiej myśli planistycznej), a fizykę studiował na Uniwersytecie Warszawskim (magisterium w 1968 r.). Tam też rozpoczął karierę naukową w 1968 r., a rok później osiadł na dobre w Instytucie Badań Jądrowych w Warszawie, choć doktorat uzyskał na UW (w 1972 r., promotor prof. Grzegorz Białkowski). IBJ stał się w stanie wojennym Instytutem Problemów Jądrowych, a parę lat temu – ku czci swego założyciela – IPJ im. Andrzeja Sołtana. Tu zrobił habilitację (w 1990 r.), a tytuł naukowy otrzymał 20 sierpnia 2003 r. Od kilku lat kieruje Zakładem Teorii Jądra Atomowego IPJ. Nazwa ta jest w dużej mierze historyczna, bowiem w Zakładzie uprawia się też teorię cząstek elementarnych oraz fizykę nieliniową (wcześniej – fizykę plazmy).



Jego zainteresowania naukowe zawsze oscylowały wokół fizyki cząstek elementarnych, w szczególności wokół teoretycznego opisu wszelkiego rodzaju wysokoenergetycznych zderzeń, głównie zachodzących z produkcją wielu cząstek (włączając w to również zderzenia inicjowane przez dochodzące do Ziemi promieniowanie kosmiczne). Ostatnio stał się nawet formalnie członkiem bardzo dużej współpracy naukowej przygotowującej w budowanym w CERN-ie akceleratorze LHC doświadczenie ALICE, mające w przyszłości (być może już od 2007 r.) umożliwić badanie zderzeń jąder atomowych przy skrajnie wielkich energiach. Odbił półroczny staż naukowy w Międzynarodowym Centrum Fizyki Teoretycznej w Triest (1972) oraz roczne staże na Uniwersytecie w Marburgu (1984/85) i Uniwersytecie Stanu Illinois w Chicago (1985/86). Jego najwierniejsi współpracownicy są głównie spoza Warszawy (od Kielc przez Niemcy, Japonię aż po Brazylię), ale ostatnio ma też prężną lokalną grupkę zajmującą się tematyką zderzeń wysokoenergetycznych.

Ma żonę i dwoje dorosłych już dzieci oraz jednego wnuczka.

# Maksymilian Pluta (1929–2002)

1 października 2002 r. zmarł w Warszawie – po dłuższej chorobie – prof. dr hab. Maksymilian Pluta, wybitny specjalista z zakresu fizyki doświadczalnej i jej zastosowań w optyce, zwłaszcza w metrologii optycznej i mikroskopii.

Urodził się 28 lutego 1929 r. w Karwinie na Śląsku Cieszyńskim. Warto tu przytoczyć kilka zdań z pożegnania, jakim wyróżniła go witryna internetowa „Science, Optics & You” w dziale „Pioneers in Optics” ([micro.magnet.fsu.edu/optics/](http://micro.magnet.fsu.edu/optics/)):

Maksymilian Pluta był profesorem o wielkiej sławie, pionierem optyki, autorem jednej z najbardziej kompletnych książek z dziedziny mikroskopii optycznej. Osiągnął wyżyny w dziedzinach optyki i mikroskopii, chociaż jego życie zaczynało się w skromnych warunkach. Pluta urodził się w wielodzietnej rodzinie chłopskiej, a podstawowe i średnie wykształcenie zdobywał w trudnych czasach II wojny światowej. Po jej zakończeniu brak środków finansowych zmusił go do zamieszkania u rodziny w Chorzowie.

W 1949 r. rozpoczął studia na Uniwersytecie Jagiellońskim, skąd – po trzech latach – przeniósł się na Uniwersytet Warszawski. Tu uzyskał w 1954 r. magisterium z fizyki.

Maksymilian Pluta nie był zwolennikiem łatwej drogi życiowej. Jeszcze przed ukończeniem studiów podjął decyzję o pracy naukowo-badawczej w dziedzinie optyki stosowanej, rozpoczynając ją w 1953 r. w Zakładzie Optyki Instytutu Mechaniki Precyzyjnej, najpierw na stanowisku asystenta, ale wkrótce potem już jako kierownik Pracowni Optyki Fizycznej. Po przekształceniu Zakładu w Centralne Laboratorium Optyki (późniejszy Instytut Optyki Stosowanej) Pluta został kierownikiem Pracowni Mikroskopowej, a następnie kierownikiem Zakładu Optyki Fizycznej. Z Instytutem Optyki Stosowanej pozostał związany do końca życia.

Spśród zagranicznych staży naukowych Pluty warto wyróżnić okres spędzony w Paryżu w latach 1964–65. Był wówczas stypendystą rządu francuskiego w Institut d'Optique, gdzie współpracował z prof. Jerzym Nomarskim, twórcą kontrastu interferencyjno-różniczkowego w mikroskopii (system DIC Nomarskiego). Przedmiotem współpracy Nomarskiego i Pluty była mikroskopia holograficzna.

Przez cały okres swojej kariery zawodowej Pluta był fizykiem-praktykiem uzyskującym stopniowo coraz wybitniejszą pozycję naukową w swojej specjalności. Jego zainteresowania obejmowały mikroskopię świetlną, mikrointerferometrię, optykę fourierowską, a także holografię. Wynalazki Pluty z dziedziny mikroskopii i mikrointerferometrii zostały wdrożone do produkcji. Dotyczy to zwłaszcza urządzeń fazowo-kontrastowych (6 różnych typów) i mikroskopów interfe-

rencyjnych; jeden z nich w zagranicznej literaturze fachowej został nazwany mikroskopem interferencyjnym Pluty. Dość zabawne przy tym było, że osoby nadzorujące proces wdrożenia od strony ekonomicznej (z ramienia państwa) starały się wynalazcy jak najmniej zapłacić: honorarium (premia) miało być obliczane nie od wartości rynkowej całego aparatu, lecz tylko od wartości pieniężnej tej części urządzenia, która została wprowadzona przez Plutę.



