

# Foton 83

ZIMA  
2003

Pismo dla nauczycieli fizyki i przyrody oraz ich uczniów

INSTYTUT FIZYKI X UNIwersYTETU JAGIELLOŃSKIEGO  
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



Fizyka na Scenie 2003  
Nobliści 2003  
Jak zamarza woda?  
Doświadczenie pod choinkę

PHYSICS  
*on Stage* 3



Hendrik Antoon Lorentz jako chłopiec

Na okładce wykorzystano zdjęcia Z.G-M



## Fizyka na scenie zadomawia się w szkołach

Wydaje się, że „Fizyka na Scenie” znalazła sobie już trwałe i uznane miejsce w nauczaniu fizyki. Nie tylko jako zalecana metoda nauczania, ale również w praktyce. W Polsce nauczyciele i uczniowie podjęli inicjatywę i coraz częściej mamy do czynienia nie tylko z jednorazowymi akcjami, lecz ze stałymi imprezami wpisanymi w kalendarz szkolny.

Są to wystawy, konkursy, pokazy dla uczniów innych klas i rodziców, przedstawienia teatralne, obozy naukowe. Fizyka coraz powszechniej wychodzi ze sztywnych ram klasy. Odzew na trzecie wydanie „Fizyki na Scenie” był bardzo szeroki. Pokazy w Poznaniu i finał w czasie Zjazdu Fizyków w Gdańsku pokazały skok nie tylko ilościowy, lecz i jakościowy. Jury w Gdańsku miało problem z wyborem najlepszych pokazów i przedstawień. Wszystkie były interesujące i doskonale przygotowane, nawet lepiej od niektórych pokazywanych w Holandii na międzynarodowym festiwalu „Fizyki na Scenie”. W Holandii polska ekipa była widoczna – pozytywnie. Zdobyliśmy też wyróżnienie (szerzej o tym w sprawozdaniu z Holandii).

Festiwal „Fizyka na Scenie” to nie tylko okazja do popisu i konkursów wielkich i małych „show”, to także, a może przede wszystkim, okazja do pokazania demonstracji i doświadczeń z fizyki, użytecznych również na lekcjach w szkole. Inwencja nauczycieli nie ma granic. W tych zupełnie najprostszycy, „z niczego”, celują bracia Czesi. W dzisiejszych czasach nie sposób tłumaczyć braku eksperymentowania w szkołach niedostatkami pieniędzy, można bowiem wykonywać świetne doświadczenia przy minimalnych nakładach. Braku czasu jednak niczym nie można zastąpić.

Organizowane przez Państwa imprezy są bardzo ważne, pozwolą przedstawić rodzicom rolę fizyki w wykształceniu ich dzieci, a uczniów zachęcić do nauki. Jednak twarda rzeczywistość przywołuje do tzw. normalnej nauki w klasach, do pracy. Proszę zwrócić uwagę na wypowiedź noblisty Witalija Ginzburga na ten temat.

Zachęcamy ambitnych Państwa do skorzystania z naszego kursu *Fizyka i komputery* – tego nigdzie nie znajdziecie. Tym razem mamy ambitniejsze zadanie dla dociekliwych uczniów. Kącik zadań zawiera propozycje „rodzinne”. Zachęcajcie do nich swoich uczniów.

*Życzymy Wesołych Świąt i Szczęśliwego Nowego Roku*

Redakcja



## Contents

Editorial: physics on stage – a new way of teaching physics <i>Zofia Goląb-Meyer</i> .....	1
Interesting discoveries, anecdotes – a short history of physics in Cracow <i>Stanisław Wróbel, Adriana Mikulko</i> .....	4
Hendrik Antoon Lorentz, precocious child <i>Zofia Goląb-Meyer, Theo Ruijgrok</i> .....	15
Notes from Maria Curie-Skłodowska’s physics lessons written by Isabelle Chavanne – internauts comments .....	18
Peculiarities of water freezing <i>Hubert Harańczyk</i> .....	23
Roulette for physicists <i>Jerzy Karczmareczuk</i> .....	30
Nobel Prize in Physics 2003 <i>Józef Spalek</i> .....	39
Vitalij Ginzburg’s recollection of his school years .....	42
A Physicist – Nobel Prize Winner in Medicine 2003 <i>Barbara Blicharska</i> .....	46
„Physics on Stage 3” festival, Noordwijk 2003 <i>Zofia Goląb-Meyer</i> .....	49
New Year Eve physics experiments <i>Anna Okoniewska, Grzegorz Karwasz</i> .....	55
Problems: The International Young Physicists Tournament 2004.....	56
Problems <i>Ślawomir Brzezowski</i> .....	58
Sky on holidays <i>Lucyna Gut</i> .....	61
„Physics festival in my school” <i>Beata Legierko</i> .....	64
Another approach to revision lessons <i>Urszula Mięso</i> .....	67
What to read.....	69
Competition. „Physics and Photography” – II <sup>nd</sup> edition .....	70
„Young Lion Competition”.....	71
Reading in English.....	72
Erratum.....	72
Physics in the Internet. Magnetic levitation <i>Adam Starnawski</i> .....	73
Communication. GIREP 2004 .....	74
IV <sup>th</sup> Competition for Demos in Physics of Polish Physical Society, Cracow 2004.....	75
Heisenberg and Bohr on stage. About „Kopenhaga” of Michael Frayn .....	76
Book as Christmas gift.....	77
Editorial News .....	78
Communications.....	79



## Spis treści

Fizyka na scenie zadomawia się w szkołach <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Ciekawe odkrycia, anegdoty – krótka historia fizyki w Krakowie <i>Stanisław Wróbel, Adriana Mikulko</i> .....	4
Hendrik Antoon Lorentz, cudowne dziecko <i>Zofia Gołąb-Meyer, Theo Ruijgrok</i> .....	15
O lekcjach fizyki Marii Skłodowskiej-Curie, spisanych przez Isabelle Chavanne w 1907 roku.....	18
Rozważania o dwóji z fizyki, czyli jak zamarza woda <i>Hubert Harańczyk</i> .....	23
Ruletka dla fizyka <i>Jerzy Karczmarczyk</i> .....	30
Nagroda Nobla z fizyki 2003 <i>Józef Spalek</i> .....	39
Witalij Ginzburg o swoich latach szkolnych.....	42
Fizyk laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie medycyny w 2003 roku <i>Barbara Blicharska</i> .....	46
Festiwal „Fizyka na Scenie 3”, Noordwijk, 8–15 listopada <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	49
Kącik doświadczalny. Doświadczenie pod choinkę <i>Anna Okoniewska, Grzegorz Karwasz</i> .....	55
Zadania Turnieju Młodych Fizyków 2004.....	56
Kącik zadań <i>Sławomir Brzezowski</i> .....	58
Niebo na wakacjach <i>Lucyna Gut</i> .....	61
„Radość poznania” <i>Beata Legierko</i> .....	64
Lekcja utrwalająco-powtórzeniowa – inaczej <i>Urszula Mięso</i> .....	67
Co czytać.....	69
Konkurs. Ogólnopolski konkurs fizyczno-fotograficzny – II edycja.....	70
„Lwiątko” – polska edycja konkursu.....	71
Czytamy po angielsku.....	72
Errata.....	72
Fizyka w Internecie. Lewitacja magnetyczna <i>Adam Starnawski</i> .....	73
GIREP 2004.....	74
Konkurs. IV Ogólnopolski Konkurs na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki, Kraków 2004.....	75
Komunikat. Teatr Wybrzeże – Teatr dla ludzi. „Kopenhaga” – Michael Frayn.....	76
Książka pod choinkę.....	77
Komunikaty Redakcji.....	78
Komunikaty.....	79



## Ciekawe odkrycia, anegdoty – krótka historia fizyki w Krakowie

Wykład typu „Fizyka na Scenie”, wygłoszony w dniu 14 V 2003 roku  
w Instytucie Fizyki UJ dla uczniów gimnazjów i liceów

*Stanisław Wróbel, Adriana Mikulko*

*Instytut Fizyki UJ*

### 1. Początki fizyki w Akademii Krakowskiej

Uniwersytet Jagielloński został założony w 1364 roku przez króla Kazimierza Wielkiego i nazywał się wówczas Akademią Krakowską. Z powodów finansowych początki Akademii Krakowskiej były bardzo trudne. W roku 1400 została ona odnowiona za sprawą Królowej Jadwigi, która przekazała swoje kosztowności na rzecz podupadłej Wszechnicy. Akademia Krakowska posiadała wówczas cztery Wydziały: Sztuk Wyzwolonych (Filozoficzny), Teologiczny, Prawa i Lekarski.

Rodzi się pytanie – od kiedy w Akademii Krakowskiej nauczano fizyki? Fizyki uczono od jej zarania, od kiedy nauczano medycyny i filozofii. W pierwszym okresie działalności Akademii Krakowskiej fizyka wchodziła w skład filozofii przyrody. Nie ulega wątpliwości, że sam Mikołaj Kopernik był znawcą fizyki, zwłaszcza mechaniki. Prof. B. Średniawa pisze [1]: „Epokowe dzieło Kopernika: *De revolutionibus orbium coelestium (O obrotach ciał niebieskich)*, które ukazało się w 1543 roku, należące formalnie do astronomii, miało zasadnicze znaczenie dla rozwoju idei fizycznych, zwłaszcza dla formułowania podstaw mechaniki”.



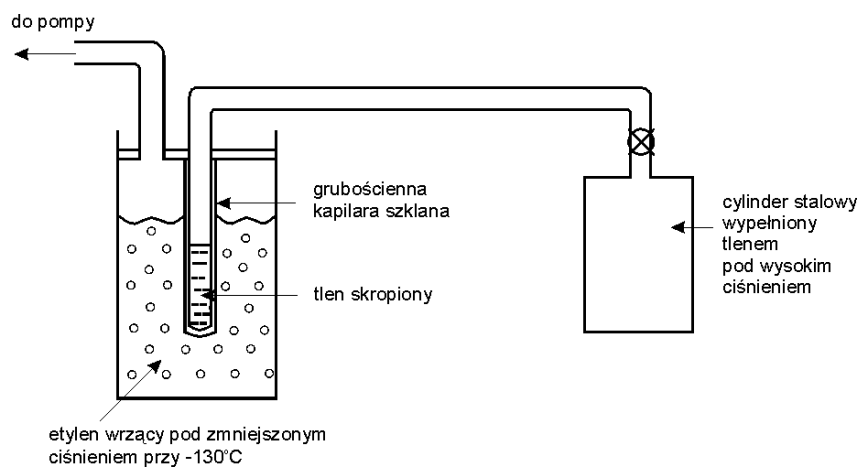
Mikołaj Kopernik (1473–1543)

Mikołaj Kopernik był twórcą teorii heliocentrycznej, która głosiła, iż Ziemia obraca się wokół własnej osi, wraz z innymi planetami również wokół Słońca po orbitach kołowych. Należy tutaj nadmienić, że wysuwając taką tezę, Kopernik wykazał dużą odwagę, gdyż na przełomie XV i XVI wieku, w dobie panowania Kościoła i Inkwizycji, nie było rozsądnym podważanie słuszności systemu Ptolemeusza, mając do dyspozycji skromne narzędzia obserwacyjne. Jak zauważa Andrzej Trautman [2]: „Te cechy działalności Kopernika świadczą nie tylko o nim samym, ale także o klimacie i poziomie naukowym Akademii Krakowskiej, w której studiował on w latach 1491–1495 i gdzie prawdopodobnie po raz pierwszy sprostował wady układu geocentrycznego”.

W XVIII wieku, a dokładniej w 1782 roku, utworzono w Akademii Krakowskiej katedrę fizyki, której kierownikiem został ks. Andrzej Trzeciński. Poziom uprawianej wówczas w Akademii Krakowskiej fizyki nie był wysoki, a sam kierownik katedry fizyki popadał w liczne konflikty. Pozostawił jednak po sobie dobrze wyposażoną bibliotekę. Dopiero w drugiej połowie XIX wieku Uniwersytet Jagielloński (tak brzmi oficjalna nazwa naszej uczelni od 1810 roku) doczekał się nowoczesnej katedry fizyki, zorganizowanej przez S.L. Kuczyńskiego.

## 2. Skroplenie składników powietrza

Wielki sukces krakowska fizyka odnotowała w 1883 roku, kiedy to znakomity fizyk Zygmunt Florenty Wróblewski i równie świetny chemik Karol Olszewski skroplili, tu, w Krakowie, składniki powietrza – najpierw tlen (5 kwietnia), a później azot (13 kwietnia 1883 r.).



Schemat aparatury Wróblewskiego i Olszewskiego

Rysunek na poprzedniej stronie przedstawia schemat aparatury użytej przez Wróblewskiego i Olszewskiego do skroplenia składników powietrza. W 1882 roku francuski fizyk L. P. Cailletet osiągnął temperaturę  $-105^{\circ}\text{C}$  w kapilarze otoczonej wrzącym etylenem. Wróblewski i Olszewski przebudowali aparaturę Cailleteta. Znacznie obniżyli ciśnienie nad parującym etylenem (do  $1/30$  atm), co pozwoliło na uzyskanie temperatury  $-130^{\circ}\text{C}$ , a więc niższej od temperatury krytycznej tlenu (ok.  $-119^{\circ}\text{C}$ ). Tym samym krakowscy naukowcy wygrali wyścig z czasem z Francuzami. Było wiele niedomówień w tej sprawie [3,4,5] ale fakt pozostaje faktem, iż Wróblewski i Olszewski jako pierwsi widzieli tlen i azot w stanie ciekłym, z charakterystycznym dla tego stanu meniskiem. Skroplenie dwóch podstawowych składników powietrza zrobiło ogromne wrażenie w ówczesnym świecie naukowym. Sprawa skroplenia tzw. trwałych gazów miała olbrzymie znaczenie dla potwierdzenia budowanej wówczas teorii kinetyczno-molekularnej materii.

Wróblewski i Olszewski otrzymali listy gratulacyjne od największych współczesnych im fizyków, np. od J.D. Van der Waalsa, H. Helmholtza, J. Stefana.



Zygmunt Florenty Wróblewski  
(1845–1888)



Karol Stanisław Olszewski  
(1846–1915)

Fragment listu Van der Waalsa (1837–1923) do Wróblewskiego:

„Panie,

Mam zaszczyt podziękować Panu za przesłanie mi dwóch broszur, które przeczytałem z żywym zainteresowaniem i które umocniły we mnie przekonanie o wielkim znaczeniu Pańskich osiągnięć. Pańska odpowiedź Panu Jamin jest, moim zdaniem, całkowicie usprawiedliwiona. Sądzę, jak i Pan, że może Pan oczekiwać ze spokojem i pewnością sądu opinii świata naukowego”.

Wybitny fizyk H. Helmholtz 25 kwietnia 1883 r. pisał do Wróblewskiego:

„Składam gratulacje z powodu udanych doświadczeń, tudzież z powodu zastosowania szczęśliwej metody w ich wykonaniu. Dziś otrzymałem Pańską notkę z «Anzeiger» Wiedeńskiej Akademii, z niej dopiero widzę, o co właściwie chodzi. Pański telegram, za który składam dodatkowo podziękowanie, był zbyt krótki”.



Po upływie 120 lat od tego wielkiego wydarzenia demonstracje z ciekłym azotem i tlenem wciąż są spektakularne i budzą ciekawość uczniów.



Fot. 1. Marek Gołąb i Agnieszka Król-Otwinowska pokazują, że ogórek zamrożony w ciekłym azocie może spełniać rolę młotka

Jeśli ciekły azot wrze, to temperatura zawierającego go naczynia obniża się. Na jego powierzchni skraplają się składniki powietrza: najpierw tlen, co możemy sprawdzić...



Fot. 2. Demonstracja skroplenia tlenu na ściankach stożkowatego naczynia, widocznego na górnym zdjęciu, wypełnionego parującym azotem. W obecności tlenu żarzące się drewnisko zaczyna płonąć

W pięć lat po skropleniu składników powietrza (w 1888 roku) umiera tragicznie Z.F. Wróblewski. Poniżej przedstawiony jest skrócony opis tego wydarzenia na podstawie szkicu biograficznego M. Kucharskiego.

25 marca 1888 r. późną nocą Wróblewski uległ wypadkowi, pracując nad publikacją przy świetle lampy naftowej. Jest kilka wersji tego tragicznego wydarzenia. Pewne jest, że Wróblewski zdołał o własnych siłach wybiec na podwórko Collegium Physicum, gdzie dwaj studenci ugasili swoimi płaszczami jego płonące ubranie. Poparzenia były bardzo rozległe i mimo najtroskliwszej opieki lekarskiej Wróblewski umiera 16 kwietnia 1888 r. o godz. 7 rano. Z powodu śmierci Wróblewskiego umieszczono czarne flagi na gmachu Akademii Umiejętności i na wszystkich budynkach uniwersyteckich. Jego zwłoki przybrano w togę profesorską i ułożono w sali wykładowej ówczesnego Collegium Physicum przy ul. św. Anny. Uroczysty pogrzeb odbył się 19 kwietnia 1888 r. Mowę pożegnalną dr. J. Majera, prezesa Akademii Umiejętności, któremu Wróblewski wiele zawdzięczał, kończyło zapewnienie: „że imię Twoje nie zginie wraz z Tobą, bo je zapisałeś w naszych sercach i w dziejach nauki”. Wróblewski spoczął na cmentarzu Rakowickim, a jego grób kryje płyta granitowa z napisem: „Zygmunt Wróblewski, profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego, ur. w Grodnie 28.X.1845, zm. w Krakowie 16.IV.1888 – Cierpiał za Ojczyznę – Zginął dla nauki”.

### **3. Maria Skłodowska w Krakowie**

Ciekawe wydarzenie – z punktu widzenia historii fizyki – miało miejsce w Krakowie latem 1894 roku. Maria Skłodowska po uzyskaniu stopnia licencjata z fizyki i matematyki na Sorbonie starała się o asystenturę u samego prof. Augusta Witkowskiego [6,7]. Kulisy tej sprawy przedstawione są w oddzielnym artykule (zob. *Foton* 82, Jesień 2003, str. 4–16).

### **4. Marian Smoluchowski w Krakowie**

Po śmierci Augusta Witkowskiego w 1913 r. – zgodnie z jego życzeniem – Rada Wydziału Filozoficznego UJ (fot. 3) zaproponowała Smoluchowskiemu objęcie Katedry Fizyki Doświadczalnej i Zakładu Fizyki UJ. M. Smoluchowski uważany jest za największego fizyka polskiego, będącego zarówno doskonałym teoretykiem, jak również autorem kilku świetnych prac doświadczalnych. W naszym krótkim wykładzie nie możemy przedstawić wszystkich osiągnięć M. Smoluchowskiego. W literaturze naukowej są dwa ważne równania, których autorem lub współautorem jest M. Smoluchowski:

- równanie Einsteina-Smoluchowskiego, opisujące ruchy brownowskie,
- równanie Smoluchowskiego, opisujące dyfuzję rotacyjną cząsteczek.



Fot. 3. Rada Wydziału Filozoficznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w 1900 roku. Łatwo można zidentyfikować na zdjęciu 3 osoby: August Witkowski – (trzeci rząd, drugi od lewej) fizyk, rektor Uniwersytetu w latach 1910–1911; Kazimierz Żorawski – (pierwszy rząd, siedzi jako trzeci od lewej) matematyk i fizyk; Murcy Rudzki – (ostatni rząd, szósty od lewej) astronom



Marian Smoluchowski (1872–1917)

Co to są ruchy Browna? Można to objaśnić na przykładzie kulek zderzających się przypadkowo. Tor wyróżnionej przez nas kulki jest trudny do przewidzenia. Porusza się ona, pod wpływem zderzeń ze swoimi sąsiadami, ruchem przypadkowym. W cieczech takich kulek (atomów) mamy  $10^{21}/\text{m}^3$ . Ich ciągłe zderzenia powodują, że dopiero po pewnym czasie docierają do nas atomy (czy cząsteczki), które zostały wprowadzone do powietrza, mimo że ich chwilowa prędkość jest rzędu 100 m/s.

Atom znaczy po grecku niepodzielny. M. Smoluchowski potwierdzał w swoich badaniach atomistyczną budowę cieczy i gazów.

Teoria fluktuacji Smoluchowskiego wyjaśnia – między innymi – zjawisko rozpraszania światła na cząstkach roztworu wodnego (fot. 5).



Fot. 5. Rozpraszanie światła białego przez roztwór wodny. Efekt zachodzącego słońca

##### **5. Mieczysław Jeżewski i Marian Mięśowicz odkrywają nowe właściwości ciekłych kryształów**

List [6] Mieczysława Jeżewskiego do Marii Skłodowskiej-Curie z 11 października 1923 roku:

„Szanowna Pani,

Bardzo żałuję, że mój wyjazd do Paryża, aby pracować pod kierunkiem Szanownej Pani, nie mógł dojść do skutku. Pani Dłuska pisała do mnie, iż należałoby na jesieni wyjechać. Odpowiedziałem odmownie. Miałem przeszkody, mianowicie habilitację, z którą ze względu na liczne formalności nie mógłbym skończyć przed 1 grudnia. Także drukuję obecnie dwie prace, czego muszę dopilnować, wreszcie ze względu na brak pewności co do mojego wyjazdu zgodziłem się jeszcze przed wakacjami objąć w uniwersytecie niektóre wykłady, którymi jestem do pewnego stopnia związany. Wszystko to jednak nie są przeszkody nie do pokonania przy dobrej woli. Lecz przede wszystkim byłem nieco dotknięty listem pani Dłuskiej. Mianowicie napisała do mnie w tym sensie, iż stypendium na mój wyjazd dostanę, lecz jest ono bardzo małe i dlatego pyta się

mnie, czy się zdecyduję na wyjazd, czy nie, bo jeżeli nie, to jest już inny kandydat na moje miejsce.

Myślę, iż Szanowna Pani nie będzie mieć mi za złe tej mojej decyzji. Największa to dla mnie zresztą strata, iż nie będę mógł pracować pod Jej kierunkiem.

Proszę przyjąć wyrazy czci i poważania  
M. Jeżewski”

Te dwie prace, o których wspomina M. Jeżewski, dotyczą anizotropii dielektrycznej ciekłych kryształów. M. Jeżewski, tu, w Krakowie, na początku lat dwudziestych ubiegłego wieku odkrył, że ciekłe kryształy nematyczne charakteryzują dwie stałe dielektryczne. Podobnie wykazują one dwa współczynniki załamania. Mówi się, że ciekłe kryształy wykazują anizotropię dielektryczną i optyczną.



Mieczysław Jeżewski  
(1890–1971)



Marian Mięśowicz  
(1907–1992)

Fizykę ciekłych kryształów zapoczątkował w Krakowie M. Jeżewski [9,10,11]. Potem dołączył do niego Marian Mięśowicz, który badał wspólnie z Jeżewskim anizotropię przewodnictwa. W latach 30. M. Mięśowicz odkrył anizotropię lepkości ciekłych kryształów nematycznych i zdefiniował trzy współczynniki lepkości, znane dziś jako lepkości Mięśowicza [9].

Co to jest lepkość? Zaglądnijmy do ostatniego wydania podręcznika fizyki, napisanego przez Augusta Witkowskiego i Konstantego Zakrzewskiego w roku 1948. Lepkość to jest rodzaj siły tarcia. Wyobraźmy sobie barkę na wodzie. Aby mogła ona płynąć w danym kierunku, trzeba przyłożyć pewną siłę  $F = \eta \frac{v}{l} S$ , gdzie  $v$  jest prędkością barki, a  $l$  – grubością warstwy wody pomiędzy barką a dnem. Wielkość tej siły jest proporcjonalna do powierzchni styku barki z wodą  $S$  oraz do tzw. gradientu prędkości ( $v/l$ ). Współczynnik proporcjonalności  $\eta$  nazywamy lepkością albo współczynnikiem lepkości. M. Mięśowicz odkrył w 1934 roku, że ciekły kryształ nematyczny ma trzy współczynniki lepkości. Prof. K. Zakrzewski z trudem mu w ten wynik uwierzył.