Maksymilian Pluta

Poza działalnością wynalazczą Pluta publikował swoje osiągnięcia zarówno w czasopismach (ponad 70 artykułów naukowych zamieszczonych w *Journal of Microscopy*, *The Microscope*, *Microscopica Acta*, *Optica Acta*, *Journal of Modern Optics*, *Journal of the Optical Society of America*, *Applied Optics*, *Optical Engineering*, *Optics and Laser Technology*, *Optica Applicata* i in.), jak i monografiach książkowych – *Mikroskopia fazowo-kontrastowa i interferencyjna* (1965), *Holografia optyczna* (1980), *Mikroskopia optyczna* (1982), *Mikrointerferometria w świetle spolaryzowanym* (1990) – oraz wydawnictwach ciągłych – *Non-standard Methods of Phase Contrast Microscopy* (t. 6), *Holographic Microscopy* (t. 10), *Advances in Optical and Electron Microscopy*. Ukoronowaniem działalności naukowej i publikacyjnej Pluty było wydanie 3-tomowego dzieła *Advanced Light Microscopy*, które ukazało się w latach 1988–93 i uzyskało pochlebne omówienie w powszechnie przez fizyków czytany czasopiśmie amerykańskim *Physics Today*. Warto tu dodać uwagę o książce zamieszczonej na ww. witrynie:

Traktat Pluty o podstawowych i zaawansowanych metodach mikroskopii jest uważany przez wielu mikroskopistów za najpełniejsze ze wszystkich opublikowanych ujęć mikroskopii optycznej.

Formalna kariera naukowa Pluty nie układała się łatwo. Doktorat (z nauk technicznych) uzyskał na Politechnice Warszawskiej dopiero w 1981 r., habilitację – z nauk fizycznych – na Politechnice Wrocławskiej w 1993 r., a więc w 11 lat po uzyskaniu tytułu profesora (w r. 1982).

Poza działalnością wynalazczą (22 patenty własne, współautor 4 patentów), naukową i publikacyjną Maksymilian Pluta prowadził intensywną działalność organizacyjną. Był członkiem bądź przewodniczącym rad naukowych licznych placówek, m.in. Instytutu Optyki Stosowanej, Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej, a także działaczem towarzystw naukowych, takich jak Polskie Towarzystwo Fizyczne, Stowarzyszenie Inżynierów Mechaniki Precyzyjnej (sekcja optyki), Komitet Optoelektroniki Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Sekcja Optoelektroniki Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN, Sekcja Mechaniki Doświadczalnej Komitetu Mechaniki PAN, International Society of Optical Engineering (wiceprezes 1988-91), European Optical Committee (wiceprezes w latach 1981-83). Był także honorowym członkiem Royal Microscopical Society oraz Microscopical Society of Illinois (USA), był wreszcie organizatorem ok. 20 konferencji naukowych o zasięgu międzynarodowym.

Działalność Pluty uzyskała – na szczęście – także pewien oddźwięk oficjalny: był w zespole wyróżnionym Nagrodą Państwową II stopnia (1964), a przede wszystkim otrzymał nagrodę Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, czyli tzw. polskiego nobla (1995).

Odnaczenia przyznane Plucie – tak jak i on sam – były skromne: Srebrny Krzyż Zasługi (1969), Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (1976), Złota Odznaka „Za zasługi dla rozwoju przemysłu maszynowego” (1975).

Uważam, że w polskim życiu naukowym i intelektualnym Maksymilian Pluta był osobą całkowicie niezwykłą: od początku drogi rozpoczętej po studiach wybrał wyjątkowo stromą ścieżkę zastosowań fizyki w praktyce. Ścieżkę tę można uznać nie tylko za wyboistą z natury rzeczy, choćby z uwagi na nieuchronną, a nierzadko bolesną konfrontację pomysłu badawczego z wynikiem jego aplikacji, lecz także ze względu na realia pracy w Polsce: nieustanne błagania o potrzebne do prowadzenia badań środki i wyposażenie. Pozostał tajemnicą Pluty, jak mając tych środków tak mało, potrafił osiągnąć tak wiele!

*Stanisław Olszewski*  
Instytut Chemii Fizycznej PAN  
Warszawa

## ZE ZJAZDÓW I KONFERENCJI

### II Sympozjum sieci LFPPI

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat kluczowym czynnikiem warunkującym rozwój naszej cywilizacji był dokonujący się postęp w dziedzinie technologii informatycznych. Rosnący z roku na rok popyt na systemy informatyczne o coraz większej mocy zmusza naukowców i inżynierów do szukania coraz to nowych rozwiązań. Naprzeciw tym potrzebom wychodzi bardzo młoda, ale budząca wiele nadziei informatyka kwantowa. Jest ona dziedziną naukową z pogranicza teorii informacji i mechaniki kwantowej. Jej powstanie stało się możliwe dzięki znacznemu postępowi badań podstaw mechaniki kwantowej. Pojawiła się możliwość budowy systemów, w których wszystkie procesy informatyczne, jak przetwarzanie, zapis i przesyłanie informacji, odbywają się na poziomie czysto kwantowym. Obiecujące wyniki zarówno prac teoretycznych, jak i badań doświadczalnych wskazują na zbliżający się kolejny przełom, a może i nową rewolucję informatyczną. Ogromne potencjalne znaczenie informatyki i inżynierii kwantowej jest powszechnie dostrzegane zwłaszcza w krajach o najwyższym poziomie rozwoju technicznego – w Unii Europejskiej, USA i Japonii. W krajach tych pierwsze produkty oparte na kwantowej teorii informacji, np. generatory liczb losowych czy systemy szyfrowania informacji, są już dostępne na rynku.

Skupiająca wiele polskich ośrodków badawczych sieć Laboratorium Fizycznych Podstaw Przetwarzania Informacji (LFPPI) rozpoczęła swoją działalność w roku 2002. Jej głównym celem jest prowadzenie badań naukowych w zakresie informatyki kwantowej. Zadaniem priorytetowymi sieci są: integracja badań prowadzonych w tej dziedzinie w naszym kraju oraz stworzenie bazy naukowej dla przyszłych technologii informatycznych.