### 6. Początki fizyki jądrowej w Krakowie

W roku 1935. M. Mięśowicz udał się do holenderskiego fizyka Ornsteina, który był znany z badań nad ciekłymi kryształami. Ornstein zmienił w międzyczasie swą tematykę badań na promieniowanie kosmiczne. Przybyłemu na staż M. Mięśowiczowi wyjaśnił, że ciekłe kryształy są już dobrze zbadane i mało interesujące [10] w porównaniu z fizyką jądrową. Prof. Mięśowicz zajął się więc nową tematyką i potem zaszczerpił ją w Krakowie, gdzie stworzył duży, działający do dziś zespół badawczy zajmujący się fizyką wysokich energii. Zespół ten zajmował się między innymi rejestracją cząstek docierających na Ziemię z kosmosu. Tuż przed II wojną światową grupa prof. Mięśowicza przygotowała aparaturę do rejestracji cząstek, która miała być uniesiona w wysokie warstwy atmosfery w celu zbadania widma cząstek kosmicznych. Eksperyment się jednak nie powiódł, bo balon wypełniony wodorem spłonął nad Doliną Chochołowską w Tatrach. Aparatura jednak ocalała. Prof. Mięśowicz umieszczał też swą aparaturę w kopalni soli w Wieliczce.



Henryk Niewodniczański  
(1900–1968)



Jan Weysenhoff  
(1889–1972)

Po II wojnie światowej fizykę w UJ tworzyli, przybyli z Wilna, J. Weysenhoff (znany kibic Wisły Kraków) oraz prof. H. Niewodniczański [2], którzy w trudnych czasach zrobili dla fizyki krakowskiej bardzo dużo. W 1955 roku z inicjatywy prof. H. Niewodniczańskiego powstał Instytut Fizyki Jądrowej (IFJ) w podkrakowskich Bronowicach – obecnie nosi on imię Henryka Niewodniczańskiego. W tym okresie znane było hasło rzucone przez prof. H. Niewodniczańskiego: „Budujemy cyklotron w Krakowie”. Z okazji 600-lecia UJ został wybudowany Instytut Fizyki UJ przy ul Reymonta 4. Popiersie H. Niewodniczańskiego znajduje się w największej naszej sali wykładowej, która czasami bywa za mała. Jeden z autorów (S.W.) miał przyjemność uczestniczyć w 1968 roku w proseminarium prowadzonym przez prof. H. Niewodniczańskiego i jego ucznia doc. L. Jarczyka. Prof. Niewodniczański był świetnym gawędziarzem i przed każdym seminarium opowiadał coś ciekawego. W obszernych kieszeniach jego marynarki mieściły się magnesy, dwa scyzoryki, pęki kluczy i ciekawe monety, za pomocą których losował referenta na dany dzień.

Prof. Niewodniczański wraz ze współpracownikami stworzył w Krakowie wielką szkołę fizyki doświadczalnej, do której należy wielu znanych profesorów z naszego Instytutu i z IFJ. Profesorowie M. Jeżewski i M. Mięśowicz tworzyli fizykę w Akademii Górniczo-Hutniczej. M. Mięśowicz stworzył też silną grupę w IFJ, która zajmuje się do dziś fizyką cząstek elementarnych.

Na zakończenie warto podkreślić, że osiągnięcia fizyki krakowskiej z przełomu XIX i XX wieku są imponujące jak na trudne owe czasy. Powstaje pytanie, jak ocenią naszą działalność następne pokolenia? O jakich wielkich osiągnięciach fizyków krakowskich będzie się mówić za 100 lat, na przełomie XXI i XXII wieku? Może będą to osiągnięcia w dziedzinie cząstek elementarnych. Cząstki elementarne są mniejsze od atomów, które – jak pamiętamy – w XIX wieku traktowane były, zgodnie ze znaczeniem słowa atom, jako niepodzielne. Wiek XX ugruntował przekonanie, że atom jest podzielny. Przyczyniła się do tego również nasza rodaczka Maria Skłodowska-Curie. Kończąc, chcielibyśmy wyjaśnić, że w tym krótkim artykule udało nam się zebrać tylko wybrane zagadnienia na temat fizyki w Krakowie.

W wykładzie z pokazami i dwiema scenkami wzięły udział następujące osoby: dr Marek Gołąb, mgr Agnieszka Król-Otwinowska, mgr Adriana Mikułko, dr Monika Marzec, dr Jerzy Mucha, dr Dagmara Sokołowska, prof. dr hab. Marcin Wójcik, studenci fizyki: Magda Sobula, Radosław Gomółka oraz uczniowie Gimnazjum nr 54 – Justyna Gumuła, Krzysztof Kulka i Sebastian Poręba, a także ich opiekunka dr Urszula Wróbel, którym bardzo serdecznie dziękujemy.

#### Literatura

- [1] B. Średniawa, *Historia filozofii przyrody i fizyki w Uniwersytecie Jagiellońskim*, Wydawnictwo Retro-Art, Warszawa 2001
- [2] A. Trautman, *Kopernik a współczesna fizyka i kosmologia*, „Postępy Fizyki”, tom XXIV, zeszyt 2 (1973)
- [3] M. Kucharski, *Zygmunt Florenty Wróblewski. Szkic o życiu i twórczości*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1997
- [4] A. Hrynkiewicz, A. Szytuła, *Stulecie skroplenia składników powietrza*, „Postępy Fizyki”, **36** (1), 41 (1985)
- [5] F. Koneczny, *Polskie logos a ethos*, Księgarnia św. Wojciecha, Poznań 1921
- [6] *Korespondencja polska Marii Skłodowskiej-Curie*, Opracowanie: K. Kabzińska, M.H. Malewicz, J. Piskurewicz i J. Różewicz, Instytut Historii Nauki PAN, PTCh, Warszawa 1994
- [7] Ewa Curie, *Maria Curie*, PWN, Warszawa 1983
- [8] Subrahmanyan Chandrasekhar, *Marian Smoluchowski jako twórca fizyki zjawisk stochastycznych*, „Postępy Fizyki”, **35** (6), 587 (1984)
- [9] M. Mięśowicz, J. Janik, *Makro- i mikrodynamiczne efekty w ciekłych kryształach* (W stulecie odkrycia ciekłych kryształów), „Postępy Fizyki”, **40** (5), 383 (1989)
- [10] K. Zalewski i A. Białas, *Rozmowa z Marianem Mięśowiczem*, „Postępy Fizyki”, **35** (1), 47 (1984)
- [11] A. Oleś, *Marian Mięśowicz – członek honorowy PTF*, „Postępy Fizyki”, **39** (2), 141 (1988)
- [12] *Henryk Niewodniczański*, PAU, „W służbie nauki”, nr 8, Kraków 2003



INSTITUT DU RADIUM. Paris le 7 avril 1924 463.

LABORATOIRE CURIE. 1, RUE PIERRE-CURIE, PARIS (5<sup>e</sup>). CERTIFICAT. n° 3593

**DOSAGE DE RADIUM PAR LE RAYONNEMENT T.**

**NATURE ET PROVENANCE DE L'APPAREIL.**  
Appareil à sel de Radium solide sur tube en platine marqué n° 463 longueur 2 mm  
diamètre 1,5 mm. poids 0,364 gr.

apporté par le laboratoire Radium SAR le 29 février 1924  
et rendu au .. .. le 7 avril 1924

**CONDITIONS DE MESURES.**  
Le rayonnement T de l'appareil est comparé au rayonnement T de l'Étalon du Laboratoire.  
Si l'appareil n'a pas atteint son rayonnement limite, celui-ci est déduit des mesures par le calcul.  
L'appareil qui fait l'objet de ce Certificat — avait — atteint son rayonnement limite.

**RÉSULTAT DES MESURES.**  
Le rayonnement T limite émis à l'extérieur de l'appareil est équivalent à celui de  
0,94 Milligrammes de radium élément.

**QUANTITÉ DE RADIUM CONTENUE DANS L'APPAREIL.**  
Cette quantité est évaluée en tenant compte de l'absorption du rayonnement T par la paroi  
de l'appareil, conformément à l'épaisseur de celle-ci et à son coefficient d'absorption.  
L'épaisseur indiquée par le laboratoire Radium SAR est 0,5 mm.  
La correction qui en résulte est évaluée à 6%  
du rayonnement T qui émane de la substance.  
La quantité de radium contenue dans l'appareil est donc :

**MILLIGRAMMES DE RADIUM ÉLÉMENT** 0,99  
zéro milligramme, quatre vingt dix neuf centièmes

**Milligrammes de Bromure de Radium hydraté  $\text{RaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**  1,85  
un milligramme, quatre vingt cinq centièmes

à la condition que la matière employée ne contienne pas d'autres substances radioactives  
que le radium et ses dérivés.  
La précision des mesures est suffisante pour que l'erreur ne puisse atteindre 1%  
Ce Certificat est unique et doit accompagner l'appareil pour lequel il a été délivré.

Le Directeur du Laboratoire,  
M. Curie

0-R. 070. — 1923. [31875]

Ze zbiorów Profesora Lucjana Jarczyka:  
Certyfikat próbki radu wydany przez Marię Skłodowską-Curie 7 kwietnia 1924.





## Hendrik Antoon Lorentz, cudowne dziecko

Zofia Gołąb-Meyer, IF UJ

Theo Ruijgrok, Utrecht University



18 lipca minęło 150 lat od narodzin wielkiego fizyka XIX wieku Hendrika Antoona Lorentza. Hendrik Lorentz urodził się w 1853 roku w holenderskim mieście Arnhem. Jego ojciec Gerrit Frederik Lorentz był właścicielem przedszkola. Matka Geertruida van Ginkel zmarła, kiedy Hendrik miał trzy lata. Ojciec ożenił się po raz drugi w 1862 roku. Pomimo to Hendrikowi Lorentzowi musiało zawsze brakować matki, gdyż do końca życia często odwiedzał jej grób.

Był nadzwyczaj rozwiniętym dzieckiem i równoległe ze zwykłą szkołą powszechną uczęszczał jeszcze do szkoły wieczorowej, gdzie nauczanie było mniej formalne. Jako dziewięcioletek posługiwał się już biegle tablicami logarytmicznymi. W 1866 roku, w wieku trzynastu lat, zaczął uczęszczać do nowo otwartej w Arnhem szkoły średniej, od razu do trzeciej klasy.

Jako siedemnastolatek, w 1870 roku wstąpił on na uniwersytet w Lejdzie, gdzie uzyskał w 1871 roku tytuł tzw. kandydata (odpowiednik licencjatu) w fizyce i matematyce, co dało mu prawo nauczania tych przedmiotów. Wrócił więc w 1872 roku do Arnhem, gdzie do 1878 nauczał w szkole wieczorowej. W międzyczasie, w 1875 roku, uzyskał na uniwersytecie w Lejdzie doktorat z filozofii na podstawie pracy „O odbiciu i rozproszeniu światła”. Dokonania naukowe Lorentza przedstawił w ostatniej *Fizyce w Szkole* (4/2003, str. 195) Maciej Sufczyński.

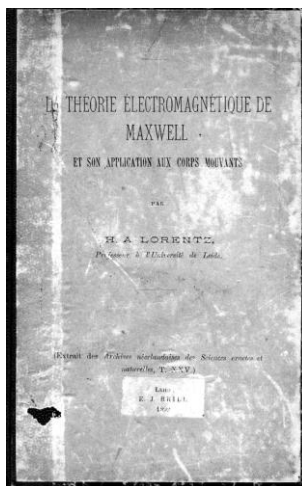
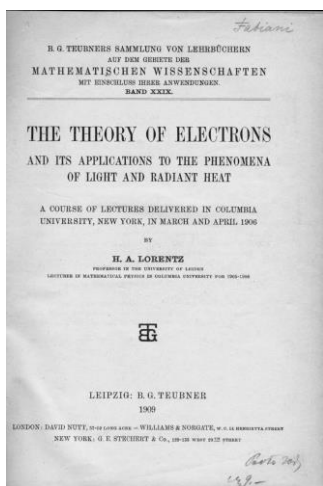
H.A. Lorentz miał talent do języków. Sam, na podstawie czytanych tekstów, odkrywał prawa gramatyki i znaczenie idiomów. Nauczyciel angielskiego wychwalał jego angielszczyznę, choć dodawał, iż zanadto przypomina ona angielszczyznę Dickensa.

Ten talent do języków pozwolił mu, jako prezydentowi kolejnych (1911, 1913, 1921, 1924 i 1927) konferencji Solveyowskich, z powodu braku oficjalnego języka tłumaczyć z niemieckiego, francuskiego, angielskiego. Na konferencjach tych Lorentz spotykał się z młodszą o czternaście lat Skłodowską-Curie.

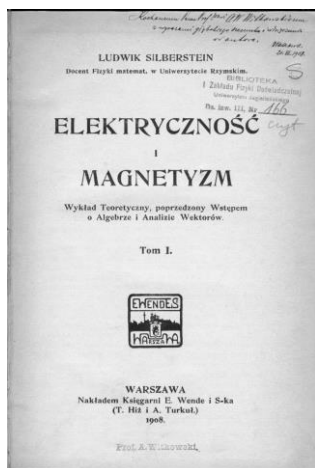
Uczniom szkoły średniej znany jest wzór na siłę Lorentza  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ , wyrażający siłę działającą na ładunek poruszający się w polu magnetycznym o indukcji magnetycznej  $\vec{B}$ . Studiujący szczególną teorię względności spotykają się z trans-

formacją Lorentza, w której to współrzędne i czas z jednego układu współrzędnych są transformowane do innego, poruszającego się względem niego z prędkością  $v$ .

Dokonania Lorentza w fizyce teoretycznej, a zwłaszcza w teorii elektromagnetyzmu są ogromne. Otrzymał on w 1902 roku, wspólnie z innym Holendrem, swoim uczniem Pieterem Zeemanem, Nagrodę Nobla.



Podręczniki autorstwa H.A. Lorentza w zbiorach biblioteki IFUJ. Angielska wersja tłumaczona jest przez Ludwika Silbersteina



Podręcznik Ludwika Silbersteina ze zbiorów biblioteki IFUJ

Podobno Lorentz był człowiekiem obdarzonym dużym wdziękiem osobistym. Nie był zasklepiiony wyłącznie w badaniach naukowych. Cechował się tym, co nazywamy obowiązkiem obywatelskim. To on skierował go w stronę fizyki technicznej. Przez osiem lat po I wojnie światowej wykonywał on pracochłonne obliczenia dotyczące budowy olbrzymiej zapory chroniącej Zuidersee od Morza Północnego.

W latach 1912–1928 był kuratorem muzeum nauki Teyler's Physics Cabinet w Haarlem. Muzeum to, założone w 1784 roku, było pierwszym muzeum nauki w Holandii.

Lorentz żony poszukał sobie w środowisku akademickim. Ożenił się bowiem z Alettą Cathariną Kayser, córką historyka sztuki, dyrektora muzeum w Amsterdamie. Spośród jego trojga dzieci, najstarsza córka Geertruida Lubarta, urodzona w 1885 roku, pod wpływem ojca zainteresowała się fizyką. Zapewne znała, przynajmniej z opowieści ojca, Marię Skłodowską-Curie. Studiowała w Leidzie, została fizyczką, profesorem fizyki teoretycznej, wykladała termodynamikę. Wyszła za mąż za znanego fizyka W.J. de Haasa.

Polski fizyk Ludwik Silberstein (ten, który w 1902 roku zorganizował pierwszą szkołę fizyki w Zakopanem, *Foton* 38, 1995) był tłumaczem na angielski wykładów Lorentza. Pokazujemy Państwu okładkę tłumaczonego przez Silbersteina podręcznika Lorentza oraz podręcznik Silbersteina *Elektryczność i magnetyzm*, wydany w Warszawie 1908–1913. W nim Silberstein podaje wzory w jawnej postaci na transformację składowych pola elektrycznego i magnetycznego towarzyszące transformacji Lorentza (M. Sufczyński, *Fizyka w Szkole*).

Hendrik Antoon Lorentz zmarł 4 lutego 1928 w Haarlem.

Informacje na podstawie książki napisanej przez córkę Lorentza, G.L. de Haas-Lorentz (ed.), pt. *H.A. Lorentz, Impressions of his life and work*, wydanej przez North-Holland Publ. Comp., Amsterdam 1957.



## O lekcjach fizyki Marii Skłodowskiej-Curie, spisanych przez Isabelle Chavanne w 1907 roku

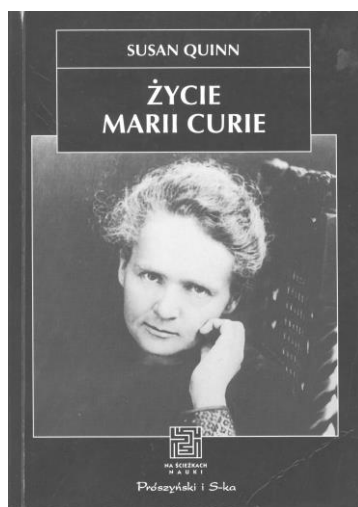
### Podstawy fizyki dla dzieci przyjaciół

*Leçons de Marie Curie recueillies par Isabelle Chavannes en 1907. Physique élémentaire pour les enfants de nos amis*, EDP Science 2003, 125 stron.

Wyszukane na stronie dyskusyjnej Internetu.

Jak wszyscy czytelnicy biografii Marii Skłodowskiej-Curie wiedzą, z zapalem przez dwa lata prowadziła ona z innymi kolegami, uczonymi, szkołę dla dzieci swoich i przyjaciół. Maria Curie prowadziła lekcje fizyki. Na lekcje te uczęszczała między innymi Irena Curie. Opisana w *Fotonie* 82 przez fizyka Adama Kleczkowskiego szkoła domowa to nic innego niż szkoła Marii Curie.

Otóż we Francji ukazały się niedawno odnalezione notatki uczestniczki tych lekcji, Isabelle Chavant. Podobno mają wkrótce wyjść w tłumaczeniu polskim. Czekamy z niecierpliwością. Zamieszczamy dla Państwa fragmenty z polecanej przez nas biografii Marii Skłodowskiej-Curie *Życie Marii Curie* Susan Quinn, Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.



### Szkola domowa Marii Skłodowskiej-Curie i jej przyjaciół

[...] W „szkółce”, którą Maria zorganizowała, kształciło się około dziesięciorga uczniów – dzieci Perrinów, Langevinów, Edouarda i Alice Chavannes, oraz Henri Moutona z Instytutu Pasteura. Przyjaciółka Marii, Alice Chavannes, której mąż był sinologiem w Collège de France, nauczyła dzieci angielskiego, niemieckiego i geografii. Henriette Perrin wykładała historię i francuski. Rzeźbiarz nazwiskiem Magrou prowadził lekcje rysunku i modelowania. Henri Mouton wykładał nauki przyrodnicze, a Paul Langevin, przyjaciel Piotra i jego sukcesor w Ecole de Physique et Chimie, uczył matematyki.

Lekcje, podobnie jak zajęcia Uniwersytetu Latającego, na który uczęszczała Maria w Warszawie, odbywały się najczęściej w domach. Jedynie fizyki i chemii uczono w laboratoriach, gdzie dzieci uczestniczyły w praktycznych doświadczeniach, co Piotr i Maria uważali za najlepszą metodę nauki. Jean Perrin uczył dzieci fizyki w swym małym laboratorium na Sorbonie, a Maria Curie prowadziła lekcje chemii w dawnym laboratorium Piotra w Ecole de Physique et Chimie.

Maria potrafiła być surowa, zwłaszcza gdy chodziło o kwestię utrzymania porządku podczas pracy w laboratorium. „Jeśli przy konstruowaniu np. stosu elektrycznego – pisała po latach Ewa – któreś z dzieci zrobi na stole nieporządek, twarz Marii aż czerwienieje z gniewu: »Nie mów mi, że sprzątniesz później! Nie wolno brudzić stołów przy doświadczeniach«<sup>1</sup>.” Mimo takiego rygoru same eksperymenty były dla dzieci czymś w rodzaju zabawy. Kiedy poznawały prawo grawitacji, maczały w atramencie i staczały z nachylonych powierzchni kuleczki z łożysk rowerowych. Uczniowie skonstruowali sami termometr i stwierdzili, że wskazuje tak samo jak „fabryczny”. Maria, która znakomicie liczyła w pamięci, ćwiczyła ze swymi uczniami tę umiejętność. Wyjaśniała, że tajemnica polega na tym, by nie liczyć zbyt szybko: „Musicie dojść do tego, żeby się nigdy nie mylić”.

Według Eugénie Feytis, studentki z Sèvres, która pomagała w opiece nad dziećmi, wszystkie one zdawały się bardzo lubić tę swoją dziwną szkołę. „Trzeba było widzieć ich radość – pisała Feytis – kiedy patrzyły na spalanie w tlenie lub cieszyły się udanymi pomiarami elektrolizy”<sup>2</sup>. Wracając z zajęć pociągami na zachodnie krańce Sceaux, dzieci nakłaniały Irenę do tłumaczenia fragmentów powieści Sienkiewicza *Quo vadis*, którą czytała po polsku. Często wysiadały w Sceaux-Ceinture na lekcje z Henriette Perrin. Innym razem jechały dalej na lekcje z madame Cha-

<sup>1</sup> Ewa Curie, *Maria Curie*, s. 248.

<sup>2</sup> Cotton, *Les Curie*, s. 78.

vannes do Fontenay-aux-Roses. Czasami zamiast lekcji odwiedzały paryskie muzea – Luwr czy Musée Carnavalet.

[...] Szkoła zorganizowana przez rodziców-naukowców przestała funkcjonować w 1909 roku, częściowo dlatego, że nakładała na nauczycieli zbyt wielkie obciążenia, a po części z powodu konieczności podjęcia przez dzieci nauki w normalnej szkole, by mogły przygotować się do egzaminu maturalnego<sup>3</sup>. Maria czasami zostawała rano w domu, by uczyć Irenę i jej koleżankę, Isabelle Chavannes, matematyki. Potem, jak wspomina Alice Chavannes, „uczennice w wesołym nastroju jadły obiad wraz ze swoją nauczycielką, a kochany dziadek, przy okazji rozmowy na temat roślin uprawianych w ogrodzie, ryby przyniesionej z targu, żaby złapanej w słoik, dawał jeden ze swych błyskotliwych wykładów z historii naturalnej, które przerosły go, starego doktora, w czasy, gdy studiował botanikę i anatomię”.

\* \* \*

Poniżej zamieszczamy spisane z forum dyskusyjnego w Internecie opinie internautów o książce zawierającej notatki Isabelle Chavannes oraz reakcje innych internautów na opis lekcji Marii Curie.

**Jacek Kubiak** pisze (11.07.2003):

Na początku lat 80. w piwnicy rodzinnego domu Remi Langevin, profesor matematyki na Uniwersytecie Burgundzkim, odnalazł kuferek zawierający stare papierzyska. Jego dziadek chciał nimi rozpalić ogień w piecu. Wnuka zaintrygowało jednak równe pismo siostry dziadka Isabelle Chavannes i bardzo starannie wykonane schematy doświadczeń. Czytając zapiski, z radością i zdziwieniem stwierdził, że odkrył skarb! Uratował przed spalaniem szczegółowy i kompletny zapis dziesięciu lekcji fizyki prowadzonych przez Marię Curie od stycznia do listopada roku 1907. Właśnie ukazał się drukiem (we Francji).

„– Oto butelka – zaczyna pani Curie.

Otwieramy ją.

– Wydaje się, że jest pusta. Co w niej jest?

– Powietrze – odpowiadają dzieci.

– W jaki sposób można się przekonać, że jednak coś w niej jest? – pyta pani Curie.

– Aby sprawdzić, czy butelka rzeczywiście zawiera powietrze, spróbujemy coś do niej włożyć, na przykład wlać wodę...”

---

<sup>3</sup>Ewa Curie, *Maria Curie*, s. 249.

Dzieci śledzą wychodzące z zanurzonej w zbiorniku butelki pęcherzyki i po raz pierwszy widzą, niewidzialne przecież, powietrze. Następnie, obserwując zmiany poziomu wody w tej samej (zanurzonej w zbiorniku) butelce, dowiadują się, że powietrze podlega ciśnieniu. Dalej – cały czas eksperymentując – poznają, czym jest próżnia, jak można ją uzyskać samemu. Dowiadują się, że powietrze ma swoją masę i że można je zważyć. Poznają, czym jest gęstość materii i jak działa prawo Archimedesesa. Dowiadują się, w jaki sposób woda dociera do kranu, dlaczego łódka pływa. W końcu same sporządzają barometr. Tak odbywają się lekcje fizyki dzisiaj w co lepszych szkołach. Takie lekcje prowadziła dla dzieci swoich i zaprzyjaźnionych rodzin, w tym dla 13-letniej wówczas Isabelle Chavannes, od stycznia 1907 r. do końca 1908 r. Maria Curie wraz z innymi wybitnymi naukowcami.

Nauczanie odbywało się według zupełnie rewolucyjnych, jak na tamte czasy, metod. Dzieci nie tylko słuchały wykładów, ale też brały czynny udział w pokazach i eksperymentach. Ówczesna tradycyjna szkoła uczyła raczej biernego opamiętywania informacji podawanych przez profesora, a nie aktywnego „sprawdzania” tego, co mówi nauczyciel. Rodzice z kręgu przyjaciół Marii Curie chcieli dać swym dzieciom to, co było nieosiągalne w ówczesnej szkole.

Z precyzyjnych zapisków 13-letniej Isabelle Chavannes mogą śmiało korzystać również współcześni nauczyciele i uczniowie. Z myślą o nich wydano we Francji ten piękny i intrygujący podręcznik-dokument sprzed prawie stu lat! Chyba warto postarać się o jego polskie tłumaczenie. Nie tylko ze względu na pamięć o Marii Skłodowskiej-Curie.

Niektóre opinie internautów:

- Rewolucyjne lekcje fizyki
- Chętnie bym to przeczytał, chociaż fizyki nie darzę sympatią
- Ja również przeczytałabym tę książkę. Moje lekcje fizyki, te ze szkoły podstawowej, liceum, a później studiów były nudne, trudne i ciągnęły się w nieskończoność, br! Nie cierpiałam fizyki, a zwłaszcza rozwiązywania różnych zadań, z których nic nie rozumiałam. Wstyd się przyznać, ale do dziś niewiele wiem z dziedziny fizyki, dlatego taką książkę pochłonęłabym jednym tchem, tak myślę...
- Myślę, że jak ktoś nic nie rozumiał i nie lubił fizyki w szkole, to po prostu dlatego, że już się taki upośledzony urodził. I nie ma się co tym garbem chwalić. Poczytanie sobie takich książek jak lekcje Skłodowskiej-Curie co najwyżej pomoże utrzymać osobiste złudzenia, że „gdyby nie ci źli nauczyciele”, to ...!

- Myślę, że jak ktoś miał marnego nauczyciela, to z jego winy mógł nie lubić prowadzonych przez niego lekcji, niezależnie od tego, czy ten uczył fizyki, matematyki, śpiewu, czy innego najbardziej porywającego przedmiotu.
- Kwestia upośledzenia ma tu znaczenie co najmniej drugorzędne. I nie ma się co takimi nauczycielami szkoła chwalić.  
PS Miałem lufy z geografii w podstawówce i bardzo dobre stopnie w średniej. To nie wynikało tylko z różnicy wieku, lecz z podejścia nauczyciela, który potrafił nie lubianą przeze mnie geografię ciekawie poprowadzić.
- Masz rację. W szkole podstawowej miałem bardzo dobrego nauczyciela fizyki. Teorię popierał mnóstwem eksperymentów, przeprowadzanych również na uczniach. Nauczył nas nie tylko fizyki, ale również prawidłowego rozwiązywania problemów matematycznych. Zaowocowało to dobrym rozwojem analitycznego myślenia, przez co fizyka w szkole średniej to pikuś. Skończyło się na fizyce technicznej na Politechnice Łódzkiej. Nie mam pojęcia, czy byłoby to tak łatwe bez pomocy nauczyciela w szkole podstawowej. Sądzę, że nie. Każdy ma jakieś ukierunkowane zdolności, ale tylko dobry nauczyciel jest w stanie je wydobyć.
- Gdy byłem małą dziewczynką wychowywano mnie w sposób oparty na zakazach – nie biegaj, nie mów, nie dotykaj, bo się oparzysz, bo coś się rozbije, rozleje, przestraszysz się, nie będziesz wiedziała, co zrobić. W związku z tym mój kontakt z otoczeniem był bardzo słaby. Moje dzieci wychowuję zupełnie inaczej – sprawdź, nie bój się (oczywiście w granicach rozsądku), spróbuj, zobacz, jak to działa. Dzięki temu są dobrymi obserwatorami, myślą logicznie, nie boją się wyciągania własnych wniosków i, na nieszczęście dla nauczycieli, wyłapują ich niekompetencje. A, co najważniejsze, nie boją się stawiać pytań. Fizyka nie jest czymś abstrakcyjnym, to nauka o otaczającej nas rzeczywistości. Chciałabym, aby moje dzieci miały takich nauczycieli jak Maria Curie. Moja nauczycielka chemii w liceum zawsze powtarzała, że jeśli człowiek biernie przygląda się pracy innych, a sam nie próbuje nic zrobić, to nie nauczy się niczego. Zawsze o tym pamiętam.

(Z.G-M)





## Rozważania o dwóji z fizyki, czyli jak zamarza woda

Hubert Harańczyk

Instytut Fizyki UJ

„Woda zamarza w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ ”. Staranniejszy uczeń doda w tym miejscu zwrot „pod ciśnieniem atmosferycznym” i taka odpowiedź, w zasadzie, wystarczy mu do uzyskania oceny bardzo dobrej. My jednak ustawmy się w pozycji ucznia, który się tego nie nauczył należycie i w konsekwencji dostał dwóję. Ów niedouczony, choć koniecznie bystry adept fizyki w samotności swego niepowodzenia mógłby sformułować kilka intrygujących pytań. Na przykład: czy cała woda zamarza i czy tak zamarza każda woda, to znaczy ta z kranu, czy też deszczówka, czy może też tylko jakaś woda szczególna, może nadzwyczaj wyczyszczona?

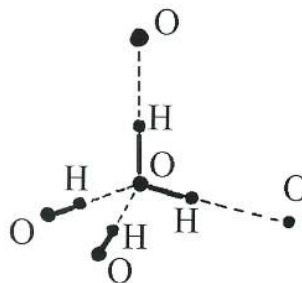
Jak mawiał Albert Einstein, wykonajmy tu *Gedankenexperiment* (eksperyment myślowy). Znaczy to: zdefiniujemy założenia i starannie rozważmy, jak będzie przebiegać zjawisko fizyczne. Wyobraźmy sobie oto, że w czasie zimowego wyjazdu w góry nabraliśmy w mroźny dzień wiadro wody ze studni i, rzecz jasna, będąc adeptem nieco roztargnionym, pozostawiliśmy owo wiadro wody na mrozie.

Gdy temperatura wody obniży się wystarczająco, czyli do  $0^{\circ}\text{C}$ , w objętości wody (zwykle bliżej powierzchni, bo tam szybciej zbliża się do temperatury otoczenia) rozpocznie się proces zamarzania inicjowany na tzw. heterogenicznych jądrach krystalizacji (*heterogeneous ice nuclei*). Jądra krystalizacji mogą zarówno unosić się w objętości wiadra, jak i mogą być zlokalizowane na powierzchni blachy wiadra, mogą też być na przykład defektami powierzchni tejże blachy. Raz rozpoczęty proces krystalizacji postępuje ciągle, rozwijając regularną strukturę krystaliczną zwykłego lodu (lodu heksagonalnego, oznaczanego symbolem Ih). Kryształit nie może nieskrępowanie rosnać w nieskończoność, gdyż wreszcie napotka na sąsiednie, podobnie rosące kryształity. Warstwa wody pomiędzy sąsiadującymi kryształitami staje się coraz cieńsza, wkrótce osiągając grubość porównywalną z rozmiarami pojedynczej molekuly wody. (Rozmiary molekuly wody w angstromach wynoszą około  $3,36 \times 3,57 \times 1,40$ , a kształtem molekula przypomina serduszko).

Układ wiązań wodorowych spajających drobinę wody z jej sąsiadkami, zarówno w cieczy jak i w ciele stałym, tworzy regularny czworościan. Atom tlenu cząsteczki wody umieszczony w środku czworościanu jest dawcą dwóch wodorów do dwóch wiązań wodorowych z sąsiadkami o tlenach znajdujących się w dwóch wierzchołkach czworościanu i biorcą dwóch wodorów do dwóch wiązań wodorowych utworzonych z sąsiadkami o tlenach umieszczonych w pozostałych dwóch wierzchołkach owego czworościanu (patrz rysunek). Forma ta, powielona perio-

dycznie, tworzy strukturę lodu Ih, nieznacznie odkształcona tworzy lód Ic, większe jej zniekształcenia występują w lodach II, III, V, IX i prawdopodobnie w IV, tworzących się przy podwyższonym ciśnieniu zewnętrznym, dwie zaś identyczne sieci, niepołączone ze sobą, choć przenikające się na wskroś, tworzą lody (VI do VIII) występujące przy najwyższych ciśnieniach.

Wróćmy do molekuly wody znajdującej się pomiędzy dwoma krystalitami już uformowanego



lodu. Nie ma powodu, aby kierunki i położenia wiązań wymagane przez pierwszy krystalit były zgodne z analogicznymi kierunkami i położeniami żądanymi przez krystalit drugi, skoro oba owe krystality rozwinęły się niezależnie z dwóch przypadkowo umieszczonych heterogennych jąder krystalizacji. Molekuła wody nie może jednocześnie wypełnić wymagań przestrzennych dla związania się do pierwszego i do drugiego krystalitu. Wymagałoby to silnego jej zniekształcenia, tak jak ma to miejsce w lodach tworzących się pod wysokim ciśnieniem, a w wiaderku, na studni przy baczówce, żadna z takich wysokociśnieniowych form lodu nie może zostać utworzona.

To zaburzenie struktury powoduje, że w przestrzeni pomiędzy krystalitami pozostaje warstwa wody niezamarzniętej. Efekt ten powinien być znaczący i widoczny w badaniach molekularnych. Mocnych argumentów za istnieniem ruchliwej frakcji wody w lodzie poniżej 0°C i przy ciśnieniu atmosferycznym dostarczyły obserwacje wąskiej linii MRJ dla protonów w lodzie.

Zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego (MRJ) nie jest przedmiotem tego artykułu, wystarczy więc w tym miejscu tylko krótko przypomnieć, na czym ono polega. W dużym skrócie sprowadza się ono do pochłaniania fali radiowej przez jądra atomowe próbki umieszczone w polu magnetycznym. Pochłanianie jest maksymalne dla pewnej częstości, zwanej częstością rezonansową. Częstość ta jest proporcjonalna do wartości pola magnetycznego i charakterystyczna dla danego nuklidu. W relacjonowanym eksperymencie obserwowano MRJ na jądrach wodoru, czyli na protonach.

Poszerzenie linii MRJ bierze się z tego, że wybrany proton podlega oddziaływaniom pól pochodzących od sąsiadów, które dodają się do pola magnetycznego przyłożonego przez eksperymentatora. Zakres wartości pola magnetycznego, przy którym spełniony jest warunek rezonansu jest na skutek tego większy i linia MRJ jest szersza. Tak dzieje się jednak w przypadku protonów poruszających się niemrawo – jak w lodzie; jeśli zaś rejestruje się rezonans od protonów ruszających się żwawo – jak w ciekłej wodzie – to na skutek ruchu protonu (a i całej molekuly wody z nim razem) pola doznawane uśrednią się w czasie eksperymentu MRJ i linia rezonansowa poszerzona nie zostanie. Stwierdzenie więc wąskiej linii MRJ

w lodzie oznacza tam istnienie frakcji ruchliwej protonów (wody). Całkowity zapisany sygnał jest sumą szerokiej linii od protonów lodu i wąskiej linii od protonów bardziej mobilnych molekuł wody, zatem MRJ pozwoli wyznaczyć relacje ilościowe między obiema frakcjami protonów wody. Mianowicie stosunek pola pod linią wąską do całkowitego pola pod sygnałem rezonansowym wyznacza udział protonów frakcji ruchliwej.

Wąski sygnał MRJ mógłby pochodzić zarówno od obecności w lodzie niezwiązanych wodorowo molekuł wody, jak i od niezwiązanych zanieczyszczeń lub od niby-cieczowej warstwy powierzchniowej na granicy fazy. Aby wyjaśnić naturę tego sygnału, Kivildze i współpracownicy przetestowali różne rodzaje drobno dzielonego lodu: (a) szron osadzony na dewarze wypełnionym ciekłym azotem, (b) lód powstały przez napowietrzanie zamarzającej wody pęcherzykami powietrza (powierzchnia międzyfazy wyniosła  $S \approx 1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ), (c) zamarzniętą wodę zawierającą drobinki teflonu (o średnicy  $\phi \approx 35 \text{ nm}$ ,  $S \approx 30 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ), (d) polikrystaliczny lód otrzymany z zamrażania wody destylowanej (w zwyczajnym, polikrystalicznym lodzie średni rozmiar kryształitów jest rzędu  $10 \mu\text{m}$ , podczas gdy  $S \leq 0,1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ). Pole pod linią wąskiego sygnału MRJ było proporcjonalne do powierzchni międzyfazy lód-gaz czy lód-teflon, oraz zmniejszało się wraz z obniżaną temperaturą, co wskazało, że wąski sygnał pochodził od niezamarzniętej wody.

Badania kalorymetryczne przeprowadzone przez Bronsteyna i Steponkusa na polikrystalicznym odgazowanym lodzie  $I_h$  pokazały obecność wody niezamarzniętej w wielkości około 1,5% w temperaturze  $-5^\circ\text{C}$ , stopniowo zmniejszającej się do zera dla temperatur spadających do  $-45^\circ\text{C}$ .

Warto przypomnieć, że stwierdzenie, iż woda całkowicie zamarza w  $0^\circ\text{C}$  przy ciśnieniu atmosferycznym, zostało po raz pierwszy zakwestionowane przez Faradaya, który podejrzewał istnienie ruchliwej fazy wody na powierzchniach kryształu lodu. Jednakże pierwsze oszacowania grubości tej warstwy na dziesiątki nanometrów były mocno zawyżone.

Skoro obecność heterogennych jąder nukleacji lodu wymusza powstanie frakcji wody niezamarzniętej poniżej  $0^\circ\text{C}$ , to może staranne oczyszczenie z nich wody spowoduje, że woda, zamarzając lepiej, wypełni wymagania podręcznika? Otóż nic bardziej mylnego. Taka starannie wyczyszczona woda w zerze Celsjusza w ogóle nie zamarza. Znów posiadacz dwóji z fizyki nabiera nieco satysfakcji. Starannie wyczyszczona woda w temperaturze poniżej zera Celsjusza przejdzie do stanu metastabilnego, do stanu cieczy przechłodzonej. W miarę jednak wzrostu odchylenia od równowagi, tendencja do powrotu do stanu stabilnego wzrasta. Nie wiadomo wiele o naturze heterogennych jąder krystalizacji, dlatego pełne usunięcie ich z wody sprawia zasadnicze trudności. Na przykład procedura czyszczenia wody z heterogennych jąder nukleacji, umożliwiającą przechłodzenie do np.  $-10^\circ\text{C}$ ,

nie wystarczy do usunięcia jąder wywołujących krystalizację w temperaturze  $-14^{\circ}\text{C}$ , ta z kolei, która usuwa je w  $-14^{\circ}\text{C}$ , okazuje się nieskuteczna dla  $-17^{\circ}\text{C}$  itd.

Najniższą temperaturę przechłodzenia w próbówce szklanej wynoszącą  $-(30\pm 1)^{\circ}\text{C}$  zaobserwował dwukrotnie Wylie w 1953 r. Jednak w ciągu 24 godzin temperatura zamrażania tej próbki podniosła się do  $-21,4^{\circ}\text{C}$ , a po następnych 24 godzinach do  $-13,4^{\circ}\text{C}$ . Ponieważ proces krystalizacji stale rozpoczynał się w tym samym miejscu, Wylie uznał, że jeśli usunął już heterogenne jądra krystalizacji zawieszane w objętości wody, proces krystalizacji inicjowany został przez drobny kryształ tridymitu lub krystalit silikatu znajdujący się na ścianie próbówki.

Wraz ze spadkiem objętości próbki obniża się temperatura zamrażania, gdyż prawdopodobieństwo znalezienia się w niej heterogennej jądra nukleacji wywołującego zamrażanie w danej temperaturze jest proporcjonalne do objętości próbki. Dlatego aby umożliwić głębokie przechłodzenie wody, należy zmniejszyć rozmiary kropli, co można realizować na kilka różnych sposobów, redukując „wymiarowość” próbki. W próbkach cienkowarstwowych (o dwóch wymiarach makroskopowych) można osiągnąć przechłodzenie do  $-31^{\circ}\text{C}$  (warstwy o grubości  $1-2\ \mu\text{m}$  rozcieńczonych roztworów KI umieszczone między gładko wypolerowanymi, optycznie gładkimi płytkami  $\text{SiO}_2$ ).

Używa się również kapilar (jeden wymiar makroskopowy) oraz kropelek (zero wymiarów makroskopowych), które pozwalają na uzyskanie maksymalnego stopnia przechłodzenia. Wykonuje się je jako zbiór kropelek w emulsji wodnej. W takich emulsjach rozmiary kropelek wahają się od  $100$  do  $0,5\ \mu\text{m}$ , przy objętościowym udziale wody sięgającym  $50\%$ , a woda odwracalnie przechładza się do  $-38^{\circ}\text{C}$ .

Dla nadzwyczaj małych i perfekcyjnie oczyszczonych próbek nukleacja lodu zależy od wewnętrznych fluktuacji struktury wody przechłodzonej, których częstość wystąpienia znacznie wzrasta w pobliżu temperatury „nukleacji homogennej”,  $T_H$ . Fluktuacja taka lokalnie odtwarza fragment struktury lodu  $I_h$  i od niej łatwo może rozpocząć się proces narastania krystalitu lodu. Wydaje się, że wartość temperatury nukleacji homogennej dla wody wynosi  $T_H = -45^{\circ}\text{C}$ . Jednakże najniższe uzyskane temperatury przechłodzenia to  $-(39\pm 1)^{\circ}\text{C}$  dla wody w objętości  $10^{-9}\ \text{cm}^3$  (odpowiadające sześciannowi o boku  $10\ \mu\text{m}$ ), niezależnie od rodzaju powierzchni kontaktowej (ściana szklanej kapilary, olej lub inna emulsja molekularna, warstwa ochronna gazowego azotu), natomiast wraz z dalszym obniżeniem średnicy kropli o rząd wielkości temperatura krystalizacji lodu spada do  $-41,2^{\circ}\text{C}$ .

Oba omówione wyżej zjawiska (heterogenna nukleacja i przechłodzenie) mają dramatyczne znaczenie dla organizmów żywych, doświadczających w swym życiu temperatur poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ , a nieposiadających mechanizmów regulacji temperatury ciała. Życiu organizmu zmiennoocielnego zagraża wewnątrzkomórkowe tworzenie krystalitów lodu, które rosnąc, zniszczą struktury błonowe organelli ko-

mórkowych czy retikulum endoplazmatycznego lub wręcz spowodują rozerwanie błony komórkowej.

Pora tutaj ujawnić powód, dla którego ów bystry uczeń nie przygotował zadanej lekcji o zamarzaniu wody. Być może przechadzał się zimą wybrzeżem w rejonie Karwi, gdzie do morza wpadają blisko siebie dwa ciekłe odwadniające Karwieńskie Błota? Prąd wynosi tam do morza słodkowodne owady, które następnie fale wyrzucają na brzeg, a marznąca zimą woda skrywa je we warstwie lodu. Może uczeń wyciął szczyrykiem taką płytkę lodu i złodziejsko piasku, zawierającą zamrożonego niewielkiego chrząszcza pływaka, toniaka żeberkowanego (*Acilius sulcatus*), który przyniesiony do domu, zaraz po rozmrożeniu zaczął uganiać się po szklance wody? Może znalazł jego jeszcze mniejszego krewniaka, grążaka czteropłamka (*Ilybius quadriguttatus*), który po rozmrożeniu śmigał przez toń wody jak mały psiaczek? Może zauważył, że jednocześnie znaleziony, tylko przechłodzony, bo nawet niepokryty lodem, urodziwy wodny pluskwiak, wioślak punktowany (*Corixa punctata*), przemarznięcia nie przeżywa? Nasunęło się wtedy owemu uczniowi kolejne intrygujące pytanie: dlaczego niektóre zmiennocieplne organizmy tak świetnie radzą sobie z przemarznięciem, a inne – tak przecież do nich podobne – od przemarznięcia giną?

By przetrwać mróz, organizmy żywe podejmują strategię polegającą na zwiększeniu udziału wody niezamarzniętej, intensywnie wydzielając związki chemiczne noszące nazwę krioprotektantów. Twórca babiego lata, pająk plądrak czarny (*Erigone atra*), frunąc na długiej nitce swej przędzy, wznosi się do stratosfery i tam zamarza w bryłce lodu, by po powrocie na ziemię rozpocząć wędrówkę po włosach jakiejś damy, do której zacumowała jego nić. Choć z zewnątrz w całości pokrywa go lód, wewnątrz plądrak chroni się przed zamrażaniem, wydzielając krioprotektant.

Krioprotektanty bardzo dobrze mieszają się z wodą, tak dobrze, że uniemożliwiają wodzie formowanie krystalitów lodu, gdyż zarówno kierunki jak i położenia wiązań wodorowych utworzonych przez molekułę wody i krioprotektanta nie zgadzają się z wymaganymi dla utworzenia kryształu. Można nie całkiem ściśle powiedzieć, że obszar międzyfazy w obecności krioprotektanta drastycznie wzrasta, więc i wzrasta udział wody niezamarzniętej.

U antarktycznych stawonogów (owadów i skoczogonków) oraz u porostów rolę krioprotektantów grają wieloalkohole oraz cukry proste. Na przykład w warunkach polowych u porostów *Evernia esorediosa*, *Ramalina subbreviscula* i *Ramalina sublitoralis* stwierdzono (Hamada i współpracownicy) obecność wieloalkoholi: rybitolu, mannitolu i arabitolu (do 3,4% w/w<sup>1</sup> arabitolu w *R. subbreviscula*). Badania MRJ dla węgla <sup>13</sup>C pokazały w wybranych porostach antarktycznych znaczną zawartość wieloalkoholi (do 65 mg g<sup>-1</sup> – miligram substancji na gram

---

<sup>1</sup> w/w – weight/in weight = ciężar wagowo, na wagę

suchej masy – dla *Usnea antarctica*), z dominującym udziałem arabitolu, manni-  
tolu i rybitolu.