W dniach 29–30 listopada 2003 r. odbyło się w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego drugie już Sympozjum sieci LFPPI. Konferencja naukowa „Splątanie kwantowe i symetrie” zorganizowana została przez zespół prof. Jakuba Rembielińskiego z Katedry Fizyki Teoretycznej UŁ. Wzięło w niej udział ponad 70 naukowców ze wszystkich największych ośrodków akademickich i badawczych w Polsce. Jednym z najważniejszych zagadnień diskutowanych w czasie konferencji był wpływ teorii względności na procesy kwantowego przetwarzania i przesyłania informacji. Zwykle do rozważania zagadnień informatyki kwantowej, jak kwantowa kryptografia czy teleportacja stanów, używana jest nierelatywistyczna mechanika kwantowa, która nie uwzględnia efektów przewidywanych przez teorię względności. Jednak w ostatnim czasie coraz większe grono naukowców zaczyna zdawać sobie sprawę, że efekty relatywistyczne mogą odgrywać niebagatelną rolę w procesie przesyłania i przetwarzania

informacji. Obecnie jest to jeden z najżywiej dyskutowanych problemów kwantowej teorii informacji. Zagadnieniom tym poświęcony był otwierający konferencję referat Marka Czachora z Politechniki Gdańskiej zatytułowany „Splątanie a symetrie relatywistyczne”. Najnowsze osiągnięcia kwantowej kryptografii przedstawione zostały przez Karola Horodeckiego z Uniwersytetu Gdańskiego w referacie „Kwantowa kryptografia i splątanie związane”. Ponadto na konferencji wiele uwagi poświęcono teorii kropek kwantowych, uważanych obecnie za poważnego kandydata do eksperymentalnej realizacji komputera kwantowego. Referaty na ten temat wygłosili Ryszard Taranko z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej – „Transport elektronowy przez kropkę kwantową” – oraz Adam Miranowicz z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza – „Splątanie kwantowe kropek kwantowych w mikrowęzłach rezonansowych”. Spośród innych zagadnień poruszanych w trakcie sympozjum wspomnijmy również o teorii kondensatu Bosego–Einsteina, której poświęcony był referat Mariusza Gajdy z Instytutu Fizyki PAN zatytułowany „Widma wzbudzeń kondensatu Bosego–Einsteina w temperaturach wyższych od zera” oraz referat Mirosława Brewczyka z Uniwersytetu w Białymstoku „Formation of soliton trains in Fermi–Bose mixtures”. Problem poprawnego opisu czasu, jako mierzalnej wielkości fizycznej w mechanice kwantowej, poruszony został w referacie

Marcina Skulimowskiego (UŁ) „Uwagi o operatorze czasu w mechanice kwantowej”. Wiele referatów poświęconych było zagadnieniom geometrycznym w mechanice kwantowej. Wymienić tutaj można referaty: Karola Życzkowskiego z Uniwersytetu Jagiellońskiego „Entropia Wehrla, hipoteza Lieba a miary kwantowego splątania”, Dariusza Chruścińskiego z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika „Geometryczne aspekty mechaniki kwantowej” czy też referat Krzysztofa Kowalskiego (UŁ) „Mechanika kwantowa na okręgu”.

Pierwszy dzień Sympozjum zakończył się uroczystą kolacją w restauracji Centrum Szkoleniowo-Konferencyjnego UŁ, w którym zakwaterowani byli uczestnicy. Podczas wieczornego bankietu, na którym panowała koleżeńska atmosfera, prof. Jakub Rembieliński, gospodarz Sympozjum, wniósł uroczysty toast. Jednak prawdziwym przebojem wieczoru okazał się popis wokalny jednego z uczestników.

Szczegółowe informacje na temat Sympozjum można znaleźć na stronie [merlin.fic.uni.lodz.pl/LFPPI/konf/](http://merlin.fic.uni.lodz.pl/LFPPI/konf/) lub na stronie sieci LFPPI – [fppi.cft.edu.pl](http://fppi.cft.edu.pl).

Marcin Ostrowski  
Instytut Fizyki UŁ  
Łódź

## RECENZJE

### Detekcja sygnałów optycznych

Zbigniew Bielecki i Antoni Rogalski: *Detekcja sygnałów optycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001, s. 400.

Książka Zbigniewa Bieleckiego i Antoniego Rogalskiego *Detekcja sygnałów optycznych* od czasu wydania przez WNT w roku 2001 została już szeroko rozpowszechniona przez księgarnie i biblioteki, jest także polecana jako podręcznik akademicki. Treść książki zawarta jest w 11 rozdziałach na 400 stronach druku. Każdy rozdział zakończony jest spisem literatury źródłowej. Na początku książki Autorzy przytaczają wykaz ważniejszych używanych oznaczeń.

Recenzowane dzieło dotyczy szerokiego zakresu zagadnień związanych z detekcją promieniowania optycznego, a zamiarem Wydawnictwa oraz Autorów było kompleksowe przedstawienie omawianej dziedziny nauki i techniki. Z notek redakcyjnych umieszczonych wewnątrz książki i na jej okładce wynika, że ma ona na celu prezentację podstaw fizycznych detekcji promieniowania optycznego przez omówienie detektorów promieniowania z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć światowych w tej dziedzinie, przy czym Autorzy omawiają również metody i elektroniczne układy przetwarzania sygnałów.

Książka może również spełniać funkcję podręcznika akademickiego z przeznaczeniem dla studentów elektroniki, telekomunikacji, automatyki, mechatroniki, techniki wojskowej oraz fizyki.

Pierwsze dwa rozdziały mają za zadanie wprowadzić czytelnika w zagadnienia związane z wielkościami fotometrycznymi i fizycznymi podstawami detekcji promieniowania optycznego. W kolejnych sześciu rozdziałach Autorzy omawiają różne detektory promieniowania optycznego – detektory fotograficzne, detektory wykorzystujące wzrost temperatury (detektory termiczne), detektory oparte na zjawisku fotoprzewodnictwa (detektory fotoprzewodzące), detektory fotowoltaiczne, detektory oparte na zjawisku fotoemisji elektronów z różnych fotokatod (detektory fotoemisyjne) oraz detektory wykorzystujące supersieci i studnie kwantowe.

W ostatnich trzech rozdziałach omówiono kolejno układy elektroniczne współpracujące z detektorami optycznymi, detektory matrycowe oraz udoskonalone metody detekcji sygnałów optycznych, pozwalające w znacznym stopniu uniknąć szumów związanych z detekcją.

Ogólnie układ książki jest czytelny, gdyż po wprowadzeniu w fizyczne podstawy omawianych zagadnień Autorzy omawiają wybrane detektory oraz możliwości detekcji promieniowania optycznego. Należy jednak zauważyć, że dla zrozumienia jej treści czytelnik musi już mieć odpo-

wiednie przygotowanie. Niezbędna jest podstawowa wiedza z zakresu matematyki, fizyki, elektroniki, elektrotechniki oraz technologii wytwarzania elementów elektronicznych. Wiedza ta musi być na poziomie dobrze wykształconego studenta wyższych lat studiów technicznych lub fizycznych.