Owady jako krioprotektanta używają glicerolu i sorbitolu, np. gąsienica ćmy *Retinia (Petrova) resinella* sezonowo zwiększa zawartość glicerolu do ok. 28% świeżej masy (z punktem przechłodzenia do  $-47^{\circ}\text{C}$ ). Zimujący chrząszcz drukarz *Ips acuminatus* potrafi w swym ciele podnieść stężenie glikolu etylenowego do poziomu 2,7 M, więc słusznie można go zwać „żuczkiem na borygo”. Unikające zamarzania owady wytwarzają też powstrzymujące zamarzanie białko (AFP = *antifreeze protein*), które wyizolowano u ponad trzydziestu gatunków owadów, pająków, stonóg i roztoczy.

Inną strategią uniemożliwiająca powstanie lodu wewnątrzkomórkowego jest tak drastyczne odwodnienie organizmu, by w lokalnych przestrzeniach komórkowych wody nie wystarczyło, aby utworzenie kryształitu lodu było uprzywilejowane energetycznie. Tę strategię podejmują porosty antarktyczne *Usnea aurantiaco-atra*, *Himantormia lugubris* czy występująca w Polsce *Cladonia mitis*. Pośród zwierząt fenomenalną odpornością na wysuszenie wyróżnia się larwa tropikalnej ochotki *Polypedilum vanderplanckii*, która w swym naturalnym środowisku rzecz jasna chłodu nie zaznaje, jednak kompletnie wysuszona potrafi wytrzymać temperaturę ciekłego helu (!).

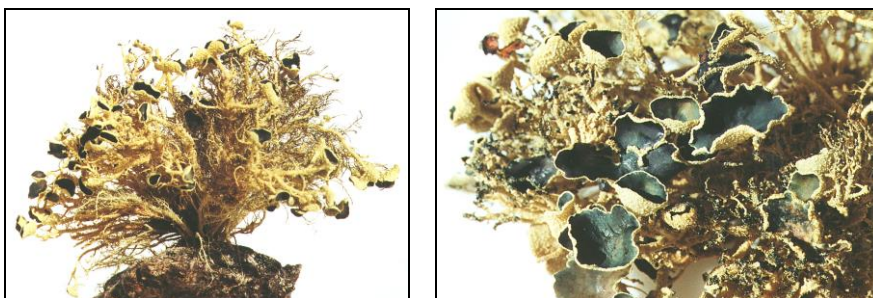
Kompletnie odmienną strategią radzenia sobie z mrozem jest stymulowanie powstania kryształitów lodu we własnym ciele. Jeżeli dokona się tego sprawnie i pod kontrolą organizmu w przestrzeniach pozakomórkowych, to nie tylko że śmiercią nie grozi, ale i przyniesie stworzeniu szereg korzyści. W ubogich środowiskach gdzie trudno o opady, woda z topniejącego kryształka lodu wewnątrz plechy porostu daje przewagę umiającemu tak magazynować wodę organizmowi, który w poprawiających się warunkach pogodowych może już rozpocząć swoją aktywną działalność życiową, w przeciwieństwie do konkurentów oczekujących dopiero na deszcz.

Niektóre porosty, takie jak *Cladonia mitis*, wykorzystują naprzemiennie obie te strategie. Kiedy poziom uwodnienia plechy jest zbyt wysoki, stymulują powstanie lodu w przestrzeniach międzykomórkowych, dla niższych zaś uwodnień zwiększają udział wody niezamarzniętej.

Aby stymulować wzrost kryształitów lodu w swoim ciele owady same wytwarzają heterogenne jądra krystalizacji bądź przyjmują je z pożywieniem. Antarktyczny chrząszcz *Hydromedion sparsutum* stymuluje w swoich jelitach krystalizację lodu już w  $-(3.0 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ , co jest jedną z najwyższych temperatur krystalizacji zarejestrowanych dla ziemnych stawonogów. Tutaj heterogenne jądra krystalizacji stanowi częściowo strawiony materiał roślinny, bakterie i grzyby, wśród których porost *Usnea fasciata* wykazuje wzrost kryształitów lodu w  $-5^{\circ}\text{C}$ . *Usnea fasciata* sama stosuje mechanizm stymulowanego wzrostu kryształitów lodu w swej plesze, a jej spożyte fragmenty służą chrząszczowi do tego samego celu.

Istnieją białka o znacznym udziale aminokwasów hydrofilowych, których kształt może stymulować w ich otoczeniu wzrost kryształitu lodu, np. z królowych szerszenia *Vespula maculata* wyizolowano takie białko o masie 74 kD (kilodalton<sup>2</sup>).

Warto na zakończenie przypomnieć, że Réamur w 1734 r. jako pierwszy zauważył i opublikował, że niektóre larwy owadów przeżywają zamrożenie w bryłce lodu, a także zastanović się, czy informując o swym odkryciu, uczeń, wyprężony do odpowiedzi na lekcji, zasługiwał na piątkę, czy też na dwóję z fizyki...?



Porost antarktyczny *Usnea aurantiaco-atra* o plesze krzaczkowatej, z kolekcji zebranej przez prof. dr hab. Marię Olech z Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego w morskiej Antarktyce, rejon Polskiej Stacji Antarktycznej im. Henryka Arctowskiego na Wyspie Króla Jerzego, Półwysep Antarktyczny. Fot. H. Harańczyk

---

<sup>2</sup> Kilodalton – jednostka masy używana w biochemii, równoważna 1000 jednostkom masy atomowej, czyli  $1.657 \times 10^{-21}$  grama.



## Ruletka dla fizyka (wprowadzenie do technik Monte-Carlo)

Jerzy Karczmarczyk

Zakład Informatyki, Uniwersytet w Caen, Francja

### Generatory liczb losowych

Aby modelować obiekty i procesy należące do świata rzeczywistego, komputer musi umieć generować zjawiska losowe, niepowtarzalne (z praktycznego punktu widzenia), gdyż Natura jest właśnie taka. Jest to oczywiście niezbędne w fizyce statystycznej czy w symulacji procesów jądrowych. Jednak losowe, albo raczej *pseudolosowe*, ciągi liczb znajdują zastosowanie także w rozmaitych algorytmach całkowicie deterministycznych, np. aby obliczyć objętość skomplikowanego obiektu, czasami wygodnie jest zapęłnić go dość gęsto losowo wybranymi punktami; wtedy, przy zadanej średniej gęstości tych punktów, ich liczba pozwala oszacować wynik. Mamy nadzieję, że te losowe punkty rozłożą się równomiernie wewnątrz szacowanego obiektu. Wynik jest naturalnie obciążony błędem, ale często interesuje nas jakieś przybliżenie, a może ono nie być gorsze niż otrzymane innymi metodami, o ile ocena „gorsze/lepsze” bierze pod uwagę np. stosunek dokładności do kosztów obliczeniowych. Innym przykładem jest szukanie minimum funkcji wielu zmiennych przez wybór losowy (choć nie „ślepy”) punktów-kandydatów. Jest to użyteczne w szukaniu punktów równowagi złożonych układów fizycznych. Wiemy, że układy termodynamiczne dążą do maksimum entropii, układy mechaniczne minimalizują tzw. całki działania itp. Są to dwa z licznych przykładów technik zwanych popularnie Monte-Carlo. Jak jednak wygenerować te losowo wybrane liczby czy punkty? W zasadzie można posłużyć się jakimś układem fizycznym, np. elektroniką generującą szum, substancją radioaktywną itp., ale dla fizyka istotna jest często możliwość *dokładnego* powtórzenia eksperymentu lub obliczeń, a prawdziwe układy losowe nie dają się kontrolować...

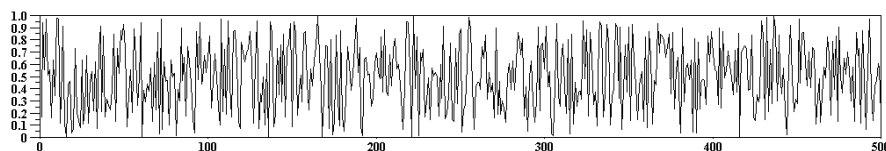
Tak więc, w typowych zastosowaniach, w generacji ciągów liczb losowych, wbrew nazwie nie ma *nic* losowego, algorytmy są całkowicie określone i powtarzalne. Nie używa się też z góry przygotowanych tablic liczb losowych. Tablice oraz pomiary fizyczne, np. odczyt zegara komputera, mogą służyć do wstępnego ustawienia generatorów, ale reszta jest z góry określona. Będące w codziennym użytku algorytmy komputerowe posługują się ścisłą matematyką. Typowy generator jest zwykłą funkcją, która pobiera jako argument ostatnio wygenerowaną liczbę pseudolosową i dostarcza nową wartość. Funkcja jest tak „dziwaczna”, że ten nowy wynik *wydaje się* nie mieć nic wspólnego z poprzednim, a kolejne wartości są równomiernie rozrzucone w jakimś przedziale.



Matematyczna precyzja stanowi właśnie siłę takich generatorów, które są oparte na teorii pozwalającej wykazać, że generator dostarczy np.  $M = 2^{32} - 1$  niepowtarzających się liczb całkowitych między 0 a  $M$ , a następnie powtórzy cały ciąg. Oczywiście w użyciu są generatory znacznie lepsze... Profesjonalne generatory pracują zwykle na liczbach całkowitych między 0 a  $M - 1$ , gdzie  $M$  jest bardzo dużą liczbą, np. równą wspomnianym  $2^{32}$  lub znacznie większą. Tak więc wszystko wygląda losowo, ale nie spotkają nas żadne nieprzyjemne niespodzianki.

Ułamek w zakresie  $[a, b)$  otrzymuje się, dzieląc wynik całkowity przez  $M$ , a następnie mnożąc przez  $b - a$  i dodając  $a$ . W podstawowych algorytmach generacji lepiej nie używać bezpośrednio liczb ułamkowych (zmiennoprzecinkowych), gdyż jest to wolniejsze, niepewne teoretycznie i zależne od komputera.

Jednak prosty, niedoskonały, ale wystarczający do prostych testów generator można skonstruować samemu, wystarczy wielokrotnie zastosować szybkozmienną, „mieszającą” funkcję do jakiejś wartości rzeczywistej. Przyjmijmy np.  $x_0 = 0.16524961$ , albo inną wartość między 0 a 1, oraz dość duży mnożnik, np.  $R = 17652083.651$ , a następnie powtarzamy:  $x_{n+1} = \text{frac}(R \cdot x_n)$ , gdzie  $\text{frac}$  oznacza część ułamkową liczby rzeczywistej,  $\text{frac}(z) \equiv z - [z]$ . Nasz model zilustrowany jako funkcja  $x_n$  dla 500 wartości  $n$  przedstawia się następująco:



Generujemy w ten sposób liczby rozłożone *jednorodnie* w pewnym przedziale, liczby, których rozkład prawdopodobieństwa jest funkcją stałą. Ale fizyk potrzebuje i innych rozkładów, zgodnych z rozkładami niejednorodnymi. Np. jeśli chcemy utworzyć model gazu, często korzystamy z rozkładu Gibbsa, mówiącego, że prawdopodobieństwo stanu mikroskopowego, tj. zbioru położeń i pędów wszystkich cząstek  $s(x, p)$ , jest proporcjonalne do  $e^{E(s)/kT}$ , gdzie  $k$  jest stałą Boltzmanna:  $1.3807 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $T$  oznacza temperaturę, a  $E(s)$  jest energią danego stanu: sumą energii kinetycznych i ewentualnie, przy obecności oddziaływań, także sumą energii potencjalnych.

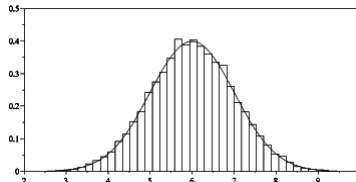
Nie miejsce tu, aby omówić szczegóły generowania liczb o dowolnych rozkładach, wrócimy do tego kiedy indziej, ale w powyższym przykładzie metoda jest prosta. Aby wygenerować liczbę losową  $x$  o rozkładzie prawdopodobieństwa  $p(x) = e^{-x}$  między 0 a  $\infty$ , wystarczy wziąć losową wartość  $r$  z jednorodnego rozkładu między 0 a 1, a następnie utworzyć  $x = -\ln(1 - r)$ . W ogólności zwykle zaczynamy od rozkładu jednorodnego, a potem kombinujemy i transformujemy wyniki. W ten sposób będziemy również generować *funkcje losowe*, np. szumy,

losowe trajektorie cząstek płynu itp. Zazwyczaj jest to o wiele trudniejsze niż generowanie pojedynczych liczb losowych, gdyż w funkcji losowej sąsiednie wartości są zwykle mocno skorelowane, np. zbliżone, więc to, co wygenerowaliśmy dla  $x$ , wpływa na wartości generowane dla  $x + \Delta x$ .

Często potrzebujemy również *liczb gaussowskich*, losowych między  $-\infty$  a  $\infty$ , z rozkładem  $p(x) = \exp(-(x - x_s)^2 / 2\sigma^2) / \sqrt{2\pi}\sigma$ . Jak wiemy, tak zwykle są rozłożone wartości doświadczalne  $x$  wokół średniej  $x_s$ , z wariancją  $\sigma$ , więc takie rozkłady są potrzebne np. w symulacji aparatury pomiarowej, która dostarcza wyników z błędami statystycznymi.

Prosty, ale często wystarczający algorytm generacji jest małą perełką obliczeniową. Zaczniemy od pytania: dlaczego zwykle fluktuacje wartości wokół średniej mają kształt krzywej dzwonowej Gaussa? Okazuje się, z tzw. centralnego twierdzenia granicznego, że jeśli pewna zmienna losowa jest *sumą*, wynikiem nałożenia się wielu składników o rozsądnych, ale dowolnych rozkładach prawdopodobieństwa – co ma zwykle miejsce w procesach naturalnych i technologicznych – to przy dostatecznej liczbie składników wynik jest z grubsza gaussowski, znacznie więcej próbek wykazuje małe odchylenia od średniej niż duże, co jest intuicyjnie oczywiste. Możemy ten fakt wykorzystać do symulacji. Wygenerujemy kilkadziesiąt lub nawet tylko kilkanaście, np. 12 (wygodne ze względu na normalizację, wtedy  $\sigma = 1$ ), liczb losowych jednorodnych w  $[0, 1]$  i obliczymy ich sumę. Wynik będzie gaussowski wokół 6. Sprawdźmy to za pomocą programu rysującego histogram 20 000 liczb losowych oraz jego sprawdzenie: krzywa Gaussa. Zgodność jest doskonała. Program został napisany w polecanym przez nas w zeszłym odcinku języku pakietu Scilab, którego zaletą jest możliwość pisania krótkich i czytelnych programów operujących na tablicach.

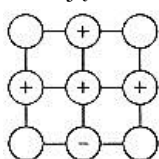
```
R=rand(12,20000);
histplot(40,sum(R,'r'));
x=0:0.1:12; u = x - 6;
plot2d(x,exp(-u.*u/2)/sqrt(2*%pi),
strf="000");
```



Szczegóły programu są mało istotne, wystarczy wiedzieć, że `rand(m,n)` generuje tablice  $m \times n$  jednorodnych liczb losowych, że `sum` pozwala wysumować tablice po wszystkich wierszach (albo kolumnach), a `plot2d` rysuje wykres dwuwymiarowy o określonych parametrach.

### Przykład: przejścia fazowe w modelu ferromagnetyka

Przećwiczmy konkretne zastosowanie generacji liczb losowych w fizyce. Zajmiemy się tzw. modelem Isinga zjawiska magnetyzacji spontanicznej, napiszemy program symulacyjny i pokażemy, jakiego rodzaju „chwytów” dopuszcza się fizyk, wykorzystujący metody Monte-Carlo. Celem naszym jest wizualizacja, a także nieskomplikowane *pomiary* własności układu. Nigdy nie będziemy tracić z oczu różnic między podejściem algorytmicznym a procesem realnym. Symulowanym układem jest siatka (tu: dwuwymiarowa, można jednak prosto rozwinąć model w trzech wymiarach), w węzłach której znajdują się oddziałujące „magnesy”, mogące przyjmować dwie wartości lub ustawienia: „w górę” lub „w dół”. Ten model dość realistycznie odpowiada rzeczywistemu magnetykowi, zawierającemu oddziałujące kwantowe spiny.



Reprezentacją modelu jest tablica wypełniona liczbami  $s = \pm 1$ . Wartość  $+1$  oznacza moment magnetyczny (spin) skierowany w górę,  $-1$  – w dół. Sąsiednie spiny „lubią” ustawiać się równolegle, gdyż to zmniejsza energię oddziaływania. W tym modelu energia pary sąsiednich spinów wyraża się wzorem  $E_{ij} = -J/2 \cdot s_i s_j$ .

$J$  jest dowolną stałą określającą siłę oddziaływania, możemy ją przyjąć, równą 1, zresztą istotny będzie tylko iloraz  $J/kT$ . Stałą Boltzmanną również przyjmujemy równą jedności. W symulacjach komputerowych nie ma zwykle powodu, aby wszystkie stałe fizyczne miały swoje prawdziwe wartości, natomiast ważne jest, aby umieć przetransponować wyniki symulacji do świata rzeczywistego. Jest to osobny temat do dyskusji.

Na rysunku powyżej wkład spinu centralnego do energii oddziaływania jest równy  $-3 + 1 = -2$ . Spiny diagonalne, dla prostoty, nie liczą się jako najbliżsi sąsiedzi, ich wprowadzenie zmienia własności układu w nieznacznym stopniu. W ogóle najważniejszym parametrem układu jest jego *wymiar*. Spiny „nanizane na nitkę”, tj. tworzące układ jednowymiarowy, nie wykazują żadnych ciekawych zachowań. W dwóch i więcej wymiarach układ może się spontanicznie magnesować w temperaturze niższej niż tzw. punkt Curie. Energia całości jest sumą po wszystkich węzłach energii jednostkowych, a prawdopodobieństwo danego stanu jest dane rozkładem Gibbsa:  $p(\mathbf{s}) = 1/Z \cdot \exp(-\sum_i s_i \epsilon_i / T)$ , gdzie  $Z$  jest stałą normalizującą prawdopodobieństwo, a  $\mathbf{s}$  jest oznaczeniem stanu: ciągu wszystkich  $s_i$ . Do symulacji często używa się następującego algorytmu (Metropolis i inni), który wielokrotnie iteruje następujące akcje:

- Każdemu spinowi „proponujemy” nową wartość, losowaną spośród możliwych. Tutaj: dwie możliwości.
- Jeśli zmieniona energia byłaby mniejsza od wyjściowej, program akceptuje zmianę, a układ przechodzi do nowego stanu.

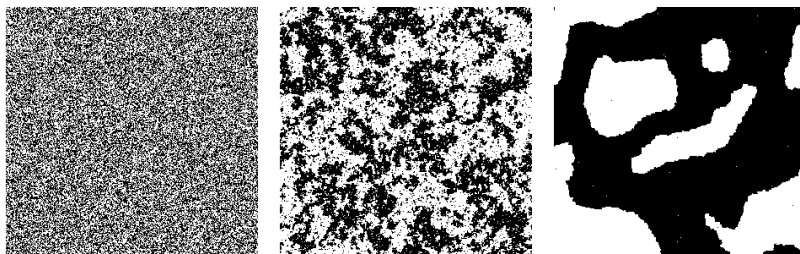
- Jeśli to spowodowałoby zwiększenie energii o  $\Delta E$ , obliczamy wartość  $q = \exp(-\Delta E/T)$  i generujemy liczbę losową  $r$  między 0 a 1. Jeśli  $r < q$ , zmiana zostaje przyjęta, jeśli  $r \geq q$ , spin pozostaje ze starą wartością.

Zauważamy, że w wysokich temperaturach  $q$  jest prawie równe jeden i prawie wszystkie propozycje zostaną akceptowane. Fluktuacje termiczne sprzyjają bałaganowi i oddziaływanie między spinami nie jest istotne. Gdy temperatura się zmniejsza, układ będzie widocznie preferował konfiguracje, w których spiny sąsiednie będą równoległe. Układ będzie „wolał” zmniejszać swoją energię przez porządkowanie sąsiednich spinów. Zaczną się pojawiać domeny magnetyczne. Możemy ustalić temperaturę i puścić symulację w „ruch”, ale „czas”, w jakim przebiega odwracanie spinów, jest artefaktem, nie ma w zasadzie nic wspólnego z rzeczywistym czasem, a co interesuje fizyka, to konfiguracja równowagowa, po długim okresie symulacji, gdy konfiguracja się ustali (w sensie ogólnym tego słowa, w wysokich temperaturach stan może się „ustalić” jako szybkozmienny bałagan...). Osobę zainteresowaną zagadnieniami symulacji i wizualizacji sam proces ewolucji układu może bardzo interesować, przy zachowaniu sporej ostrożności pewien związek między dynamiką symulacji a rzeczywistym dochodzeniem do stanu równowagi jednak można zaobserwować, ale chwilowo nie jest to dla nas ważne.

Możemy zauważyć tutaj pewien konflikt między realizmem symulowanego procesu, pożytecznym przy wizualizacji, a jego sprawnością. Fizyk zainteresowany pomiarami magnetyzacji, ciepła właściwego itp. a nie obrazkami, zauważy, że nie ma sensu proponować spinowi jego poprzedniej wartości, gdyż ta *zawsze* zostanie zaakceptowana, a to spowolni ewolucję układu. Propozycje można zredukować do odwracania. Ale wtedy w wysokich temperaturach układ będzie po prostu regularnie odwracał wszystkie spiny niezależnie od konfiguracji wyjściowej, będzie „migotał”, co nie ma nic wspólnego z rzeczywistością ani z intuicją. Tak jest w wielu modelach fizyki komputerowej. Uproszczenia i optymalizacja nie zawsze idą w parze z użytecznością potrzebną do demonstracji.

Omówiony model jest popularny, ale dla odmiany nasza symulacja wykorzystuje nieco inny algorytm, zwany *łaźnią cieplną*: ponieważ dla każdego spinu znamy jego aktualną energię oddziaływania, a ewentualne odwrócenie spinu zmienia tylko jej znak, możemy od razu losować nową konfigurację (a nie jej zmianę) z prawdopodobieństwem danym przez rozkład Gibbsa. Zauważmy, że nowe wartości spinów nie zależą w ogóle od ich wartości poprzednich, jedynie od sąsiadów. Nie jest to zupełnie fizyczne, każdy rzeczywisty obiekt ma pewną bezwładność, co powoduje, że zmiana jego atrybutów też kosztuje, bez względu na otoczenie, ale do naszych celów przyjęte założenie wystarczy.

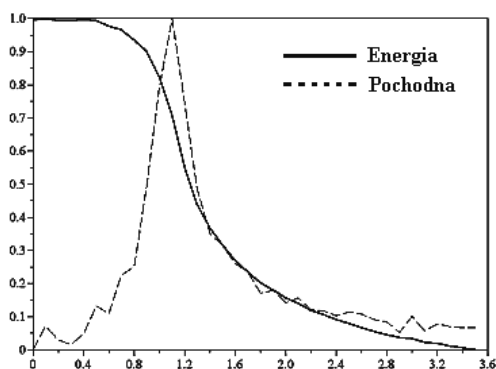
Poniższe rysunki pokazują z grubsza ustalone konfiguracje dla  $T = 10$ ,  $T = 1.2$  i  $T = 0.5$ . W niskich temperaturach wynik po bardzo długim okresie symulacji jest banalny, układ staje się jedną domeną, więc przerwaliśmy symulację wcześniej.



### Pomiary

Reprezentacją układu jest tablica  $300 \times 300$  punktów, z okresowymi warunkami brzegowymi: na prawo od ostatniej kolumny znajduje się znowu pierwsza itp. Całkowity czas symulacji wyniósł zaledwie kilka minut na 2 GHz PC (mimo iż program napisany w Scilabie nie był najszybszy), więc możemy być nieco ambitniejsi. Symulacja rzadko sprowadza się do oglądania, popatrzmy więc na kilka globalnych (termodynamicznych) własności układu. Co interesującego możemy tutaj zmierzyć?

- Temperaturę, w jakiej zachowanie modelu ulega gwałtownej zmianie, przechodzi od fazy nieuporządkowanej do spontanicznie „namagnesowanej”.
- Energię całkowitą układu w funkcji temperatury, a także jej pochodną: ciepło właściwe.
- Średnią magnetyzację w funkcji temperatury, a także jej fluktuacje. Te ostatnie są ściśle związane z ciepłem właściwym układu.



Najpierw trzeba zdecydować się na zakres temperatur i pożądaną dokładność. Rysunek przedstawia energię i jej pochodną (obliczoną numerycznie) w funkcji temperatury; pochodna przedstawia oczywiście ciepło właściwe układu. Zauważamy, że w pobliżu  $T = 1$  ciepło właściwe dość gwałtownie rośnie, co sugeruje przejście fazowe, „topnienie” lub „krzepnięcie”, przejście między stanami mniej lub bardziej uporządkowanymi.

Skale rysunku zostały dobrane dowolnie (a pochodna zmieniała znak), ale dobrym ćwiczeniem jest zastanowienie się nad wymiarami wielkości fizycznych otrzymywanymi z symulacji; kiedy operujemy tylko na liczbach, komputerowi jest wszystko jedno, czy są to milimetry, czy kilogramy. Jeśli osobie programującej te symulacje też jest wszystko jedno, to staje się to zabawą mającą saby związek z fizyką...

Interesującą wielkością byłaby także średnia magnetyzacja w funkcji temperatury. W wysokich temperaturach nie ma domen i średnia magnetyzacja winna być równa zero. Poniżej temperatury przejścia magnetyzacja winna gwałtownie wzrosnąć. Jak jednak dokonać tego pomiaru? Policzyc średnią magnetyzację, tj. znormalizowaną sumę wartości spinów całego układu? Tak byłoby najprościej i w wysokich temperaturach dostalibyśmy zero. Jednak poniżej przejścia fazowego równowaga ustala się wolno i zupełnie możliwa jest sytuacja, w której połowa układu będzie „czarna”, a druga połowa „biała” przez bardzo długi czas. Średni spin będzie nadal równy zero. To nie jest dobra technika.

W sukurs przychodzi nam *ergodyczność symulowanego układu*. W ogólności jest to pojęcie skomplikowane, wymagające dużej precyzji matematycznej. Dla nas wystarczy sformułowanie następujące: układ jest ergodyczny, jeśli popatrzenie na ewolucję jakiegoś jego małego fragmentu w czasie dostarcza nam próbek statystycznie równoważnych próbkom wziętym z tego samego układu w tym samym momencie, ale z różnych miejsc przestrzeni konfiguracyjnej. Proponujemy więc następujący algorytm: po wstępnym okresie ustalania równowagi popatrzymy na małą próbkę, powiedzmy  $5 \times 5$  spinów, ale przez dłuższy czas, i policzymy sumaryczny średni spin tego podukładu. Trzeba zdać sobie sprawę, że powtórzenie doświadczenia może dać wynik o odwrotnym znaku, to, czy w symulacji natrafiliśmy na domenę bardziej „białą”, czy „czarną”, jest kwestią przypadku (w należywym rozumieniu słowa *przypadek*...).

Statystyczne układy fizyczne zwykle są ergodyczne. Ale zaraz: przecież powiedzieliśmy, że czas symulacji nie ma nic wspólnego z czasem realnym. Nie szkodzi. Ba, można uzasadnić, że ten czy inny układ symulowany jest ergodyczny w oderwaniu od dynamiki modelowania. W naszym przypadku ergodyczność jest więc jeszcze jednym chwytem technicznym, ale zgodnym z naszą intuicją, ostatecznie *możemy* sobie wyobrazić, że z grubsza układ dąży do równowagi w symulowanym czasie tak, jakby to robił naprawdę. Realizację tego lub innego algorytmu pozwalającego zmierzyć magnetyzację w modelu Isinga pozostawimy Czytelnikowi, a do tematu metod Monte-Carlo jeszcze wrócimy.

#### **Kilka propozycji samodzielnych ćwiczeń**

- Model Isinga dotyczy spinów „kwantowych”, przyjmujących dwie wartości, np. w górę lub w dół osi  $z$ , jeśli przestrzenią układu jest płaszczyzna  $xy$ . Możemy popatrzeć na układ znacznie ciekawszy wizualnie, o spinach przyjmujących

wartości wektorowe  $\vec{s} \sim s$  w płaszczyźnie  $xy$ , z energią oddziaływania wyrażoną przez iloczyn skalarny  $-J \vec{s}_i \cdot \vec{s}_j$ . (Dla przyspieszenia symulacji można się ograniczyć np. do 256 możliwości i stablicować cosinusy kątów). Przedstawić tworzące się domeny, używając strzałek albo kolorów.

- Wprowadzić zewnętrzne pole magnetyczne, dodające do energii spinu dodatkowy człon, proporcjonalny do wartości samego spinu. Można wtedy popatrzeć, jak wygląda podatność magnetyczna, zależność średniej magnetyzacji od pola magnetycznego w różnych temperaturach.
- Przetestować inne algorytmy symulacji, np. algorytm z „demonem”, który biega po układzie i losowo zabiera albo przydziela energię spinom, zachowując energię całkowitą. Pojęcie temperatury tutaj nie istnieje. Program co jakiś czas „oziębina” demona, odbierając mu część „łupu”. W tej symulacji pomiar średniej energii jest oczywiście bez sensu, gdyż to *my* ją kontrolujemy. Zastanowić się, co mierzyć, aby wykryć przejście fazowe. Popatrzeć np. na fluktuacje magnetyzacji.

### Szczegóły realizacji

Ponieważ naszym celem nie jest pokazywanie obrazków, tylko zachęcenie do własnej pracy, a wybór Scilabu jako języka programowania ma to ułatwić, przedstawimy w sposób niekompletny, ale zrozumiały, konstrukcję programu. O całość można się zwrócić do autora, a niebawem wszystko będzie zamieszczone na stronach internetowych *Fotonu*.

Dla osób znających typowe techniki programowania nietypowym elementem będzie unikanie pętli (instrukcji **for** i zblizonych). Zaczniemy od utworzenia *maski* – tablicy pozwalającej oddzielić spiny „parzyste”,  $s_{ij}$  z  $i + j$  parzystym, od „nieparzystych”. Ponieważ energia spinu zależy *wyłącznie* od sąsiadów, program zmieni „jednym strzałem” wszystkie spiny parzyste, a potem wszystkie nieparzyste. Wartość  $N$  poniżej wynosi 300, a  $N1 = N - 1$ .

```
x=1:N; // wektor [1,2,3,4,...]
m1=x(ones(x),:); // tabl. złoż. z identycznych rzędów jak wyżej
m1=modulo(m1+m1',2); // tabl [0,1,0,1, ...]; Drugi rząd jest odwrotny
m2=1-m1; // maska przeciwna
```

Tutaj  $m1'$  jest tablicą  $m1$  przetransponowaną (wiersze zastępują kolumny i odwrotnie). Teraz zadajemy temperaturę, np.  $T = 1.2$  (przejście fazowe jest koło jedynki) i definiujemy  $\beta = 1/T$ . Pamiętajmy, że w Scilabie forma  $a(i, :)$ , gdzie  $a$  jest tablicą dwuwymiarową, a  $i$  – pewną wartością wskaźnika, jest cała tablica 1-wymiarowa, stanowiąca  $i$ -tą kolumnę tablicy  $a$ .

```
a=2*round(rand(N,N))-1; // początek symulacji, tablica losowa N×N
// zawiera elementy +1 oraz -1
```

```

e1=exp(beta); e2=e1*e1;
q1=e1/(e1+1/e1);
q2=e2/(e2+1/e2);           // To są prawdopodobieństwa nowych stanów!
pmat=[q2;q1;0.5;1-q1;1-q2]; // ... umieszczone w tablicy.
for i=1:200,                // Pętla stabilizująca stan
    mm=m1; m1=m2; m2=mm;    // "Przekręcenie" masek
// Energia potencjalna aktualnej konfiguracji.
u=( [a(:,N),a(:,1:N1)] + [a(:,2:N),a(:,1)] + ...
    [a(N,:),a(1:N1,:)] + [a(2:N,:),a(1,:)] )/2;
// u zawiera wartości -2, -1, 0, 1, oraz 2. Żeby wybrać odp.
// prawdopodobieństwo, dodajemy 3 -> 1, 2, 3, 4, oraz 5.
b=matrix(pmat(u+3),[N,N]); // I to jest globalna tablica prawdo-
// podobieństw nowych stanów

r=rand(N,N); // Podstawowa wartość losowa generująca nowy stan
c=((r<=b)*(-1)+(r>b)*1); // *Ewentualne* nowe wartości
a=a.*m1 + c.*m2;
// Jedna maska wybiera spiny parzyste, druga maska nieparzyste. Przy na-
// stępnej
// iteracji to się powtórzy, ale z drugą połową spinów. Po to właśnie
// przekręcamy maski przy każdej iteracji.
end; // Koniec pętli iteracyjnej

```

I to jest wszystko, reszta jest utworzeniem wizualizacji i sumowaniem energii. Najbardziej charakterystyczną instrukcją jest obliczenie tablicy *u*: aby dodać wartości sąsiadów danego spinu, tworzymy tablice przesunięte: w lewo, w prawo, w górę i w dół i po prostu je dodajemy, co daje odpowiednie sumy dla wszystkich spinów na raz. Ten sposób programowania wymaga przyzwyczajenia, ale gdy to już nastąpi, staje się drugą naturą...

### Podsumowanie

Liczby losowe, syntetyczne szумы i metody Monte-Carlo stanowią chleb powszedni naukowców i inżynierów. Warto się z nimi zapoznać. Pozwalają obliczać wyniki symulowanych skomplikowanych eksperymentów, a także dostarczają sporo technik użytecznych dla teoretyków. Ciekawe jest, że komputery, bezduszne narzędzia, ślepo wykonujące dokładnie określone matematyczne operacje, pozwoliły na rozwój technik operujących losem, nieokreślonością, fluktuacjami... Nie jest to jednak zasługą informatyki, a raczej dobrych teorii matematycznych oraz intuicji tych, którzy zaczęli je stosować.





## Nagroda Nobla z fizyki 2003

### Nadprzewodniki w praktyce i nadciekłość jako nadprzewodnictwo

*Józef Spalek  
Instytut Fizyki UJ*

Nagrodę Nobla z fizyki otrzymali w tym roku: **Witalij Ginzburg** i **Aleksiej Abrikosow** za wkład do teorii nadprzewodnictwa oraz **Anthony Leggett** za wkład do teorii nadciekłości. Wszyscy trzej laureaci prace, które przyniosły im Nobla, zrobili już dość dawno temu.



Aleksiej A. Abrikosow



Witalij L. Ginzburg



Anthony J. Leggett

**Witalij Ginzburg**, razem z nieżyjącym już świetnym fizykiem radzieckim Lwem Landauem, zaproponował w roku 1950 prosty opis stanu nadprzewodzącego, który nie wymaga znajomości mikroskopowego mechanizmu kondensacji. Natomiast **Aleksiej Abrikosow** zastosował ten model w 1957 roku do opisu nadprzewodnika w polu magnetycznym i wykazał istnienie tzw. wirów kwantowych (worteksów). Dokładniej, Abrikosow wykazał istnienie nowej klasy nadprzewodników, tzw. II rodzaju, dla której możliwe jest utworzenie stanu z siecią takich wirów. Stan z wirami pozwala nadprzewodnikowi przetrzymać silne prądy, które produkują z kolei silne pola, wykorzystywane w magnesach nadprzewodzących, używanych w metodzie rezonansu magnetycznego, dużych akceleratorach czy lewitujących pociągach. Główne wyniki Abrikosow otrzymał w 1953 roku po wpływie badań doświadczalnych Zawaritskiego, który zauważył niezgodności z oryginalnymi wynikami teoretycznymi Ginzburga i Landaua. Nawiasem mówiąc, Landau przez pewien czas nie dowierzał swojemu uczniowi Abrikosowowi i opóźnił publikację jego pracy o ładnych parę lat.

Z kolei prace **Tony'ego Leggetta** dotyczą nadpłynności, czyli przepływu cieczy takich jak skroplony hel, bez lepkości (według niektórych naukowców stan

taki występuje w zewnętrznej powłoce gwiazdy neutronowej). Leggett zaproponował w 1972 roku, że nadciekłość można obserwować w eksperymentach nad ciekłym helu-3 w bardzo niskich temperaturach. Początkowo inaczej myśleli nawet ci fizycy, którzy to zjawisko zaobserwowali. Stan nadciekły to praktycznie stan nadprzewodzący par atomów helu-3. Różnica polega na tym, że w stanie nadprzewodzącym parują się elektrony z przeciwnymi spinami, natomiast w przypadku helu-3 w pary łączą się całe atomy z równoległymi spinami ich jąder atomowych! Typ parowania w ciekłym helu-3 zaproponowali wcześniej teoretycy (m.in. pionierską pracę napisał fizyk polski Zygmunt Galasiewicz z Wrocławia).

Wszyscy trzej fizycy są teoretykami i przewidzieli nowy typ zachowania materii skondensowanej, tzw. makroskopowe zjawiska kwantowe. Można rzec, że pokazali, jak należy rozumieć te piękne zjawiska, które są zjawiskami kwantowymi w skali makroświata. Obecnie stosuje się teorię nadprzewodnictwa do opisu stanu plazmy kwarkowo-gluonowej w materii subatomowej, mówi się też o efektach parowania nukleonów w jądrach atomowych.

Jak widać, tegoroczni nobliści uświadomili nam, że mieszkamy w świecie kwantowym. Byłoby pięknie, gdyby koncepcje takie dało się przenieść do biologii. Niektórzy (Roger Penrose) uważają zresztą, że mózg wykazuje typ kolektywności, charakterystyczny dla makroskopowych stanów kwantowych, ale to już zupełnie inny temat (bardzo ciekawy!).

Nagroda dla tych uczonych jest dużo spóźniona. W międzyczasie odkryto nadprzewodnictwo par elektronów ze spinami równoległymi, a więc znaleziono analog nadciekłych par helu-3 dla elektronów (w 2000 r.). W najbliższej przyszłości jeszcze wiele usłyszymy na ten temat, nie mówiąc już o nadprzewodnictwie wysokotemperaturowym. Nasz świat kwantowy (w skali makro) stale się rozszerza!

#### **Nadprzewodnictwo**

Zjawisko polegające na zaniku oporu elektrycznego metalu poniżej temperatury  $T_S$  (dla atomów obojętnych elektrycznie analogiczne zjawisko przyjmuje postać nadciekłości, tj. przepływu bez tarcia wewnętrznego). Charakterystycznym zjawiskiem jest *efekt Meissnera*, polegający na usuwaniu pola magnetycznego z nadprzewodnika, poza cienką warstwą powierzchniową materiału o głębokości  $\lambda$ . Teorią dającą poprawny opis nadprzewodników, takich jak Pb, Sn, In, Hg, jest teoria BCS (Bardeena-Coopera-Schrieffera). Nadprzewodniki dzielą się na I i II rodzaju. Te drugie charakteryzują się tym, że powyżej krytycznego pola magnetycznego ( $H_{C1}$ ) pole magnetyczne może wnikać do objętości nadprzewodnika w postaci nici (tzw. worteksów), z których każda niesie ze sobą kwant strumienia magnetycznego  $\Phi_0 = h/2|e|$ . Te nici tworzą *sieć Abrikosowa* w przedziale pól  $H_{C1} < H_a < H_{C2}$ ; powyżej  $H_{C2}$  stan nadprzewodzący jest niszczone. Prosty opis stanu nadprzewodzącego, kwantowania strumienia magnetycznego i *zjawisk Josephsona* uzyskuje się za pomocą pojęcia *makroskopowej funkcji falowej*, wprowadzonej przez *Ginzburga* i *Landaua*.

**Nadciężkość**

Przepływ cieczy kwantowej bozonów (np. ciekłego izotopu  $^4\text{He}$  w temperaturze poniżej  $T_S = 2,17\text{ K}$ ) bez lepkości. Uważamy, że wtedy atomy (lub pary atomów dla ciekłego  $^3\text{He}$ ) znajdują się w stanie skondensowanym. Stany wzbudzone oddzielone są przerwą energetyczną i, jeśli tylko ruch nie jest za gwałtowny (laminarny), układ nie absorbuje energii z zewnątrz ani jej nie oddaje podczas ruchu. Przy ruchu wirowym nadcieczy powyżej pewnej prędkości powstają wiry niosące kwanty krętu  $h$ . Stan nadciężki opisujemy przez zjawiska związane z kondensacją par typu BCS (Bardeena-Coopera-Schrieffer) lub kondensacją B-E (Bosego-Einsteina). Pary typu BCS to na przykład pary atomów ciekłego  $^3\text{He}$  lub neutronów w gwiazdzie neutronowej (ze spinami równoległymi). Kondensację B-E stosuje się do opisu nadciężkiego  $^4\text{He}$  lub bozonowych kondensatów atomowych. Stan nadciężki (nadpłynny) jest *makroskopowym stanem kwantowym*; charakteryzuje się przez *makroskopową funkcję falową*, określoną przez nieliniowe równanie Schrödingera, zwane równaniem Grossa-Pitaiewskiego.

**Nadprzewodniki wysokotemperaturowe**

Nowe nadprzewodniki, odkryte w ostatnich 16 latach, głównie na bazie związków *miedziowo-tlenowych*. Typowymi przykładami są  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  oraz  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  z temperaturą przejścia w stan nadprzewodzący odpowiednio  $T_S = 36\text{ K}$ ,  $90\text{ K}$  oraz  $110\text{ K}$ . Charakteryzują się one strukturą kwazidwuwymiarową, w której wyróżnia się płaszczyzny miedziowo-tlenowe o nominalnej jednostce strukturalnej  $\text{CuO}_2$ , w których przewodnictwo metaliczne ma charakter *dwuwymiarowy*. Uważa się, że elektrony w tych materiałach stanowią *nowy typ cieczy kwantowej*, której charakter nie jest jeszcze dobrze poznany. Niestandardowość tych nadprzewodników wynika chociażby z tego, że powstają one przez domieszkowanie izolatorów magnetycznych (tzw. *izolatorów Motta*). Nie jest też jasny wpływ nieporządku atomowego (domieszkowania) na własności układu ani mechanizm mikroskopowy parowania. Materiały te należą do tzw. układów z *silnie skorelowanymi elektronami*.

**Ferromagnetyki nadprzewodzące**

Materiały ferromagnetyczne, w których spiny są spontanicznie spolaryzowane poniżej temperatury  $T_C$ . Przejście do stanu nadprzewodzącego następuje w temperaturze  $T_S \ll T_C$  i zostało po raz pierwszy zaobserwowane w 2000 roku. Tworzące się pary muszą mieć spiny równoległe, bo pole molekularne rzędu  $H_{\text{mol}} \sim 160\text{ kOe}$  rozerwałoby pary z przeciwnymi spinami. Są zatem analogonem elektronowym par w  $^3\text{He}$ ! Przykładami ferromagnetyka nadprzewodzącego są związki  $\text{UGe}_2$ ,  $\text{URhGe}$  czy  $\text{ZnZr}_2$ .

**Plazma kwarkowo-gluonowa**

Stan skondensowanej materii kwarkowej bardzo wysokiej gęstości, przy czym parowanie kwarków następuje pod wpływem wymiany gluonu (w zwykłych nadprzewodnikach jest wymieniony kwant drgań sieci krystalicznej – fonon lub kwant wzbudzeń magnetycznych – magnon). Ponieważ mamy kilka rodzajów kwarków, więc taki kondensat kwarkowo-gluonowy może być rozumiany jako złożony z kilku podukładów nadprzewodzących. Kondensat taki nie został jeszcze jednoznacznie zidentyfikowany doświadczalnie.



## Witalij Ginzburg o swoich latach szkolnych

Fragment wywiadu przeprowadzonego przez Waldemara Siwińskiego z Witalijem Ginzburgiem został zaczerpnięty z czasopisma *Problemy* (10/1987).

*Oto siedzę sobie na wprost sympatycznego starszego pana o wysokim czole, czarnych krzaczastych brwiach i słucham opowieści o jego trudnej drodze do nauki. W gabinecie – ciasno. Biurko Witalija Lazarewicza Ginzburga zawałone redakcyjnymi odbitkami artykułów. Półki przepelnione poutykanymi w nieładzie książkami. Na ścianie obok okna naklejone na szarą tekturę czarno-białe zdjęcie Igora Tama, laureata Nagrody Nobla.*

– Właściwie miałem duży „niefart” – mówi akademik Ginzburg – w czasie gdy rozpoczynałem naukę, reorganizowano szkołę i wobec tego ukończyłem tylko 4 klasy, czego do tej pory żałuję.

*Jak to było możliwe?*

– Krytyka szkoły zawsze wywołuje moje rozdrażnienie – śmieje się mój rozmówca – mogę to wyjaśnić życiową „zasadą względności”, w tym przypadku porównaniem szkoły dzisiejszej (precyzyjniej, z okresu ostatnich 50 lat) ze szkołą, w której ja się uczyłem. Wydaje mi się, że przez pewien czas nie było nawet obowiązku chodzenia do szkoły; w każdym razie w 1927 roku poszedłem do 4 klasy, a do tego czasu uczyłem się w domu. Nie pamiętam przyczyn, które doprowadziły do takiej niewyobrażalnej w dzisiejszych czasach decyzji. Niewątpliwie rodzice chcieli jak najlepiej, możliwe, że odstraszył ich stan ówczesnej szkoły. Jednakże w tej szkole, do której ja poszedłem (było to „francuskie gimnazjum”), zachowali się w pełni kwalifikowani nauczyciele. Była w naszej szkole i fizyka, i niektóre inne przedmioty, jedne prowadzone lepiej, drugie gorzej, ale główne nieszczęście polegało na tym, że w 1931 roku, gdy ukończyłem siedem klas, wszystko uległo przerwaniu: „zostało uznane”, że pełna średnia szkoła nie jest potrzebna. Po kilku latach opamiętali się, pojawiły się szkoły dziesięciolatk, ale ja spędziłem w szkole tylko cztery lata.

I oto w wieku 15 lat trzeba było określić swoją drogę życiową. Pamiętam, jakie to było trudne, nawet męczące. Ze strony rodziny szczególnej pomocy nie otrzymałem. Ojciec, wysoko kwalifikowany inżynier, starszy ode mnie o 52 lata,

nauką się nie interesował. Braci i siostr nic miałem, brakowało więc tego środowiska, składającego się zarówno ze starszych, jak i rówieśników, które odgrywa tak ważną rolę przy formowaniu się osobowości, zainteresowań naukowych. Na szczęście jeszcze w szkole zaczęła się moja fascynacja fizyką. Stało się tak za sprawą książki O.D. Chwolsona *Fizyka naszych dni*. Była to popularnonaukowa książka o osiągnięciach i obliczu fizyki tego okresu. Teraz książek popularnonaukowych jest dużo, ale wówczas było ich mało. Dla mnie istniała tylko jedna – właśnie książka Chwolsona, którą wspominam z wielką wdzięcznością. Być może, właśnie ona zdecydowała o moim losie. Tak czy inaczej, nie poszedłem do szkoły fabryczno-zawodowej, tylko po półrocznym okresie niezdecydowania zostałem laborantem w laboratorium rentgenowskim w jednej z uczelni. Tam przebywałem stale z dwoma innymi laborantami, o 3 lata ode mnie starszymi, interesującymi się fizyką i wynalazczością (obaj, nawiasem mówiąc, zostali znanymi fizykami). Formalnie biorąc, niewiele się w laboratorium nauczyłem, ale przesiąknąłem czymś ważniejszym – zainteresowaniem pracą.