Szczególnie dobrze opisano w książce zagadnienia związane z detekcją promieniowania przez detektory termiczne, wybrane detektory fotoprzewodzące i fotowoltaiczne oraz matryce detektorowe. Autorzy omówili w powyższych przypadkach zasady działania, podstawy wytwarzania detektorów, ich parametry, zagadnienia związane z szumami oraz podstawowe dane katalogowe detektorów oferowanych przez różnych producentów. Jeden z rozdziałów książki poświęcony jest układom elektronicznym stosowanym do pomiaru sygnałów elektrycznych pochodzących z detektorów promieniowania. Jest on z pewnością przydatny dla ogólnej orientacji w tej dziedzinie. Powyższe informacje są jednak zbyt ogólnikowe, aby były podstawą do budowy odpowiednich układów elektronicznych. Jednocześnie prezentowane są tylko analogowe układy elektroniczne, co przy obecnym rozwoju układów cyfrowych nie odzwierciedla realnych możliwości rejestracji sygnałów elektrycznych.

W zakresie metod detekcji sygnałów szczególnie użyteczny jest rozdział dotyczący najbardziej rozwiniętych metod detekcji sygnałów. Omówiono przypadki, w których możliwa jest detekcja sygnałów optycznych znacznie poniżej progu szumów.

Analizując tematykę, układ i treść rozdziałów, łatwo zauważyć, że choć książka nie jest anonsonowana jako monografia, jest ściśle związana z tematyką badawczą uprawianą przez Autorów, dotyczącą zagadnień półprzewodnikowych detektorów promieniowania ze szczególnym uwzględnieniem zakresu podczerwieni (wieloletnie zainteresowania naukowe prof. A. Rogalskiego) i układów elektronicznych współpracujących z detektorami promieniowania (tą tematyką interesuje się szczególnie dr inż. Z. Bielecki). Wydaje się więc, że na zawartość książki zasadniczy wpływ miały zainteresowania naukowe Autorów. Z tego też powodu, jak sądzę, niektóre zagadnienia związane z detekcją promieniowania optycznego – za pomocą detektorów fotonowych, jak fotopowielacze i fotokomórki, czy przy użyciu metod fotograficznych, metod luminescencyjnych i innych metod opartych na zjawiskach fotonowych – zostały omówione mniej dokładnie. Takie ujęcie powoduje również, że Autorzy nie omawiają także roli elementów i układów optycznych przy detekcji sygnałów optycznych.

Zawartość książki nie stanowi więc pełnego opracowania zagadnienia detekcji sygnałów optycznych, a omawia raczej detektory promieniowania optycznego oraz wybrane układy z nimi współpracujące, a zatem przy prowadzeniu wykładu dotyczącego zagadnienia detekcji pro-

mieniowania optycznego należy uzupełniać wiedzę z innych źródeł. Podczas wykładu z tematyki zawartej w tytule książki niezbędne byłyby dodatkowe informacje dotyczące zagadnień związanych z rolą filtrów optycznych, polaryzatorów, soczewek, pryzmatów, zwierciadeł, monochromatorów oraz wielu innych elementów i przyrządów optycznych używanych w praktyce do detekcji promieniowania optycznego.

Moje uwagi krytyczne dotyczące książki związane są również ze słownictwem oraz pewnymi niezbyt precyzyjnymi określeniami używanymi przez Autorów i niepoprawionymi przez redakcję. Dotyczy to wielu określeń będących bezpośrednim tłumaczeniem z języka angielskiego oraz niektórych wielkości i podpisów pod rysunkami. Na przykład słowo „egzytancja” nie pasuje do wielu określeń stosowanych w rozdziale pierwszym, a jest przecież bardzo dobre określenie tej wielkości – „widmowy strumień promieniowania”. Egzytancja nie jest także całkowitym strumieniem promieniowania, jak napisano w podpisie rys. 1.14. Wiele podpisów i komentarzy jest zbyt skrótowych. I tak, brak opisu na rys. 1.1 dotyczącego widma promieniowania elektromagnetycznego zmusza czytelnika do domysłów co do znaczenia występujących wielkości. Inny przykład to podpis przy tabeli 5.5 o treści „Parametry HgCdTe”, który jest zbyt skrótowy. Powinno raczej być „Parametry detektora HgCdTe”. Problemy powyższe nie są jednak istotne dla całej książki, tak więc tej kwestii nie będę rozwijał. Przy kolejnych wydaniach niezbędna jest jednak precyzyjna korekta techniczna.

Należy podkreślić wysoki poziom merytoryczny zagadnień poruszanych w książce. Jest ona oparta na najnowszych danych literaturowych oraz katalogowych. Uwzględnia również najnowsze osiągnięcia w dziedzinie detektorów, których technologie bazują na supersieciach i studniach kwantowych, oraz omawia detektory wykorzystujące matryce detektorowe. Należy również zauważyć, że technika i technologia związana z wytwarzaniem detektorów oraz detekcją promieniowania rozwija się niezwykle prężnie i w języku polskim brak jest podręczników oraz monografii z tej dziedziny. Książki oryginalne lub tłumaczenia wydane kilkanaście lat temu są w większości zagadnień nieaktualne. Ta pozycja wydawnicza jest również cenna na naszym rynku wydawniczym z tego powodu, iż jest to książka, która łączy podstawy fizyki oraz techniki i należy do dobrych wzorów książek z zakresu fizyki technicznej. Pozycja ta jest wydana starannie – w twardej okładce, z dobrymi i czytelnymi ilustracjami. Uważam, że recenzowana książka zasługuje na szerokie rozpowszechnienie wśród studentów oraz innych potencjalnych użytkowników.

*Jan Godlewski*

Wydział Fizyki Technicznej  
i Matematyki Stosowanej PG  
Gdańsk

## ■ Tytuły profesorskie

Tytuł naukowy profesora nauk fizycznych, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymali w dniu 5 listopada 2003 r. Stanisław Krukowski (CBW PAN Unipress, Warszawa), Andrzej Magiera (UJ) i Ewa Krystyna Talik (UŚI); w dniu 3 grudnia 2003 r. tytuł otrzymali: Piotr Eugeniusz Marszałek (Duke University, USA) i Marek Jacek Sarna (CAMK, Warszawa).