W 1933 roku po raz pierwszy przyjęcia na uniwersytet zaczęto przeprowadzać drogą otwartego konkursu. Postanowiłem wystartować, miałem 3 miesiące na przygotowanie się.

Egzaminy wstępne na wydział fizyki MGU (Uniwersytet Moskiewski) zdałem, ale niezbyt błyszcząco, i nie zostałem przyjęty. Nie czułem się obrażony (irytacja – inna sprawa), bo rozumiałem, że byłem źle przygotowany. Czekać rok i znowu startować nie chciałem – byłem już zbyt „rozgrzany” nauką. Dlatego rozpocząłem studia na wydziale zaocznym MGU, a w 1934 roku przeniósłem się na studia dzienne. Z formalnego punktu widzenia, czasu nie straciłem, ukończyłem wydział fizyki w roku 1938, w wieku 22 lat, tak jak „wypada” nawet dzisiaj osiągnięciem dobre wyniki młodemu człowiekowi. Ale brak normalnego szkolnego wykształcenia nawet po tylu latach wydaje mi się czynnikiem negatywnym. Spędzić 10 lat w szkole wydaje mi się szczęściem, mógłbym w tym czasie zrobić tak wiele! Być może jest to zresztą iluzja...

*Co z okresu szkolnej edukacji jest najważniejsze dla przyszłego uczonego?*

– Akademię Lew Landau żartował: „Kot uczony – wiadomo, o co chodzi, ale człowiek uczony – nie rozumiem, co to takiego!”. Lepiej więc mówić „fizyk” albo „pracownik naukowy”.

*Co jest więc ważne dla przyszłego „pracownika naukowego”?*

– **Na podstawie swego smutnego doświadczenia mogę wymienić cztery wymagania wobec szkoły, szczególnie ważne dla przyszłego fizyka.** (Wytłuszczenia od Redakcji).

**Po pierwsze – szkoła powinna dawać umiejętność pisania bez błędów językiem literackim, jasnego przekazywania swoich myśli.** Pewne umiejętności daje w tej mierze i uczelnia, na przykład w trakcie przygotowania artykułów naukowych i pracy dyplomowej. Ale podstawy powinna dawać szkoła. Mnie nie dała. W 1934 roku, na drugim semestrze, przeprowadzono u nas na uniwersytecie dyktando i połowa studentów, łącznie ze mną, otrzymała ocenę niedostateczną. Wprowadzono potem zajęcia z języka rosyjskiego, ale niewiele one mi dały. Potrzebny był trening, trening plus potrzeba korzystania z języka. Wszystko to może i powinna zapewnić szkoła. Muszę często zaglądać do słownika, myśleć nad budową nawet prostych fraz, sprawdzać to, co napisałem (...).

**Po drugie – szkoła powinna zapewnić automatyzm w zakresie elementarnej matematyki. Mam na myśli umiejętność szybkiego liczenia, nawyki w zakresie arytmetyki, algebry, trygonometrii, wykorzystania podręcznych komputerów.** To też osiąga się treningiem plus koniecznością korzystania. Uczniów nudzi odmienianie i koniugowanie, nauka zasad gramatyki, rozwiązywanie wiele razy prawie jednakowych zadań i dokonywanie przekształceń, które już w swej istocie są oczywiste. Dlatego właśnie, gdy w ciągu trzech miesięcy opanowałem materiał trzech lat, rozwiązałem, powiedzmy, 100 zadań zamiast 1000, które rozwiązywałbym w szkole. Rezultat tego – brak nawyków automatyzmu – odczuwam przez całe życie. Dlatego radzę nie oszczędzać czasu przez zmniejszenie liczby zadań, przykładów, ćwiczeń. To fałszywa oszczędność. Lepiej już byłoby racjonalnie skrócić program, nie wprowadzając do niego wielu elementów tego, co i tak będzie wykładane na studiach.

**Trzecie – nie wymaganie, a życzenie – jeszcze w szkole należy opanować język angielski.** Do drugiej wojny światowej dominował w fizyce język niemiecki, teraz nawet w RFN i NRD czasopisma fizyczne zamieszczają artykuły w przeważającej części po angielsku. Właśnie język angielski stał się międzynarodowym językiem nauki i koniecznością jest go znać. Tracić wiele czasu na uczelni, aby nauczyć się języka, byłoby po prostu głupie i nieracjonalne.

**Czwarta i ostatnia uwaga – należy zapewnić uczniom możliwość wyjścia poza program szkolny, zetknięcia się ze współczesnym stanem nauki.** Celowi temu służy u nas m.in. czasopismo *Kwant*, liczne wydania książek tworzących jego biblioteczkę, wiele czasopism popularnonaukowych. Lecz słysząc radę zaznajomienia się z tym fakultatywnym materiałem, uczniowie odpowiadają: „A skąd wziąć czas, skoro tak wiele zadają do domu”. Jest to i prawda, i nieprawda. Na to, co jest rzeczywiście interesujące, czas się znajdzie. Ale trudno wciągnąć się w coś, nie pokonując żadnych barier. **Nie można nauczyć się pływać, nie wchodząc do wody, a tam niezbyt ciągnie tych, którzy pływać nie umieją.** I tu oczywiście rola przypada nauczycielowi-entuzjaście. Pomogą również wykłady i dyskusje z kwalifikowanymi ludźmi, nieprzewidziane w żadnym programie.

*W tym, co pan mówi, jest dużo autoironii. Ale to pana przykład najdobitniej przekonuje, że mimo wszystkich braków edukacyjnych można zostać wybitnym uczonym!*

– Mając solidne podstawy, mógłbym jednak zrobić więcej. Dam jeden przykład. W jakiś sposób udało mi się przenieść na drugi semestr studiów dziennych, nie zaliczywszy astronomii. Możliwe, że w cyklu zaocznym o tym przedmiocie zapomniano, a na dziennym już było po wykładzie, który moi koledzy wspominali zresztą z zadowoleniem. Nawet nie zauważyłem, że w ogóle nie znam astronomii. Ale w 1946 roku zainteresowałem się nią, a potem i innymi nowymi kierunkami: astrofizyką promieni kosmicznych, gamma-astronomią. Wykonałem wiele prac w zakresie astrofizyki. Za granicą wielu w ogóle uważa mnie za astronoma, na podstawie moich prac w zakresie astrofizyki i moich występów na międzynarodowych konferencjach. A ja nie znalazłem nawet wolnego czasu, aby zapoznać się jak należy z mapą gwiazdzistego nieba! I gdy znajomi pytają, co to za gwiazda lub gwiazdozbiór, jedyne, co mogę zrobić, to poinformować ich o mojej niewiedzy w zakresie elementarnej astronomii. Najczęściej wywołuje to śmiech, ale nie na darmo powiedziano, że od wielkości do śmieszności jest tylko jeden krok... Na przykład fakt, że o istnieniu gwiazd supernowych dowiedziałem się z dużym opóźnieniem, w sposób istotny odbił się negatywnie na mojej pracy.

Wszystkie te narzekania mają jedno źródło – poczucie utraconych możliwości. Wymyślić (dokładniej: przewidzieć) jakiś efekt lub nieznanne zjawisko, wyjaśnić naturę już zaobserwowanego – to największe szczęście, jakiego przyszło mi doznać w nauce. A jak się to odbywa? Wiele zależy od zawartości naszego umysłu. Trzeba, przynajmniej powierzchownie, wiedzieć trochę o wszystkim, mieć czas myśleć i fantazjować, a to znaczy, być przygotowanym tak, żeby nie tracić drogiego czasu, umieć go efektywnie wykorzystywać.

(KC)



## Fizyk laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie medycyny w 2003 roku

*Barbara Blicharska*

*Instytut Fizyki UJ*

Z Nagrodami Nobla tak bywa, że czas, jaki upływa od momentu ważnego odkrycia do jego uznania przez komitet tej nagrody, bywa nieraz dość długi. Tegorocznymi laureatami Nagrody Nobla z medycyny zostali Paul Lauterbur oraz sir Peter Mansfield – a czekali na nią aż 30 lat! Laureaci: amerykański chemik i angielski fizyk, otrzymali ją za niewątpliwie jedno z największych osiągnięć w diagnostyce medycznej: za metodę obrazowania opartą na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR), zwaną po angielsku Magnetic Resonance Imaging (MRI) lub tomografią magnetyczno-rezonansową, a potocznie przez lekarzy po prostu „rezonansem magnetycznym”. *Foton* zamieszczał artykuły o MRI: w numerze 75, poświęconym fizyce medycznej, oraz niedawno w numerze 77.

Nagroda ta sprawiła nam radość, jako że obaj laureaci zostali już wcześniej docenieni i uhonorowani doktoratami honoris causa w Krakowie – Paul Lauterbur w 1988 roku otrzymał tytuł doktora h.c. krakowskiej Akademii Medycznej (obecnie Collegium Medicum UJ – promotorem był prof. Rudolf Klimek), a sir Peter Mansfield otrzymał doktorat h.c. Uniwersytetu Jagiellońskiego w jubileuszowym roku 2000 (promotorem był prof. J.S. Blicharski).



Zdjęcie zrobione w Zakładzie Radiospektroskopii IFJ w Krakowie w 1988 r., zaraz po otrzymaniu przez Paula Lauterbura doktoratu honoris causa Akademii Medycznej w Krakowie. Prof. P. Lauterbur siedzi w środku w pierwszym rzędzie, obok prof. J. Hennel, prof. A. Jasiński (po prawej od gościa) i prof. J.S. Blicharski (ostatni po lewej); w drugim rzędzie pracownicy zakładu



Zarówno Paul Lauterbur jak i sir Peter Mansfield odwiedzali Instytut Fizyki UJ oraz Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie. W czasie ostatniej swojej wizyty w 2000 roku P. Mansfield uczestniczył w organizowanej przez Zakład Radiospektroskopii IF UJ konferencji AMPERE IX NMR School w Zakopanem, gdzie zaprezentował swoje prace poświęcone obrazowaniu. Łącznie jest on autorem aż 300 prac i artykułów przeglądowych z dziedziny NMR oraz 25 patentów.

Jak pisze sam laureat (P. Mansfield) w Wielkiej encyklopedii NMR (wydanej na 50-lecie odkrycia tego zjawiska), w historii jego odkrycia były akcenty krakowskie. W końcu sierpnia 1973 roku w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego na konferencji First Specialized Colloque AMPERE, zorganizowanej przez prof. dr. Jacka Hennela, spotkało się wielu wybitnych specjalistów z dziedziny magnetycznego rezonansu jądrowego. Wśród nich wykładawcami byli dwaj przyszli laureaci Nagrody Nobla: chemik Richard Ernst (Nagroda Nobla za dwuwymiarową spektroskopię NMR w 1998 roku) ze Szwajcarii i fizyk Peter Mansfield z Uniwersytetu Nottingham, który w swoim plenarnym wystąpieniu, nieciekawie zatytułowanym *Multi-pulse Line Narrowing Experiments: NMR „Diffraction” in Solids?*, po raz pierwszy pokazał możliwości obrazowania za pomocą NMR.

Wykorzystanie NMR do obrazowania opiera się na tym, że stosując niejednorodne pole magnetyczne  $B_{\text{eff}}$  (realizowane w sposób kontrolowany za pomocą gradientów nałożonych na silne jednorodne pole  $B_0$ ) można z wybranego małego elementu objętości próbki, zwanego przez nas dalej voxel (np. sześciątka lub prostopadłościanu), otrzymać wyseparowany sygnał NMR. Warunkiem otrzymania tego sygnału NMR jest dopasowanie się częstości promieniowania elektromagnetycznego, którym naświetlana jest próbka, do warunku rezonansu:  $\omega = \gamma B_{\text{eff}}$ . Dla każdego voxela częstość ta jest inna. Częstość fali elektromagnetycznej fizycy umieją zmierzyć z ogromną precyzją  $10^{-11}$  i fakt ten pozwala na dokładną lokalizację przestrzenną voxela. Natężenie otrzymanego sygnału NMR zależy od ilości protonów (jąder wodoru) zawartych w voxelu. Zatem, jeśli każdemu voxelowi próbki, którego położenie zlokalizowaliśmy, przyporządkujemy stopień szarości zależny od natężenia sygnału NMR, to otrzymamy obraz wnętrza tej próbki. Pierwszym „fantomem” zobrazowanym tą metodą była fiołka z wodą, wewnątrz której umieszczono dwie puste rurki – na obrazie w miejscu rurek widzimy białe plamy o ich kształcie.

NMR jest metodą całkowicie nieinwazyjną, gdyż stosowane w czasie rejestracji sygnału NMR stałe pole magnetyczne i fala elektromagnetyczna o częstości



Sir Peter Mansfield

radiowej nie niszczy bardzo delikatnej próbki biologicznej i nie zaburza jej funkcjonowania, zatem obrazowaną próbką może być żywy człowiek.

Widząc ogromnie możliwości zastosowań tej metody obrazowania w diagnostyce medycznej, Peter Mansfield opatentował swoje odkrycia – on sam otrzymał za to od królowej Elżbiety II szlachectwo i tytuł lordowski „sir”. Po opatentowaniu budowa tomografów trafiła już w profesjonalne ręce inżynierów i techników – obecnie komercyjne urządzenia sprzedają znane światowe firmy takie jak Siemens, General Electric, Bruker, Toshiba, Philips itp. W Polsce w szpitalach i klinikach pracuje około 40 tomografów rezonansu magnetycznego, pomagając lekarzom głównie w diagnozowaniu chorób mózgu, kręgosłupa, serca. Obrazowanie „rezonansem magnetycznym” jest bowiem metodą pozwalającą na dużo lepsze kontrastowanie tkanki miękkiej w porównaniu z tomografią rentgenowską, która „widzi” głównie kości. Jest przy tym znacznie bardziej bezpieczne. Obok samego obrazowania, opartego na odwzorowaniu gęstości jąder wodoru, istnieje jeszcze wiele innych wariantów tomografii NMR: są to m.in. metody obrazowania odzwierciedlające rozkład czasów relaksacji próbki (tkanka chorobowa, np. rakowa, ma inne czasy relaksacji), obrazowanie rozróżniające tzw. przesunięcie chemiczne, czyli umożliwiające osobne pokazanie protonów wody i tłuszczu. Bardzo ciekawą alternatywę stanowi obrazowanie wykorzystujące tzw. pompowanie optyczne (patrz *Foton* 77), oparte na metodach optyki atomowej, które polaryzują gazy (hel i ksenon). Gazy te pozwalają na otrzymywanie obrazów płuc, które dotychczas były dla tomografii „niewidoczne”. Bardzo dynamicznie rozwija się także zlokalizowana spektroskopia medyczna, która dla każdego voxela pokazuje całkowite widmo NMR. Widmo takie zawiera linie pochodzące od wielu metabolitów tkanki, np. n-acetyloasparginianu (NAA), choliny, glukozy czy mleczanów – tak więc możliwa jest obserwacja procesów biochemicznych przebiegających *in vivo*. Obraz otrzymany za pomocą tomografu może być również modyfikowany przepływem cieczy (np. krwi), wtedy nazywa się angiografią MR, może być obrazem zsynchronizowanym z EKG – czyli tomografią bijącego serca lub obrazem wzmocnionym środkiem kontrastowym – tomografią kontrastową MR.

Jak wspomniano, metoda obrazowania NMR jest jednym z największych osiągnięć diagnostyki medycznej w ostatnim czasie. I co ciekawe – do jej odkrycia przyczynili się głównie fizycy, którzy podali ideę działania tomografu i wymyślili wiele użytecznych rozwiązań przydatnych w ich konstrukcji. Corocznie w pierwszych dniach grudnia polscy specjaliści NMR spotykają się na seminarium w IFJ w Krakowie, podczas którego prezentują swoje dokonania w tej dziedzinie. W grupie uczestników tych spotkań jest też sporo lekarzy – metoda tomografii NMR opracowana przez fizyków znalazła się wśród ich narzędzi diagnostycznych.

Mamy nadzieję, że gdy już przeminą wszystkie uroczystości związane z celebracją wręczenia nagrody w Sztokholmie, uda się nam uzyskać dla czytelników *Fotonu* wywiad z tymi wybitnymi uczonymi.



## Festiwal „Fizyka na Scenie 3” Noordwijk, 8–15 listopada

*Zofia Gołąb-Meyer*

W tym roku po raz trzeci został zorganizowany festiwal „Physics on Stage” (PoS), czyli „Fizyka na Scenie”. Odbył się on, podobnie jak i poprzedni, w Holandii w Noordwijk, w dniach od 8 do 15 listopada 2003. Miejscowość ta została wybrana nie przypadkiem. Leży ona tuż obok siedziby ESA (European Space Agency), instytucji współorganizującej festiwal. Pozostali organizatorzy to:

CERN

ESA

ESO (European Southern Observatory) – Europejskie Obserwatorium Południowe

EMBL (European Molecular Biology Laboratory)

EFDA (European Fusion Development Agreement)

ESRF (European Synchrotron Radiation Facility)

ILL (Institute Laue-Langevin)

European Physical Society

European Association for Astronomy Education – Europejskie Towarzystwo Nauczania Astronomii.



Nasza delegacja

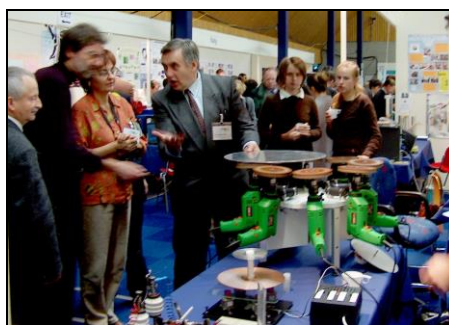
PoS 3 zgromadził ponad 500 osób z 22 krajów. Uczestnicy z poszczególnych krajów zostali wyłonieni na krajowych imprezach. Dwudziestu siedmiu polskich uczestników (taki dostaliśmy przydział) zostało wybranych w czasie krajowej imprezy „Fizyka na Scenie” w Poznaniu i wyłonionych ostatecznie w Gdańsku w czasie Zjazdu Fizyków Polskich. W sumie jednak polska delegacja była liczniejsza, bo dodatkowo w jej skład wchodził prezes PTF Profesor Maciej Kolwas

oraz uczniowie, żony i mężowie uczestników. Pełna lista umieszczona jest w Internecie na stronie PTF. Jury konkursu polskiej edycji „Fizyki na Scenie” miało w Gdańsku poważny kłopot z wyłonieniem najlepszych spektakli i pokazów. Wszystkie były znakomite. Na końcu artykułu wymieniamy finałowe imprezy.

Do finałowej prezentacji organizatorzy zakwalifikowali przygotowany przez Małgorzatę Masłowską i Marię Poniatowską z Koźminka pokaz pt. „Dlaczego śledzie nie pływają w jeziorze i co to ma wspólnego z chrupiącą marchewką”. Pokaz odbył się w pierwszym dniu festiwalu i od razu wyróżnił pozytywnie polską delegację. Przygotowany profesjonalnie, z ciekawymi doświadczeniami, doskonale wpisanymi w interesujący scenariusz, świetnie spełnił wymogi edukacyjne i „rozrywkowe”.



Panie Masłowska i Poniatowska w akcji



Adam Starnawski demonstruje lewitację magnetyczną

Festiwal „Fizyka na Scenie” obejmuje imprezy plenarne, targi, dyskusyjne warsztaty oraz imprezy towarzyskie, integrujące.

Imprezy plenarne organizatorzy podzielili na trzy kategorie: przemówienia (otwarcia, zamknięcia itp.), prezentacje i tzw. przedstawienia. Wśród siedmiu przedstawień odbyły się dwa spektakle artystyczne, baletowe, reszta była ilustracją zjawisk i teorii fizycznych.

Drużyny niemieckich nauczycieli pokazały dwa bardzo żywe spektakle, pełne demonstracji fizycznych, zarówno tych klasycznych, jak i częściowo nowych. „Beautiful Physics and Life” (Piękna fizyka i piękne życie) to świetnie wyreżyserowany spektakl na scenie. Drgały sfalowane ogniki gazu, wibrowała muzyka, demonstratorzy stawali na rękach, nieomalże dokonywali sztuczek cyrkowych. Do drugiego występu „No tricks, only Physics” (To nie triki, to fizyka) zaproszono do współdziałania mistrza walk wschodnich, trenera. Demonstrował on sztuki łamania desek oraz unieszkodliwiania przeciwnika. Nauczyciel fizyki objaśniał „fizykę” kryjącą się za tymi trickami, wymagającymi zresztą olbrzymiego treningu. Pokaz

w zasadzie przypominał polski, „Fizyka ping-ponga”, sprzed trzech lat. Nie da się ukryć, że nasz, przygotowany przez śp. Profesora Krzysztofa Ernsta, przewyższał ten ostatni. Nasz był przygotowany dużym nakładem kosztów i energii. Zaproszono wtedy mistrzów ping-ponga, mima i prezentera telewizyjnego (*Foton* 76). Być może tym razem chodziło o pokazy bardziej „naturalne”, bliższe realizacji szkolnej. Takie właśnie, szkolne, w pełni amatorskie i spontaniczne, były trzy spektakle uczniowskie. Za pomocą przedstawienia „Alicja w krainie kwantów” uczniowie chcieli objaśnić swoim kolegom prawa rządzące w mikroświecie, w świecie molekuł, atomów, jąder i cząstek elementarnych. Doskonała rzecz do podsumowania materiału. Humor i dowcipy są wtedy bardzo doceniane. Międzynarodowym przedsięwzięciem uczniów (Bułgaria, Włochy i Holandia) było przedstawienie o szkole międzygwiazdnej („School for Skywalkers”). Była to nauka astrofizyki. Nauka o barwach „Eye like Physics” w wykonaniu uczniów austriackich zachwycała jedynie wykonaniem piosenki, demonstrowane wiadomości z fizyki były mizerne. Natomiast już w założeniu nie miały ambicji uczyć niczego z fizyki dwa inne przedstawienia zespołów baletowych: dorosłych z Genewy i – doskonały – uczniów z Anglii (MUT).

Prezentowane w czasie polskiej edycji „Fizyki na Scenie” przedstawienia, moim zdaniem, nie tylko nie odbiegały poziomem od tych wystawionych w Nordwijk, ale nawet były lepsze.

Wszystkie instytucje i laboratoria współorganizujące festiwal miały swoje prezentacje. Były one bardzo profesjonalne, bez specjalnych fajerwerków. Miały zainteresować i zaintrygować badaniami oraz pracami wykonywanymi w wymienionych laboratoriach. ESA była w wyjątkowo korzystnej sytuacji, ponieważ uczestnikom umożliwiono zwiedzanie laboratoriów ESA. Prawie że można było zajrzeć przez ramię pracującym naukowcom i technikom. Dreszcz emocji przechodził przy odczuwaniu zapachu spalenizny kapsuły lądowniczej rosyjskich kosmonautów!

Spośród dziesięciu prezentacji bardzo pozytywnie wyróżniła się polska „o śledziu”. Uonorowana pierwszą nagrodą hiszpańska prezentacja o mechanizmie widzenia („Experiments on the Physics of Vision”) zasługiwała na nią w pełni. Dotyczyła nieomawianych często na lekcjach fizyki i wykładach mechanizmów związanych z tworzeniem obrazów i budową oka. Prowadzący prezentację cały czas utrzymywał uczestników w akcji. Wszyscy dokonywali własnych obserwacji i doświadczeń z pomocą rozdanych wcześniej minizestawów doświadczalnych. Ja przynajmniej dowiedziałam się paru rzeczy, wcześniej mi nieznanych. Jury festiwalu wysoko oceniło wystąpienie nauczycieli angielskich „Food for life”. Spodobała się pomysłowość w wykorzystaniu produktów żywnościowych do demonstracji, a nawet pomiarów współczynnika sprężystości takich artykułów, jak guma do żucia, herbatniki. Anglicy są znani z tego, że od dawna ich podręczniki pełne są tzw. życiowych przykładów. Belgowie przywieźli to, co publiczność

bardzo lubi: efektowne, prowadzone w szybkim tempie pokazy doświadczeń. Klasyczni Włosi pokazali materiał gotowy do użycia na lekcjach: „Galileo and the Moon” (Galileusz i Księżyc). Było to bardzo zgrabne wykorzystanie nowych technik (prezentacja w PowerPoincie, z dźwiękiem, wykorzystanie materiałów historycznych o wiedzy Galileusza na temat Księżyca oraz proste doświadczenia dotyczące zjawisk odbicia, rozpraszania przez rozmaite materiały).

Szkoda natomiast, że arcyciekawym pomysłem i realizacją udziału uczniów z prowincjonalnej szkoły we Francji w doświadczeniu kosmicznym (badanie wpływu stanu nieważkości na rozmnażanie drożdży i cechy genetyczne nowych komórek) został przedstawiony mało efektownie.

Mijał się z miejscem prezentacji skądinąd ciekawy wykład o programie nauczania fizyki dla weterynarzy na Słowacji.

Holenderski wykład o nowych możliwościach fizyki w diagnostyce fizycznej, fachowo korzystający z dobrodziejstw nowoczesnej techniki prezentacji, był ciekawy, aczkolwiek niczym szczególnym się nie wyróżnił.

Można powiedzieć, że trzy edycje „Fizyki na Scenie” ustawiły dość wysoko poprzeczkę i standardy wykładów popularnych. Widać było wszystkie korzyści płynące z nowych technik prezentacyjnych. Pokazano też wzory modnych i coraz powszechniej wykorzystywanych w szkole „teatralizowanych” lekcji. Nauczyciele i uczniowie to polubili. Teraz należy tylko zbierać pomysły na nowe scenariusze i je upowszechniać. Widać, że odżyły, lubiane od czasu oświecenia, pokazy fizyczne. Dawniej zabawiały się nimi elity, teraz są przeznaczone dla szerszej publiczności.

Niewątpliwie najważniejszą funkcją festiwalu są targi pokazów i doświadczeń. Każde państwo biorące udział w festiwalu oraz instytucje współorganizujące miały swoje stoiska. Wszyscy chcieli przyciągnąć zwiedzających. Talenty aktorskie, szołmeńskie, rozdawane gadzety i słodczyce były narzędziem walki o widza. Czasami skutecznym. Pewien Węgier, który jak raz złowił widza i słuchacza, by demonstrować efektownie oddziaływania elektrostatyczne i magnetyczne, i nie puszczając go przez pół godziny, został zauważony przez jury. Myślę, że za wytrwałość, gdyż interpretacja jego niektórych pokazów była, moim zdaniem, dość zawiła. Wyróżniono stoisko czeskie, jak zwykle u Czechów pełne najprostszych pomysłów, często powiązanych zgrabnymi „życiowymi” scenariuszami. Czytelnikom *Fotonu* postaramy się udostępnić niektóre pomysły. Po ciekawe koncepcje sięgało parę drużyn (fizyka w kuferku lekarza, fizyka przy badaniu lekarskim). Widziałam dwa prawie identyczne modele płuc. Można było znaleźć stare klasyczne doświadczenia, takie jak wahadło Foucaulta, tworzenie się błon mydlanych. Ukłonem w stronę klasyki było kwestionowane przez niektórych wyróżnienie dla Hiszpanów za doświadczenia z błonami mydlanymi. Polskie doświadczenia z Katowic, wyróżnione na polskiej edycji „Fizyki na Scenie”, państwa Jerzego Jarosza i Anety Szczygielskiej z uniwersytetu w Katowicach, zostało wyróżnione

specjalną nagrodą. Obiektem badań były jajka. Jaja w ogóle były częstym tematem demonstracji.



Pani Raczkowska z modelem płuc (stoisko włoskie)

Polskie stoisko było powszechnie chwalone. Codziennie kto inny się na nim prezentował. Efektowne i przyciągające widzów były doświadczenia z lewitacją magnetyczną Adama Starnawskiego z Krakowa oraz innego fachowca, z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej z Lublina, pana Ciemniewskiego. Ale nie tylko specjaliści z uniwersytetów przyciągali widzów do naszego stoiska. Prezentacje nauczycieli były również efektowne.

Przy tak bogatej ekspozycji trudno o jednolitą ocenę stoisk. Każdy znajdował na nich coś innego. Nie ulega wątpliwości, że nauczyciele wszystkich szczebli odkrywali rzeczy warte podpatrzenia, skopiowania. Nawiązywali osobiste kontakty z innymi szkołami. Podejmowali współpracę. Zauważyłam udział nauczycieli nie tylko fizyki i przyrody, ale również języka angielskiego. To dobrze!

Warsztaty są ważną częścią festiwalu – jeden z ważniejszych prowadził profesor Wojciech Nawrocik „Nauczanie fizyki w poszerzonej Unii Europejskiej”. I choć było dużo różnych warsztatów, i wydawałoby się, że było zbyt mało czasu, by poważniej rozpatrzyć ważne problemy, to jednak wszystkie prowadziły do podobnych wniosków i postulatów. To te wnioski mogą zadecydować o „modach” w nauczaniu w przyszłości. Wszyscy postulowali konieczność lepszych międzynarodowych kontaktów dzięki pokonaniu bariery języka. Sieć z tłumaczonymi publikacjami, pełnym filmowym obrazem (język niepotrzebny), łatwo dostępna, staje się rzeczywistością. W czasie festiwalu udowodniono rolę bezpośrednich spotkań nauczycieli.

Festiwal został zauważony przez holenderskie media. Otwarcia dokonał książę Johan Friso oraz pani minister edukacji Holandii. Zwiedzili oni stoiska targowe, co dokładnie relacjonowała telewizja.

Organizatorzy sprawili niespodziankę uczestnikom festiwalu, zapraszając ekipę studentów z Lejdy, która wygrała w Australii wyścig na własnoręcznie skonstruowanym pojeździe napędzanym energią słoneczną.

Do niewypałów zaliczyłabym pomysł na „fizykę w kuchni”, która miała miejsce w olbrzymiej restauracji. Siedząc przy stolikach głodni, mieliśmy przez dłuższy czas okazję, by wąchać zapachy i oglądać na telebimie sposoby przyrządzania potraw, a następnie obserwowania, jak inni je pałaszują. Dobrze, że potem, po odstaniu w kolejce, można się było w końcu też posilić.

Należy przyznać, iż impreza na tak wielką liczbę uczestników była zorganizowana bezbłędnie i z wdziękiem organizatorek (pod przewodnictwem Helen Wilson). Hotel czterogwiazdkowy oferował luksusy niedostępne na co dzień. Z jednej strony, wzbudzało to myśli, że można by lepiej, na edukację, spożytkować te pieniądze, z drugiej jednak strony, odrobina luksusu wzmacnia pozytywne wspomnienia i wrażenia z FoS 3.

#### **Krajowy finał „Fizyki na Scenie”, Gdańsk 2003 – Zapraszamy do fotogalerii na stronach PTF**

Jury zakwalifikowało do zgłoszenia na konkurs do Genewy następujące przedstawienia:

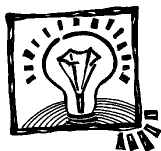
- „Lekcja dla Ikara”, uczniowie z Gimnazjum nr 2 w Opolu z opiekunką mgr Krystyną Raczkowską-Tomczak (zespół otrzymał nagrodę publiczności za doświadczenia pokazowe w Konkursie PTF w Krakowie w 2002).
- „Kłęska Lidii Bee”, uczniowie z Zespołu Szkół Ogólnokształcących w Cieszynie pod opieką mgr Danuty Bartnik. Bardzo profesjonalnie przygotowane przedstawienie z użyciem nowych środków technicznych, doskonale aktorsko. Pokazano zjawiska i złudzenia optyczne.
- „Sąd nad promieniotwórczością”, uczniowie z Zespołu Szkół Ogólnokształcących w Zambrowie z mgr Feliksą Gawkowską. Przedstawienie oparte na rzeczywistych faktach, jakie miały miejsce w zeszłym roku w Białymstoku. Oparzono wtedy, w czasie wadliwej terapii promieniowaniem jądrowym, pacjentki szpitala onkologicznego.

Demonstracje:

- „Jajko jako symbol życia”, dr Jerzy Jarosz i Aneta Szczygielska, UŚ, Katowice
- „Dlaczego śledzie nie żyją w jeziorze i co to ma wspólnego z chrupiącą marchewką”, mgr Małgorzata Masłowska i mgr Maria Poniatowska z Gimnazjum w Koźminku.

Zarówno przedstawienia jak i demonstracje były prowadzone w języku angielskim. Z satysfakcją obserwujemy postęp, jaki dokonał się w nauczaniu tego języka.





## KĄCIK DOŚWIADCZALNY

### Doświadczenie pod choinkę

*Anna Okoniewska  
Gimnazjum Społeczne, 77-115 Nożyno*

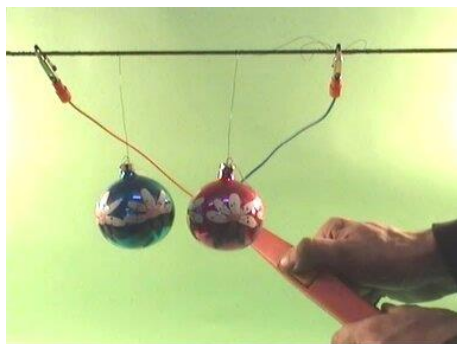
*Grzegorz Karwasz  
Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk  
i Uniwersytet w Trydencie, Włochy*

Zapalacz piezoelektryczny do gazu i dwie bombki choinkowe mogą posłużyć do ilustracji prawa Coulomba. Bombki zawieszamy obok siebie, w odległości około 1 cm, na cienkim (np. o średnicy 0,1 mm) drucie izolowanym, jak ze starego transformatora dzwonkowego lub słuchawek. Zdejmujemy (zeskrobujemy) izolację z drutu na jego końcach. Z drugiej strony druty podłączamy do dwóch biegunów zapalacza. W zapalaczu należy zdjąć metalowy czubek, aby nie przeskakiwała iskra; po zdjęciu kapturka łatwiej jest też podłączyć druty.



Podłączywszy bombki do różnych biegunów, naciskamy zapalacz – obserwujemy zbliżanie się bombek, a właściwie ich szybkie zderzenie. Podłączając trzecią bombkę do jednego z biegunów, obserwujemy, jak dwie bombki tego samego znaku odpychają się (bombkę znaku przeciwnego należy umieścić dalej, aby siła przyciągania była mała; obecność bombki przeciwnego znaku jest niezbędna dla wypływu ładunku z zapalacza).

Zapalacz dostarcza napięcia rzędu  $\pm 10$  kV, ładunek na każdej z bombek jest mały (dla średnicy bombek 4 cm wynosi  $2 \times 10^{-8}$ C). Siła, z jaką przyciągają się bombki odległe o 5 cm, jest bardzo mała (1,4 mN), podczas gdy wychylenie o  $1,5^\circ$  od pionu (tj. o 0,5 cm bombki zawieszony na 20-centymetrowym drucie) bombki o masie 5 g wymaga siły 1,2 mN. Zatem aby zaobserwować zderzenie, bombki muszą być naprawdę blisko siebie.



Z drugiej strony, bombki zderzają się, poruszając się ruchem „więcej niż” jednostajnie przyspieszonym – siła przyciągania rośnie proporcjonalnie do kwadratu ich „zblżenia” ( $F_C \propto 1/r^2$ ), podczas gdy siła przeciwdziałająca, wynikająca z odchylenia bombek od pionu, rośnie tylko liniowo ( $F_G \propto r$ ).

Oczywiście, do tego samego pokazu można użyć maszyny elektrostatycznej i styropianowych kulek zawiniętych w aluminiową folię lub pokrytych grafitem koloidalnym, ale nie będzie to już *doświadczenie pod choinkę*.



## Zadania Turnieju Młodych Fizyków 2004

Opublikowano już w Internecie (<http://ptf.fuw.edu.pl/tmf.html>) zadania z Turnieju Młodych Fizyków 2004. Z kompletu zadań wybraliśmy zestaw „deserowo-space-rowy”. Doświadczenia niezbędne do rozwiązania zadań są proste i mogą je wykonać nawet uczniowie gimnazjum. Ich interpretacja jednak nie zawsze (plazma, moneta) jest łatwa. Jednak sam fakt przemyślanego przeprowadzenia eksperymentu i dobrego opisu też jest bardzo cenny.

- **Uparty lód**

Umieść kawałek (np. kostkę) lodu w naczyniu z olejem roślinnym. Obserwuj ruch lodu i dokonaj ilościowego opisu dynamiki tego ruchu.

- **Proszkowa plama**

Opisz i wyjaśnij dynamikę wzorów, które można zaobserwować po nasypaniu odrobiny suchego proszku (np. drobno zmielonej kawy lub mąki) na powierzchnię wody. Zbadaj zależność obserwowanego zjawiska od istotnych parametrów.

- **Muszla**

Gdy przyłoży się morską muszlę do ucha, można usłyszeć „szum morza”. Zbadaj naturę oraz charakterystykę tego dźwięku.

- **Moneta**

Na poziomej powierzchni postaw monetę na jej krawędzi. Delikatnie zakręć monetą i zbadaj jej ruch w trakcie upadania.

- **„Kaczki” na wodzie**

Możliwe jest rzucenie płaskiego kamyka w taki sposób, że będzie się on wielokrotnie odbijał od powierzchni wody. Jakie warunki muszą być spełnione, aby zachodziło to zjawisko?

- **Telefon sznurkowy**

Jak natężenie dźwięku przesyłanego przez telefon sznurkowy (strunowy) oraz jakość przekazu między nadajnikiem a odbiornikiem zależą od odległości, naprężenia sznurka (struny) oraz innych parametrów? Zaprojektuj optymalną konstrukcję takiego telefonu.

- **Białko jajka**

Białe światło po przejściu przez plasterek ugotowanego białka jaja staje się czerwone. Zbadaj i wyjaśnij to zjawisko. Znajdź inne przykłady tego rodzaju.

- **Większe górą**

Podczas wstrząsania mieszaniny stałych cząstek większe z nich mogą się wydostawać ku górze, ponad cząstki drobniejsze. Zbadaj i wyjaśnij to zjawisko. W jakich warunkach można otrzymać odwrotny efekt?



## KĄCIK ZADAŃ

*Sławomir Brzezowski*

### ZADANIE

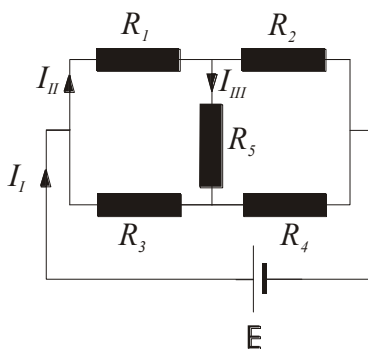
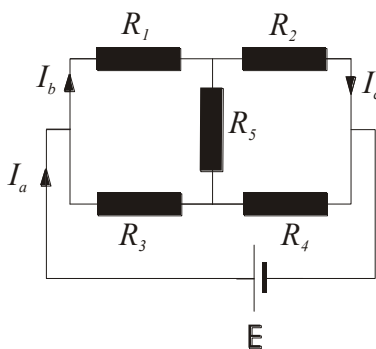
Udowodnij, że liczba niezależnych równań liniowych, jakie wynikają z praw Kirchhoffa i pozwalają na obliczenie natężeń prądów płynących w rozgałęzionych obwodach elektrycznych, równa jest liczbie niezależnych prądów.

**Pierwsze prawo Kirchhoffa** sprowadza się do stwierdzenia, że suma natężeń prądów wpływających do danego węzła (a więc do dowolnego fragmentu obwodu połączonego z resztą obwodu pewną liczbą przewodów) jest równa sumie natężeń prądów wypływających. Prawo to możemy traktować jako zapis zasady zachowania ładunków.

Pierwsze prawo Kirchhoffa pozwala zidentyfikować niezależne natężenia prądów. W przypadku obwodu pokazanego na rysunku jako niezależne można na przykład wybrać natężenia  $I_a$ ,  $I_b$  i  $I_c$ . Można też wybrać natężenia w innych gałęziach obwodu, ale jakkolwiek je wybierzemy, będą to dla tego obwodu **trzy** natężenia. Poprawny wybór natężeń niezależnych wymaga pewnej wprawy. Należy kierować się dwoma wskazaniem:

1. Liczba natężeń niezależnych równa jest liczbie niezależnych pętli w obwodzie, a tych z kolei jest tyle, ile co najmniej gałęzi obwodu trzeba usunąć, aby nie zawierał on żadnych pętli.
2. Żaden węzeł obwodu nie może spinać samych niezależnych prądów.

Wynika z tego, że równie dobrze mogliśmy do roli prądów niezależnych wybrać prądy  $I_I$ ,  $I_{II}$ ,  $I_{III}$ . Zaznaczone na schemacie kierunki, w których prądy te będą zliczane jako dodatnie, są najzupełniej dowolne. Gdyby się miało okazać, że prąd umowny, wyliczony z równań, które za chwilę poznamy, miał pły-



nać w kierunku przeciwnym, niż to wstępnie zaznaczyliśmy na rysunku, to dla tego prądu dostaniemy ujemną wartość. Dlatego tam, gdzie kierunek prądu jest „widoczny”, warto od razu kierować strzałki tak, jak będzie płynął prąd. Dotyczy to na przykład prądów  $I_I$  i  $I_{II}$ . Rzeczywistego zwrotu prądu  $I_{III}$  nie potrafimy oczywiście przewidzieć.

Zgodnie z **drugim prawem Kirchhoffa** suma spadków potencjałów, zliczana wzdłuż dowolnej zamkniętej pętli obwodu, równa jest zero.

Stwierdzenie to nie jest niczym nowym: wędrując wzdłuż pętli, kreślimy w przestrzeni drogę zamkniętą, a to – wobec zachowawczości pola elektrycznego, pochodzącego od niezależnego od czasu rozkładu ładunków – oznacza zerową zmianę potencjału. Okazuje się jednak, że obydwie prawa Kirchhoffa, traktowane łącznie, są wystarczające do obliczenia wszystkich prądów w dowolnie skomplikowanej sieci połączeń.

Zanim udowodnimy, że tak jest w istocie, rozważymy przykład w postaci obwodu przedstawionego na ostatnim rysunku.

Wypiszemy teraz równania wynikające z drugiego prawa Kirchhoffa dla przykładowego obwodu, który tu rozważamy. Mamy oczywiście trzy równania (bo są trzy niezależne pętle) na trzy niewiadome  $I_I$ ,  $I_{II}$ ,  $I_{III}$ :

$$I_{II}R_1 + (I_{II} - I_{III})R_2 + I_I R_w - E = 0,$$

$$I_{II}R_1 + I_{III}R_5 + (I_{II} - I_I)R_3 = 0,$$

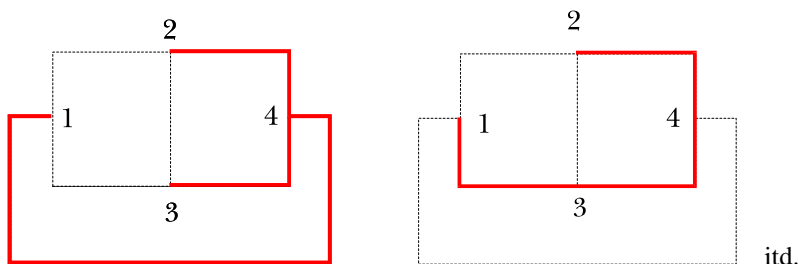
$$I_{II}R_1 + (I_{II} - I_{III})R_2 + (I_{II} - I_{III} - I_I)R_4 + (I_{II} - I_I)R_3 = 0.$$

Wypisując taki komplet równań, możemy korzystać z dowolności wyboru pętli niezależnych. Na przykład pisząc ostatnie równanie, wybraliśmy pętlę obejmującą opory  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , i  $R_4$ . Zamiast tego mogliśmy jednak wybrać pętlę z oporów  $R_2$ ,  $R_4$  i  $R_5$  pisząc zamiast ostatniego równania równanie:

$$(I_{II} - I_{III})R_2 + (I_{II} - I_{III} - I_I)R_4 - I_{III}R_5 = 0.$$

Udowodnimy teraz, że liczba równań wyznaczanych przez obydwie prawa Kirchhoffa jest zawsze równa liczbie niewiadomych (niezależnych prądów). Na użytek tego dowodu nie będziemy rozróżniać prądów zależnych od niezależnych. Tak więc wszystkim liniom obwodu przypisujemy dowolne zwroty i zgodne z tymi zwrotami prądy. Niech rozważany obwód ma  $n$  wierzchołków (węzłów) i  $l$  linii łączących te wierzchołki. Rysowanie tego obwodu zaczynamy od narysowania wierzchołków (czyli punktów). Następnie rysujemy możliwie dużo należących do

danego obwodu linii łączących te punkty, ale tak, aby nie powstała żadna pętla. W ten sposób narysujemy **drzewo**. Ostatni obwód, który rozważaliśmy, ma  $n = 4$  wierzchołki. Drzewami tego obwodu są na przykład diagramy:



Każde drzewo ma dokładnie  $n - 1$  linii. Wynika to z tego, że rysując drzewo, zaczynamy od narysowania dowolnej linii łączącej dwa węzły. Do tej linii dorysowujemy dalsze linie w taki sposób, aby nie zamknąć żadnej pętli. Dlatego dorysowanie każdej kolejnej linii powoduje dołączenie dokładnie jednego nowego węzła. Kiedy wszystkie węzły są już dołączone, nie sposób narysować linii, bo zamknemy jakąś pętlę: drzewo jest gotowe. Pierwsza linia wprowadziła dwa wierzchołki, każda następna po jednym.

Określmy teraz liczbę niewiadomych natężeń prądów i liczbę równań. Natężeń jest oczywiście tyle, ile linii, czyli  $l$ . Z pierwszego prawa Kirchhoffa mamy tyle równań, ile węzłów (bilans prądów wchodzących do każdego węzła). Równania te są jednak zależne. Po zbilansowaniu prądów w  $n - 1$  węzłach, prąd w  $n$ -tym węzle jest bowiem zbilansowany automatycznie<sup>1</sup>. Mamy więc  $n - 1$  równań z pierwszego prawa Kirchhoffa.

Drugie prawo Kirchhoffa dostarczy tylu równań, ile jest pętli w obwodzie. Po narysowaniu dowolnego drzewa danego obwodu ( $n - 1$  linii) dorysowujemy pozostałe linie. Każda z nich zamyka nową pętlę. Linii tych (czyli pętli) jest oczywiście  $l - (n - 1)$ . Mamy więc  $l - (n - 1)$  kolejnych równań. Równania te są niezależne, ponieważ każde kolejne równanie odpowiada kolejnej zamykanej pętli, czyli zawiera nowy prąd (ten, który płynie w linii zamykającej tę pętlę). Razem równań jest więc  $[n - 1] + [l - (n - 1)] = l$ , czyli tyle, ile niewiadomych prądów.

<sup>1</sup> Jeżeli grupa uczciwych osób dokonuje między sobą skomplikowanej wymiany pieniędzy, przy czym jedna z tych osób „trzyma kasę”, to gdy po zakończeniu całej wymiany wszyscy stwierdzą, że mają tyle gotówki, ile trzeba, kasjer w zasadzie nie musi sprawdzać, czy suma w jego portfelu jest prawidłowa.