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

## ■ IUPAP

Międzynarodowa Unia Fizyki Czystej i Stosowanej (IUPAP) powstała w 1922 r., a jednym z 13 państw założycielskich była Polska. Unia działa poprzez przedstawicieli krajów członkowskich (których jest teraz 46) oraz 23 komisje ogólne (np. nauczania fizyki) i kierunkowe (np. fizyki jądrowej). W kadencji 2002–05 Komitetu Wykonawczego prezesem Unii jest Y. Petroff (ESRF, Grenoble, Francja), poprzednim prezesem – B. Richter (SLAC, Stanford, USA), a prezesem desygnowanym – A. Astbury (University of Victoria, Victoria B.C., Kanada). Astbury będzie więc przez 9 lat działać w kierowaniu Unią – 3 lata jako prezes desygnowany, 3 lata jako prezes i 3 lata jako poprzedni prezes. Przedstawicielem Polski w IUPAP-ie jest Ryszard Sosnowski (*ex officio* jako przewodniczący Komitetu Fizyki PAN).

Historię, organizację, zadania i słabości Unii opisał szeroko Józef Werle (*PF*, **45**, 359 (1994)) w czasie, gdy pełnił funkcję wiceprezesa IUPAP-u. Jednym z zadań poszczególnych komisji Unii jest podejmowanie decyzji w sprawie miejsca i udzielenia patronatu cyklicznym konferencjom kierunkowym, np. odbywającej się co 3 lata Międzynarodowej Konferencji Niskich Temperatur czy Międzynarodowej Konferencji Magnetyzmu (co 2 lata). Komisje mogą też podejmować decyzje w sprawach dofinansowania innych ważnych konferencji międzynarodowych.

W wyniku wyborów przeprowadzonych w październiku 2002 r. w czasie Zebrania Ogólnego IUPAP w Berlinie fizycy polscy otrzymali trzyletni mandat w następujących komisjach: Komisja C5 Fizyki Niskich Temperatur – Tomasz Dietl (IF PAN, Warszawa), Komisja C8 Półprzewodników – Marian Grynberg (UW), Komisja C11 Częstek i Pól – Michał Turała (IFJ, Kraków) oraz Komisja C16 Fizyki Plazmy – Marek Sadowski (IPJ, Świerk). Ponadto Tomasz Dietl jest od 2003 r. członkiem stowarzyszonym Komisji Półprzewodników. Pełne informacje można znaleźć na stronie internetowej IUPAP-u ([www.iupap.org](http://www.iupap.org)).

Zgodnie ze statutem, podstawowym zadaniem IUPAP-u jest popieranie swobodnego rozwoju badań fizycznych, w szczególności dążenie do zniesienia wszelkich podziałów rasowych, politycznych i ideologicznych, które utrudniają współpracę fizyków. Nie ma wątpliwości, że w ostatnich latach liczba tego typu problemów

maleje, chociaż pojawiło się nowe zagadnienie związane z obostrzeniami wizowymi w USA.

W 2003 r. członkowie niektórych (trzynastu) komisji brali udział w przygotowaniu opracowania *Physics Now*, w którym przedstawiono w sposób syntetyczny osiągnięcia i perspektywy poszczególnych dziedzin fizyki. Wśród autorów Komisji Niskich Temperatur jest Tomasz Dietl. Opracowanie to, wydane przez Komisję Nauczania Fizyki pod redakcją Jona Ogborna, jest dostępne pod adresem [web.phys.ksu.edu/icpe/Publications](http://web.phys.ksu.edu/icpe/Publications). Komisja Nauczania Fizyki zezwala na swobodne użytkowanie i kopiowanie opracowania, ale tylko w celach pedagogicznych i z podaniem źródła.

B. W.

## ■ Honorowy profesor UMCS

29 listopada 2003 r. na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie odbyła się uroczystość nadania tytułu Honorowego Profesora UMCS Jerzemu Dudkowi, profesorowi Uniwersytetu im. Louisa Pasteura w Strasburgu. Lubelskie środowisko uniwersyteckie w ten sposób uhonorowało fizyka o światowym autorytecie, mającego istotne zasługi dla rozwoju lubelskiej fizyki jądrowej.

Jerzy Dudek urodził się 21 marca 1946 r. w Krakowie. W 1969 r. ukończył Uniwersytet Jagielloński, uzyskując stopień magistra w zakresie fizyki teoretycznej. W 1972 r. obronił rozprawę doktorską w Instytucie Badań Jądrowych w Warszawie. Jego kolokwium habilitacyjne odbyło się w 1979 r. w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego.

W kilka lat po habilitacji otrzymał propozycję zatrudnienia w Instytucie Badań Subatomowych oraz na Uniwersytecie im. Louisa Pasteura w Strasburgu, gdzie w 1988 r. uzyskał tytuł profesora (*professeur titulaire*) Uniwersytetu Strasbourg I. Dwa lata później awansował na stanowisko *professeur 1ère classe*.

Od samego początku swojej kariery zawodowej dzielił czas pomiędzy pracę naukową, dydaktykę i działalność organizacyjną. Przez 4 lata był członkiem Comité National des Universités, organizacji nadzorującej pracę uniwersytetów francuskich. Przez 8 lat pełnił funkcję *directeur du DEA de Physique Subatomique*. Był przez wiele lat członkiem Conseil de Laboratoire du Centre de Recherches Nucléaires (CRN) i Comité de Direction Scientifique du CRN w Strasburgu, a przez ostatnie 10 lat był francuskim koordynatorem wielu projektów w ramach współpracy polsko-francuskiej w zakresie fizyki jądrowej.

Dotychczas wypromował 11 doktorów, współuczestniczył lub współuczestniczył przy powstawaniu następnych 6 prac doktorskich. Wypromował również 16 dyplomantów DEA (dyplom odpowiadający polskiemu magisterium).

Dziedziną jego badań była fizyka jądrowa niskich energii, a główne tematy dotyczyły: natury izomerów w zjawisku rozszczepienia jądra atomowego i w fizyce wysokich spinów, a także struktury jąder super- i hiper-

zdeformowanych, w tym teoretyczne przewidzenie wielu ich własności, fenomenologii średniego pola jądrowego zarówno w podejściach tradycyjnych, jak i w relatywistycznym podejściu Diraca. Na uwagę zasługują także prace poświęcone różnym aspektom symetrii i jej naruszenia w procesach jądrowych, a w szczególności problemom symetrii w fizyce wielu ciał.

Wynikiem tych badań jest ok. 130 publikacji, które ukazały się w renomowanych czasopismach o zasięgu światowym, oraz dwie monografie dla studentów: *Introduction à la théorie des champs* i *Classical Mechanics*.

Był organizatorem lub współorganizatorem 5 dużych konferencji międzynarodowych. Jest także recenzentem w znanych czasopismach fizycznych o międzynarodowym zasięgu.

Z UMCS wiążą go wieloletnie kontakty i bardzo ścisła współpraca zarówno naukowa, jak i dydaktyczna. Szczególnie intensywnie współpracuje z grupą fizyków z Katedry Fizyki Teoretycznej. Przykładem efektów współpracy jest fakt, że wyniki uzyskane w ramach naszych wspólnych badań nad symetriami egzotycznymi odbiły się szerokim echem w środowisku fizyków jądrowych, gdyż mogą stanowić podwaliny „nowej fizyki” w zakresie niskich energii jądrowych. Do tej pory współpraca z UMCS zaowocowała 25 publikacjami w dobrych czasopismach, nie licząc drobnych raportów i komunikatów konferencyjnych. Ponadto w przygotowaniu jest publikacja książkowa: J. Dudek, A. Gózdź, *Generalized Quantum Rotors*.

Jerzy Dudek jest jednym ze współorganizatorów znanych w środowisku fizyków jądra atomowego Warsztatów Fizyki Jądrowej w Kazimierzu Dolnym. Uczestniczył także w procesie kształcenia lubelskich doktorantów, a w trakcie trwania Warsztatów – także studentów UMCS zainteresowanych fizyką jądrową, współorganizując dla nich specjalne sesje, dyskusje i wykłady. Jest znakomitym, szeroko znanym fizykiem teoretykiem, współpracującym od wielu lat z Katedrą Fizyki Teoretycznej UMCS zarówno na polu naukowym oraz dydaktycznym, jak i organizacyjnym. W imieniu całego środowiska fizyków lubelskich wyrażam w tym miejscu wielką satysfakcję z powodu nadania Profesorowi Dudkowi tego wyróżnienia.

Andrzej Gózdź

## ■ IFJ w PAN

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej, z dniem 1 września 2003 r. Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego w Krakowie (utworzony w 1960 r.) został przekształcony w Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk.

Dz. U., nr 151 (2003)

## ■ Sala im. Zygmunta Bodnara na Politechnice Wrocławskiej

W czasie obchodów święta Politechniki Wrocławskiej, 14 listopada 2003 r., odbyło się uroczyste nada-

nie największej z sal (sala nr 322) Instytutu Fizyki PWr imienia prof. Zygmunta Bodnara. W sali tej odsłonięcia portretu prof. Bodnara dokonali: J.M. Rektor Politechniki Wrocławskiej prof. Tadeusz Luty razem z jednym z dawnych wychowanków prof. Bodnara – prof. Florianem Ratajczykiem – w obecności dziekana Wydziału Podstawowych Problemów Techniki prof. Jana Misiewicza oraz dyrektora Instytutu Fizyki prof. Ryszarda Poprawskiego. W uroczystości wzięli udział liczni zaproszeni goście.



Pod portretem Zygmunta Bodnara stoją profesorowie (od lewej): dyrektor Instytutu Fizyki PWr, Ryszard Poprawski, J.M. Rektor PWr Tadeusz Luty, wychowanek prof. Bodnara – Florian Ratajczyk, dziekan Wydziału Postawowych Problemów Techniki PWr Jan Misiewicz.

Zygmunt Bodnar (1907–93) był pierwszym organizatorem Katedry Fizyki PWr i kierował nią przez 20 lat (1953–73).

Po ukończeniu studiów na Wydziale Ogólnym Politechniki Lwowskiej (1932 r.) był z tą uczelnią związany jako pomocniczy pracownik naukowy aż do roku 1946, oczywiście z wyjątkiem lat okupacji niemieckiej, kiedy ta uczelnia nie miała rangi politechniki. Jednocześnie od 1935 r. był pracownikiem firmy „Jan Bujak” we Lwowie, gdzie zorganizował od podstaw produkcję instrumentów optycznych. Po wojnie osiedlił się początkowo w Jeleniej Górze i przez 10 lat pracował w Jeleniogórskich Zakładach Optycznych (wtedy PWO), gdzie zorganizował m.in. produkcję poziomic precyzyjnych, quasi-eliptycznych zwierciadeł oraz soczewek Fresnela. Z Uniwersytetem i Politechniką Wrocławską był związany od 1949 r., początkowo jako wykładowca w Katedrze Fototechniki, a od 1951 r. jako zastępca profesora w Katedrze Fizyki. W 1953 r., a więc w rok po rozdzieleniu się Uniwersytetu i Politechniki, został kierownikiem Katedry Fizyki PWr, gdzie po odejściu na Uniwersytet wszystkich pracowników ze stopniem wyższym od magistra nieomal od początku organizował proces dydaktyczny i badawczy. Utworzył wtedy m.in. kierunek badawczy optyki, głównie instrumentalnej, zarówno jako dyscypliny podstawowej, jak i stosowanej, oraz zorganizował kształcenie fizyków dla przemysłu optycznego. W Katedrze, a po przemianowaniu – w Instytucie Fizyki Technicznej PWr, pod kierow-



nictwem prof. Bodnara zwiększyła się pięciokrotnie liczba pracowników naukowo-dydaktycznych. Oprócz optyki rozwinęła się fizyka ciała stałego oraz fizyka powierzchni, powstały dobrze wyposażone warsztaty optyczne i mechaniczne, a współpraca z przemysłem i licznymi ośrodkami naukowymi osiągnęła niespotykany później poziom. Nazwisko profesora Zygmunta Bodnara zostało wpisane na tablicę szczególnie zasłużonych dla Politechniki Wrocławskiej.

Ryszard Poprawski

## ■ O polityce naukowej

Jak podawaliśmy w Kronice 6/2003, powstaje Europejska Rada Badań (European Research Council, ERC). Kwartalnik *Nauka* w zeszytu 3/2003 publikuje tłumaczenie referatu Gottfrieda Schatza, profesora biochemii Uniwersytetu w Bazylei i prezesa Szwajcarskiej Rady Nauki i Technologii, wygłoszonego w październiku 2002 r. na konferencji poświęconej potrzebie stworzenia ERC.

Przemyslenia Schatza odnoszą się do potrzeby stworzenia ERC, lecz wiele jego spostrzeżeń ma niewątpliwie zastosowanie także do różnych krajowych instytucji zajmujących się organizacją badań naukowych. Przytoczmy więc kilka wyjątków z jego referatu:

„Kiedy zwrócono się do mnie o pokierowanie Radą, rozpocząłem od zatrudnienia najlepszych naukowców i technologów, jakich mogłem znaleźć. Następnie zadaliśmy sobie pytanie: czego potrzebuje szwajcarska nauka i technologia? Potem poprosiliśmy polityków o pomoc i akceptację, a na zakończenie zwróciliśmy się do administracji o radę, jak zorganizować naszą pracę. Polityczna strategia i doświadczenie administracyjne są ważne, a my, uczeni, nigdy nie powinniśmy zapominać, że jesteśmy amatorami w tych dziedzinach i potrzebujemy pomocy. Zawsze powinniśmy mieć świadomość, że Bóg nie dał nam bezwarunkowego prawa do pieniędzy podatników”.

„Niektóre krajowe ciała finansujące badania w Europie są naprawdę wspaniałe, ale inne jednak mniej. To samo odnosi się do naszego systemu uniwersyteckiego, z tym że położyłbym nacisk na słowo »mniej«. Próby zmodernizowania tych wszystkich systemów w sposób skoordynowany są beznadziejne. Możemy jednak proponować badaczom europejskim otrzymywanie funduszy ze skutecznie działającej europejskiej agencji, na której decyzje wpływy lokalne w dużej mierze będą nieistotne. Konieczność współzawodnictwa może wtedy stać się przekonującym bodźcem dla ciał narodowych, aby stały się lepsze”.

„Badania podstawowe mają długie i niepewne ramy czasowe oraz obejmują bardzo szerokie spektrum, badania stosowane zwykle mają krótsze ramy czasowe i są znacznie lepiej zdefiniowane. Oba rodzaje badań są równie ważne, ale dzisiejsza krótkowzroczność powoduje, że długoterminowe badania podstawowe są szczególnie zagrożone. Odnosi się to głównie do placówek uniwersyteckich, ponieważ są to te nieliczne miejsca, gdzie ludzie wciąż myślą w kategoriach, co się zdarzy za 50 lub 100 lat”.

„Całe swoje dorosłe życie spędziłem prowadząc badania podstawowe, a przez trzy ostatnie lata pomagałem ukształtować szwajcarską politykę naukową. W czasie lat pracy badawczej przekonałem się, że nauka nie jest ani logiczna, ani planowalna czy pedantyczna, ale jest intuicyjna, często chaotyczna i pełna niespodzianek, tak jak dobre dzieło sztuki. W czasie lat uprawiania polityki naukowej przekonałem się, że polityka naukowa jest efektywna, jeśli jest prosta. Przekonałem się też, że nauka i sztuka są jak delikatne kwiaty: szybko więdną, kiedy manipulujemy przy nich za dużo”.

*Nauka*, nr 3 (2003)

B. W.

## ■ Obserwatorium astronomiczne Akademii Świętokrzyskiej

Świętokrzyskie środowisko akademickie wzbogaciło się niedawno o nowy obiekt o charakterze naukowo-dydaktycznym – otwarto Obserwatorium Astronomiczne i Planetarium Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach, jedyny tego typu ośrodek w Polsce przy uczelni wyższej. W czasie IV Kieleckiego Festiwalu Nauki zorganizowane w obserwatorium pokazy cieszyły się olbrzymim zainteresowaniem publiczności.

Zlokalizowana na najwyższej kondygnacji budynku Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii, widoczna z daleka kopuła obserwatorium stała się nie tylko wizytówką samego Instytutu Fizyki (obserwatorium pozostaje w strukturze Zakładu Astrofizyki), ale także symbolicznym, widocznym znakiem uniwersyteckich aspiracji tej największej w rejonie świętokrzyskim uczelni, gdzie studiuje obecnie ponad 25 tys. studentów.



Nowy teleskop

W ciągu niecałego roku wybudowano pomieszczenie i kopułę obserwatorium oraz zakupiono z dotacji KBN największy teleskop instalowany w Polsce w ciągu ostatnich kilkunastu lat. Dzięki dużej średnicy obiektywu (356 mm) można zobaczyć obiekty ok. 5 tys. razy słabsze od najślabszych widocznych nieuzbrojonym okiem (teleskop z układem optycznym Schmidta–Cassegraina ma

zdolność rozdzielczą 0,33", siłę światła  $f/11$  oraz zasięg wizualny 15,3 mag).

Jednym z urządzeń stanowiących podstawowe wyposażenie sterowanego komputerowo teleskopu jest czuła kamera CCD, umożliwiająca rejestrację obiektów o jasnościach kilkaset tysięcy razy mniejszych od najłagodniejszych obserwowanych gołym okiem. Dokładność obserwacji pozycyjnych planetoid i komet zwiększa zastosowanie optyki aktywnej. Komputerowe opracowanie obrazów umożliwia dokładne wyznaczenie jasności i położenia obserwowanych ciał.

Obserwatorium daje możliwość uzyskania wyników o dużej wartości naukowej, pozwalając sięgnąć kieleckim naukowcom do obiektów, które jeszcze nie tak dawno określały granice poznania naszego Wszechświata przez największe teleskopy. Wykorzystując kamerę CCD i spektrograf z nią współpracujący, można wyznaczać skład chemiczny obiektów astronomicznych, ich temperaturę oraz zmiany widma w gwiazdach zmiennych. Obserwatorium, jak to jest w zwyczaju placówek astronomicznych, będzie ściśle współpracować z innymi obserwatoriami w świecie, szczególnie w trakcie organizowanych kampanii obserwacyjnych poszczególnych obiektów.

Uzupełnieniem Obserwatorium Astronomicznego będzie planetarium służące do pokazów sztucznego nieba. W trakcie prowadzonych tutaj seansów będzie można nauczać rozpoznawania gwiazd i gwiazdozbiorów, śledzić ruch sfery niebieskiej w różnych porach roku i różnych miejscach kuli ziemskiej, pokazywać pozorny ruch na sferze niebieskiej Słońca, Księżyca oraz planet, z ich pętlami w opozycji. Dzięki aparaturze planetarium będzie można prowadzić seanse monotematyczne przedstawiające np. powstawanie układów planetarnych, ewolucję gwiazd czy Wszechświata.

Obecność nowej placówki w środowisku kieleckim przejawia się nie tylko w badaniach naukowych i dydaktyce. Na otwarciu zorganizowanej w pomieszczeniach Planetarium wystawy obrazów Jana Walaska o tematyce kosmologicznej zadeklarowano wcielenie w życie idei wykorzystania pomieszczeń nowego obserwatorium jako miejsca spotkań nauki i sztuki. Wystawa dostępna jest również w Internecie ([www.pu.kielce.pl/kfn/wystawa/](http://www.pu.kielce.pl/kfn/wystawa/)).

Janusz Krywult, Małgorzata Wysocka-Kunisz

## ■ Biuletyn Polskiego Towarzystwa Promieniowania Synchronotronowego

Polskie Towarzystwo Promieniowania Synchronotronowego (PTPS), które powstało w 1991 r., rozpoczęło w 2002 r. wydawanie swojego biuletynu: *Synchrotron Radiation in Natural Science*. Jest to czasopismo ukazujące się nieregularnie – wychodzi raz lub 2 razy w roku. Redaktorem jest Wojciech Paszkowicz (IF PAN).

W planie wydawniczym jest podawanie informacji o działalności PTPS, sprawozdań z konferencji związanych tematycznie z promieniowaniem synchronotrono-

wym, streszczeń referatów konferencyjnych oraz zapowiedzi przyszłych konferencji.

B. W.

## ■ Bertram Brockhouse (1918–2003)

13 października 2003 r. zmarł w Hamilton (Ontario, Kanada) Bertram Brockhouse, pionier badań materii skondensowanej metodą rozpraszania neutronów.

Brockhouse urodził się 15 lipca 1918 r. w Lethbridge (Alberta, Kanada). W czasie II wojny światowej służył w Królewskiej Marynarce Kanadyjskiej jako technik elektronik. Po wojnie studiował fizykę na Uniwersytecie Kolumbii Brytyjskiej w Vancouverze i na Uniwersytecie w Toronto, gdzie w 1950 r. uzyskał stopień doktora na podstawie pracy o wpływie naprężeń i temperatury na własności magnetyczne ferromagnetyków.

Od 1962 r. pracował na Uniwersytecie McMaster (Hamilton, Ontario). Prace nad rozpraszaniem neutronów prowadził głównie w Chalk River – kanadyjskim ośrodku reaktorowym. Wynałazł i zbudował trójosiowy spektrometr neutronów, za pomocą którego badał zmiany energii powolnych neutronów wywołane rozpraszaniem w ciałach stałych. Obecnie metodę tę stosuje się do badań nadprzewodników, własności sprężystych polimerów, struktury wirusów.

Za pionierskie badania rozpraszania neutronów otrzymał w 1994 r. (wspólnie z Cliffordem G. Shullem) Nagrodę Nobla z fizyki (był jak dotąd jedynym rodowitym Kanadyjczykiem – laureatem tej nagrody z fizyki).

*Globe and Mail*, 17.10.2003

B. W.

## ■ Sprostowania

W notatce do Kroniki *PF* (zesz. 3/2003) błędnie podałem miejsce urodzenia Christiana Dopplera – urodził się on w Salzburgu, a nie w Grazu.

W notatce „150 rocznica urodzin Lorentza” (Kronika 4/2003) zdanie „Lorentz przyjął dla elektronu w atomie moment pędu o wartości  $m\hbar$  będącej wielokrotnością stałej Plancka  $\hbar = h/2\pi$  z całkowitą liczbą magnetyczną  $m$ ” przed rokiem 1900 jest ahistoryczne, jak na to słusznie zwrócił uwagę dr hab. Andrzej Zięba z Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH.

Wyprowadzenie na gruncie mechaniki klasycznej wzoru na normalny tryplet Zeemana podaje Szczepan Szczeniowski w podręczniku *Fizyka doświadczalna, cz. V, Fizyka atomowa* (PWN, 967) w paragrafie 14, na str. 75. Zresztą wyrażenie na rozszczepienie częstości światła w polu magnetycznym nie zawiera stałej Plancka  $\hbar$ . W swoim wykładzie noblowskim w 1902 r. H.A. Lorentz podkreślił, iż rozszczepienie Zeemana zależy od stosunku  $e/m_e$  ładunku do masy lekkiej cząstki elektrycznie naładowanej i wartość tego stosunku zgodna jest z wartością mierzoną przez J.J. Thomsona w odchyleniu promieni katodowych pod wpływem pola magnetycznego.

Maciej Suffczyński

## 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 przystępne 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 *Postęпах 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

- Laurent Lemire, *Maria Skłodowska-Curie*, z jęz. francuskiego tłum. Grażyna i Jacek Schirmerowie; Świat Książki, Warszawa 2003, s. 176, cena 29,90 zł.
- Tadeusz Musiałowicz, *Encyklopedyczny słownik angielskich terminów i definicji z dziedziny ochrony radiologicznej, wybranych terminów i definicji z dziedzin pokrewnych oraz ich odpowiedniki przyjęte w Polsce*, CELOR, Warszawa 2003 (313 terminów i definicji).
- W. Salejda, M.H. Tyc, M. Just, *Algebraiczne metody rozwiązywania równania Schrödingera*, PWN, Warszawa 2002, s. 188.

## 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 – Cząstki Modelu Standardowego: co nowego?
- Raymond Davis Jr. – Pół wieku z neutrinami słonecznymi
- Masatoshi Koshiba – Narodziny astrofizyki neutrin

## WKRÓTCE W POSTĘPACH

- *Natura i barwy świata z fizyką w tle – rozmowa z Andrzejem Hryniewiczem*
- *Tomasz Kardaś i Szymon Kardaś – Apostoł światła (o Albercie Abrahamie Michelsonie)*
- *Granty KBN z fizyki: XXIV i XXV konkurs*
- *Wspomnienia o Krzysztofie Rybickim, Janinie Świętosławskiej i Andrzeju Zielińskim*
- *Teksty wybranych wykładów z XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich w Gdańsku w 2003 roku, w tym wykłady laureatów Medalu Smoluchowskiego: Andrzeja Białasa i Stefana Pokorskiego*



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)