## Niebo na wakacjach

*Lucyna Gut  
Zespół Szkół w Libiążu*

W dniach od 24 lipca do 04 sierpnia 2003 na Hali Łabowskiej w Beskidzie Sądeckim, w paśmie Jaworzyny Krynickiej odbył się III OSOP (Obóz Szkoleniowo-Obserwacyjny PTMA), organizowany przez Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii. Szefem obozu był dr Sławomir Stachniewicz – adiunkt IFJ.



Uczestnicy OSOP 2003

W obozie uczestniczyło 20 miłośników astronomii z całej Polski. Wśród nich można było spotkać zarówno osoby z wieloletnim doświadczeniem i o ogromnej pasji, np. pana Tadeusza Szufę z Oświęcimia, jak też młodzież ze szkół średnich, gimnazjum i nawet ze szkoły podstawowej. Oczywiście byli też studenci, nauczyciele, ekonomiści i emeryci. Pomimo tak dużej rozpiętości wieku i profesji uczestników obóz był prowadzony kompetentnie. Codziennie odbywały się dwa wykłady, na których wykładowcy dzielili się swoją wiedzą i doświadczeniem. Jeżeli w nocy dopisywała pogoda, prowadziliśmy obserwacje.

Obserwacjom sprzyjało bardzo dobre położenie Hali Łabowskiej. Dobrze widoczne było niebo  $5^\circ$  nad horyzontem. Jedynie na północnym zachodzie niebo rozjaśniała łuna światła Nowego Sącza. Plusem dla miłośników astronomii był fakt, że schronisko nie było podłączone do sieci elektroenergetycznej, tylko miało swój agregat prądotwórczy. Tak więc „prąd był reglamentowany” od 20 do 22 godziny. Po 22.00 schronisko gasło i można było wytaczać sprzęt. A było tego sprzętu trochę. Podziwialiśmy organizatorów, że na tak niedostępnej halę udało im się zabrać tyle ciężkiego sprzętu.

Były między innymi dwa refraktory: Carl Zeiss Jena  $\phi 110$  mm,  $f = 1650$  mm i  $\phi 80$  mm,  $f = 1200$  mm; dwa binary  $25 \times 100$  mm; teleobiektyw MTO 10,5/1100; teleskop Schmidt-Cassegrain firmy Celestron  $\phi 200$  mm,  $f = 2000$  mm; dwa teleskopy systemu Newtona o  $\phi 115$  mm,  $f = 805$  mm i, oczywiście, kilka lornetek. Niektórzy uczestnicy przyjechali z własnym sprzętem.



Przygotowanie sprzętu

Obserwacje zostały zdominowane przez bohatera letniego nieba – Marsa. Zeiss zawsze był „wycelowany” w Marsa. Udało nam się dostrzec południową czapę polarną i Syrtis Major. Oczywiście najbardziej popularne wśród obserwatorów były obiekty: galaktyki spiralne M 31 – Wielka Mgławica w Andromedzie i M 33 w Trójkącie; mgławice planetarne M 27 – Hantle w Lisku i M 57 – Pierścień w Lutni; gromady otwarte M 45 – Plejady w Byku i M 29 w Łabędziu; gromada kulista w Herkulesie M 13; gwiazdy podwójne Mizar i Polaris, a także wiele innych obiektów.

W czasie trwania obozu udało nam się zobaczyć sporo spadających meteorów, gdyż w tym czasie przypadał okres największej aktywności Perseidów, związanych z kometą Swift-Tuttle. Szczególnie popularne wśród obserwatorów były dwa binary, dzięki którym można przeczesać niebo w poszukiwaniu ciekawych obiektów.

Gwiazdy zmienne jedynie wyszukiwaliśmy na niebie, ale nie prowadziliśmy stałych obserwacji. O metodach obserwacji gwiazd zmiennych opowiadał nam pan mgr Marcin Filipek z Krakowskiego Oddziału PTMA. Dowiedzieliśmy się, jak obserwować gwiazdy zmienne, jak opracować wyniki obserwacji i gdzie je przesłać. Niestety, praktycznie nie mogliśmy tej wiedzy zastosować, gdyż w czasie całego pobytu pana Marcina po prostu padało...

W ciągu dnia obserwowaliśmy plamy na Słońcu a po zachodzie Słońca – Księżyc w I kwadrze.



Dzięki temu, że sprzętu i nocy obserwacyjnych było wiele, mogliśmy nauczyć się praktycznie podstaw obserwacji, orientowania na niebie, podstaw określania czasu i współrzędnych w astronomii oraz podstaw fotografowania nieba.

Po nieprzespanych nocach wszyscy spotykali się na porannych wykładach. Pan Tadeusz Szufa podczas swojego wykładu zachęcał do samodzielnego fotografowania nieba, pokazując wykonane przez siebie zdjęcia (między innymi przejście Merkurego przed tarczą Słońca). Spodobało się wszystkim zastosowanie budzika jako mechanizmu napędowego do robienia zdjęć nocnego nieba. Piękne slajdy z zaćmieniem Księżyca i zaćmieniem Słońca pokazał mgr Marcin Filipek.

Bardzo praktyczny był też wykład dra Tomasza Ścieżora o obserwacjach planet. Nauczył, jakiego sprzętu użyć, o jakim powiększeniu, jaki zastosować filtr i czego można się spodziewać, obserwując daną planetę.

Mgr Aleksander Trębacz z Młodzieżowego Obserwatorium w Niepołomicach opowiedział nam o obserwacjach zjawisk zakryciowych, szczególnie o zakryciu gwiazd przez Księżyc. Obserwatorzy należący do SOPiZ (Sekcja Obserwatorów Pozycji i Zakryć) mierzą czas zakrycia gwiazdy przez Księżyc i podając miejsce swoich obserwacji, przesyłają te dane do IOLC (International Luna Occultation Centre) w Tokio. Organizacja ta wydaje rocznik, w którym zawarte są (wyliczone z obserwacji) poprawki do współrzędnych Księżyca. Poprawki te służą do korygowania torów satelitów geostacjonarnych.

Osoby zainteresowane budową własnego teleskopu mogły skorzystać z kilkundniowej obecności na obozie inż. Jacka Burdy, który po wprowadzeniu podstaw optyki teleskopowej przeszedł do bardzo szczegółowych i praktycznych porad. Radził też, co obserwować i przez jaki teleskop.

Najwięcej wykładów wygłosił szef obozu, dr Sławomir Stachniewicz. Zapoznał nas między innymi z elementami mechaniki nieba, mówił o układach współrzędnych, czasie w astronomii, o tym, jak korzysta się z kalendarzy astronomicznych, o oscylacji neutrin. Poruszył także temat Wielkiego Wybuchu i najnowsze trendy w kosmologii. Dowiedzieliśmy się także, jakie ciekawe zjawiska czekają nas jeszcze w tym roku (mgr M. Filipek) i o tajemniczych błyskach na Marsie (mgr A. Trębacz).

Co dał mi ten obóz? Oczywiście poza poszerzeniem mojej wiedzy i możliwościami obserwacyjnymi, poznałam wielu bardzo ciekawych ludzi, od których już się sporo nauczyłam i nawiązałam kontakty, pomocne w prowadzeniu Szkolnego Koła Astronomicznego. Już od dawna chciałam skorzystać z takiego wyjazdu, ale wszystkie były kierowane do młodzieży i studentów. Gdy w „Uranii” przeczytałam ogłoszenie o tym obozie i nie było w nim informacji o ograniczeniu wieku uczestników, bardzo się ucieszyłam. Myślę, że jednym z atutów tego obozu była duża rozpiętość wieku uczestników, ich doświadczenie i różne profesje.

Zachęcam wszystkich miłośników astronomii do wyjazdu na OSOP w przyszłym roku. Prawdopodobnie obóz odbędzie się od 12 do 23 lipca na Hali Krupowej.



## Radość poznania

*Beata Legierko*

*XVIII Liceum Ogólnokształcące*

*przy Zespole Szkół Geodezyjno-Drogowych w Poznaniu*

*Nauka w szkołach powinna być prowadzona w taki sposób,  
aby uczniowie uważali ją za cenny dar, a nie za ciężki obowiązek.*

*Albert Einstein*

Myślę, że każdy nauczyciel fizyki chciałby usłyszeć od ucznia: „Profesorze, kiedy będą zajęcia z fizyki?”, a właściwie „TE zajęcia”, wyjątkowe i oczekiwane. W naszej szkole uczniowie zadają to pytanie. Wiedzą, że będzie kolejny „Tydzień z fizyką”.

W roku szkolnym 2001/2002 w Zespole Szkół Geodezyjno-Drogowych w Poznaniu został zorganizowany kolejny „Tydzień z fizyką 2002”. Pierwsza taka impreza odbyła się w poprzednim roku szkolnym i cieszyła się ogromnym powodzeniem wśród uczniów. Jej celem jest popularyzacja fizyki, będącej nauką trudną i niestety bardzo często nudną dla uczniów. Chcemy pokazać, że uczenie się fizyki może być bardzo przyjemne, interesujące, a przede wszystkim zrozumiałe.

Program każdego „Tygodnia z fizyką” różni się konkursami, wykładami popularnonaukowymi, a ostatnio również wycieczkami dydaktycznymi. Jedynym stałym elementem jest konkurs związany z pieczeniem ciasta. Tematyka wypieków jest z góry narzucona, ale pomysły należą do uczniów. [...]

### „Tydzień z fizyką” – rok szkolny 2001/2002

#### DZIEŃ PIERWSZY I DRUGI

Turniej „Jeden z dwunastu” odbył się w dwóch etapach. Zasady gry były podobne jak w popularnym turnieju telewizyjnym „Jeden z dziesięciu”. Uczestnicy odpowiadali na kolejne pytania, a następnie wyznaczali osoby do odpowiedzi. Czas odpowiedzi był ograniczony, tak samo jak liczba błędnych odpowiedzi, którą zaznaczaliśmy czerwonymi kulkami



wrzucanymi do szklanych pojemników ustawionych przed uczestnikami. W roli Tadeusza Sznuka (prowadzącego telewizyjny turniej) wystąpił uczeń z klasy 3 lb Jarosław Żurawski. Na zdjęciu pokazaliśmy zwycięzców turnieju. [...]

Tego dnia, po zakończeniu turnieju fizycznego, uczniowie zostali zaproszeni na referat Barbary Dąbek i Kamili Jujki z klasy 2 lb, zatytułowany: „Hałas i jego skutki”.

Największym zainteresowaniem cieszyły się demonstracje przeprowadzone przez uczennice. Temat referatu był wstępem do wykładu zaplanowanego na czwarty dzień „Tygodnia z fizyką”, który mieli wygłosić zaproszeni goście z Instytutu Akustyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza.

### *DZIEŃ TRZECI*

W przepiękną majową noc wyjechaliśmy do Planetarium Śląskiego w Chorzowie. Na wycieczkę dydaktyczną pojechali uczniowie zainteresowani astronomią oraz uczniowie wyróżniający się aktywnością na lekcjach fizyki. [...]

Rankiem dojechaliśmy do Chorzowa. Zwiedzanie Planetarium rozpoczęliśmy od Obserwatorium Sejsmologicznego. W podziemiach Planetarium oglądaliśmy sejsmografy rejestrujące drgania skorupy ziemskiej, zapisy wstrząsów kopalnianych i trzęsień Ziemi. Następnie udaliśmy się do Stacji Klimatologicznej, położonej nie opodal Planetarium. W sali wykładowej meteorolog prezentował instrumenty pomiarowe, a później w ogródku meteorologicznym mogliśmy zapoznać się z pracą klimatologów. Ponownie przeszliśmy do głównego budynku Planetarium, aby obejrzeć interaktywną wystawę „O obrotach”, gdzie uczniowie mogli sami uruchamiać modele demonstracyjne. Zbliżało się południe, a przed nami dwugodzinne zajęcia dydaktyczne na temat „Budowa i składniki Układu Słonecznego. Struktura Wszechświata”. Uczniowie uczyli się rozróżniać rodzaje ciał niebieskich, poznawali bliżej planety, gwiazdy i dalsze składniki Wszechświata. Nasz pobyt w Planetarium kończył się spojrzeniem na prawdziwe niebo. W Obserwatorium Astronomicznym oglądaliśmy największą w Polsce lunetę o 30-centymetrowym obiektywie i 750-krotnym powiększeniu. Na dziedzińcu Planetarium ogromny zegar słoneczny uświadomił nam, że czas wracać do domu. W Chorzowie zatrzymaliśmy się na obiad i ruszyliśmy w drogę powrotną. W Poznaniu byliśmy późnym wieczorem, zmęczeni, ale bogatsi w wiedzę i moc wrażeń. Tej nocy chyba nikt z nas nie mógł zasnąć, wpatrując się w nocne obiekty nieba.

### *DZIEŃ CZWARTY*

To był „smakowity” dzień. Od rana pracowała Komisja złożona z nauczycieli. Konkurs „Fizyka dla smakoszy, czyli coś na ząb” obejmował dwa tematy:

- Zjawiska optyczne w przyrodzie
- Atom i jądro atomowe.

Po wnikliwym obejrzeniu prac i degustacji podsumowano przyznane punkty i wyłoniono zwycięzców w poszczególnych kategoriach (zdjęcie poniżej).



Po ogłoszeniu wyników wszyscy uczniowie przystąpili do degustacji, nie zapomniano również o nauczycielach. Było „pysznie”!!!

Dzień jeszcze się nie skończył. Po jedzeniu przyszedł czas na zdobywanie wiedzy. Do szkoły przyjechali zaproszeni goście z Instytutu Akustyki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Pani mgr Karolina Kluk wygłosiła interesujący referat na temat „Zaburzeń słuchu”, a dr Andrzej Wicher zapoznał uczniów z budową i zasadą działania audiometru. Następnie oboje wykonali kilka pomiarów audiometrycznych dla chętnych uczniów i nauczycieli. I co się okazało? To prawda, że nauczyciele mają bardzo dobry słuch, lepszy od uczniów! Nie próbujcie, kochani uczniowie, podpowiadać – to słyszać!

I to był koniec „Tygodnia z fizyką 2002”. Podczas uroczystego finału, następnego dnia, wicedyrektor mgr Rafał Kowalski wręczył nagrody i dyplomy laureatom wszystkich konkursów oraz uczniom wyróżnionym za aktywny udział w poszerzaniu horyzontu zainteresowań naukami matematyczno-przyrodniczymi.





## Lekcja utrwalająco-powtórzeniowa – inaczej

*Urszula Mięśok*

*Pieńsk*

Wiadomo, że nauczyciele fizyki (i nie tylko fizyki) stosują różne „sztuczki”, aby uczniów zainteresować swoim przedmiotem. I wiadomo też, że wszyscy nauczyciele korzystają ze „sztuczek”, aby nakłonić uczniów do nauki. Dlatego chcę zaproponować lekcję powtórzeniowo-utrwalającą, polegającą na pracy w zespołach, kiedy to uczniowie zadają sobie przygotowane wcześniej pytania, dotyczące materiału z danego bloku tematycznego. Pytania każdej z grup są konsultowane z nauczycielem i nieujawniane przeciwnikom.

Zespół klasowy typuje dwie osoby, które będą „szefami” rywalizujących grup. „Szefowie” zespołów na zmianę (raz jeden, raz drugi) dobierają skład drużyny na cały rok szkolny. (Zdarza się jednak, że „szef” nie spełnia oczekiwań pozostałych członków grupy lub sam nie jest zadowolony z siebie i wtedy, po konsultacji ze mną, zostaje wybrany nowy „szef”. Takie przypadki występują czasami w klasach pierwszych, gdy zespół uczniowski jeszcze dobrze się nie zna.)

Lekcja rozpoczyna się losowaniem (np. rzut monetą) pierwszeństwa w zadawaniu pytań. Każde pytanie i odpowiedź są punktowane, w zależności od stopnia trudności. Zadających pytania i odpowiadających na nie wybiera „szef”, którego obowiązkiem jest dać możliwość zdobycia punktów każdemu koledze. Dlatego „szef” lub jego „sekretarz” notuje punkty zdobyte przez wszystkich członków zespołu i zwraca szczególną uwagę na uczniów, którzy mają trudności w nauce. W zależności od stopnia trudności pytania, nauczyciel wyznacza czas (30–90 s) na rozpoczęcie odpowiedzi i liczbę punktów, jaką można uzyskać. (Uczniowie, którzy uczestniczą w takiej lekcji trzeci, a czasami tylko drugi raz, potrafią sami ocenić czas potrzebny na rozpoczęcie odpowiedzi oraz ilość punktów, jaką należy za nią przyznać). Jeżeli drużyna nie zacznie odpowiadać w wyznaczonym czasie, to „traci pytanie” i odpowiada na nie osoba, która je zadawała. Nauczyciel musi być czujny i jeśli zauważy, że uczniowie koncentrują się na jednych zagadnieniach, a inne traktują pobieżnie lub pomijają, musi też zadawać pytania.

Na podstawie zdobytych indywidualnie punktów wystawiane są oceny z powtórzenia, a podliczone punkty zdobyte przez cały zespół wyłaniają zwycięską drużynę.

Taki sposób prowadzenia lekcji powtórzeniowych stosuję od wielu lat. Próbowalam też innych form, ale te lekcje dają najlepsze rezultaty (wiem to także od uczniów). Przygotowani muszą być wszyscy uczniowie: i ci najlepsi, i ci najslabsi,

dlatego że „szef” grupy, kilka dni przed powtórzeniem, sprawdza, czy każdy ma przynajmniej 5 pytań i zna odpowiedzi na nie.

Uczniom podobają się tego typu lekcje i sami stwierdzają, że sporo czasu zajmuje im przygotowanie się do nich, a co za tym idzie, są lepiej przygotowani do sprawdzianu (czyli coś z tej fizyki w głowach im zostaje).

Uważam, że taką formę lekcji powtórzeniowo-utrwalających można stosować nie tylko na fizyce. Ja dopracowywałam ją przez kilka lat, a teraz podaję „gotowca” do wykorzystania. Ostrzegam od razu, że zdarzają się zespoły uczniowskie, z którymi trudno się pracuje w ten sposób, ze względu na osobowości uczniów (ambicje, egoizm itp.). Ale właśnie wtedy jest to wyzwanie i satysfakcja, kiedy uda się zmienić ich nastawienie do siebie i innych. Nie można całkowicie zawieźć uczniom, dlatego nauczyciel też musi zadawać pytania oraz występować w roli mediatora rozstrzygającego kwestie sporne, bo bywa i tak, że dochodzi do burzliwych dyskusji.



## KOMUNIKAT

Szanowni Państwo,

przekazujemy informację o zmianie adresów witryn internetowych Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii oraz o umowie między PTMA a portalem [Astronomia.pl](http://www.astronomia.pl).

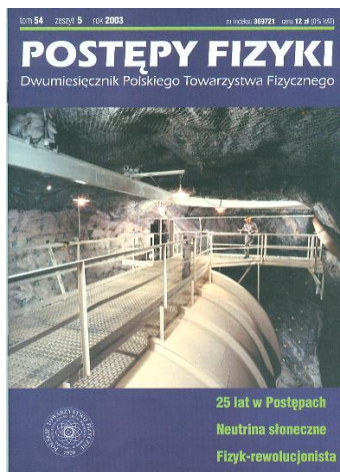
Polski Portal Astronomiczny  
<http://www.astronomia.pl>



## CO CZYTAĆ

### *Postępy Fizyki*

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



#### 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 roku 1993, z możliwością ich przeszukiwania,
- materiały dodatkowe, uzupełniające treść niektórych artykułów,
- materiały XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku w 1999 r. (spis treści obu zeszytów dodatkowych *Postępów Fizyki* z 1999 i 2000 r.),
- materiały XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich w Toruniu w 2001 r. (PEŁNE TEKSTY WSZYSTKICH ARTYKUŁÓW tomu dodatkowego *Postępów Fizyki*, **53D** (2002), w formacie pdf),
- PEŁNE TEKSTY WYBRANYCH ARTYKUŁÓW:
  - Wolfgang Ketterle – Gdy atomy zachowują się jak fale: kondensacja Bosego-Einsteina i laser atomowy (zesz. 1/2003)
  - Janusz Zakrzewski – Na 50-lecie odkrycia hiperjader (zesz. 2/2003)
  - Andrzej Kasiński – Jak powstawała teoria względności (zesz. 3/2003)
  - Janusz Zakrzewski – Cząstki Modelu Standardowego: co nowego? (zesz. 4/2003)



KONKURS

**Ogólnopolski konkurs  
fizyczno-fotograficzny – II edycja**

*Młodzieżowy Dom Kultury  
„Domek Harcerza”, Wieluń*

**„ZJAWISKA FIZYCZNE WOKÓŁ NAS”**

Oferta dla uczniów z gimnazjów i szkół ponadgimnazjalnych

Kwiecień 2004

**Organizatorzy konkursu**

- Starosta wieluński
- Młodzieżowy Dom Kultury („Domek Harcerza”) w Wieluniu
- Koło młodych fizyków przy MDK w Wieluniu

**Warunki udziału w konkursie**

Konkurs jest adresowany dla uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych. Warunkiem udziału w konkursie jest przesłanie lub osobiste dostarczenie do Młodzieżowego Domu Kultury własnoręcznie wykonanych zdjęć, przedstawiających dowolnie wybrane zjawiska fizyczne, dostrzeżone w otaczającej przyrodzie lub świadomie wyeksponowane w przeprowadzonym przez ucznia eksperymencie.

Oczekujemy na fotografie barwne lub czarno-białe wyłącznie formatu 13 × 18 cm i poprawne technicznie.

Konkurs rozstrzygniemy w dwóch kategoriach:

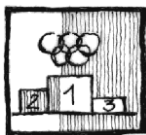
- a) fotografie przedstawiające określone zjawiska fizyczne,
- b) serie zdjęć ilustrujące eksperymenty fizyczne.

**Na fotografię oczekiwać będziemy do końca marca 2004 r.**

**Rozstrzygnięcie konkursu nastąpi w trzecim tygodniu kwietnia 2004 r.**

Informacji o konkursie udziela i prace przyjmuje sekretariat MDK, ul. 3 Maja 29, 98-300 Wieluń, tel. (043) 843-87-80.





## KONKURS „Lwiątko” – polska edycja konkursu

### Harmonogram konkursu „Lwiątko” 2004

Zapraszamy gimnazja, licea, licea profilowane i technika do udziału w konkursie.

### **LWIĄTKO 2004**

Konkurs zostanie przeprowadzony 5 kwietnia 2004 r.

Szkoły mogą zgłosić uczestników najpóźniej do 31 stycznia 2004. Prosimy o przesłanie imiennej listy, z podaniem klasy, pocztą na adres:

I Społeczne Liceum Ogólnokształcące, ul. Bednarska 2/4, 00-310 Warszawa

lub faksem na nr (022) 828 96 01

bądź pocztą elektroniczną na adres: [lwiatko@bednarska.edu.pl](mailto:lwiatko@bednarska.edu.pl)

Zgłoszenia pocztą elektroniczną zostaną potwierdzone.

Opłata konkursowa wynosi 5 zł od uczestnika. Prosimy o dokonanie wpłaty przelewem na konto:

Towarzystwo Przyjaciół I SLO, ul. Bednarska 2/4, 00-310 Warszawa  
BRE BANK S.A. Oddział w Warszawie,  
11401010-00-255710-PLNCURR01-70,

koniecznie z dopiskiem LWIĄTKO 2004.

Informację o dacie i trybie dokonanej (wcześniej) wpłaty należy dołączyć do zgłoszenia.

Prosimy także o podanie dokładnej nazwy i adresu szkoły oraz telefonu kontaktowego.





## CZYTAMY PO ANGIELSKU

<http://www.nobel.se/physics/laureates/2003/public.html>

### **The Nobel Prize in Physics 2003 – Information for the Public, October 7, 2003**

The quantum physics that controls the micro-world has a wide range of spectacular effects that do not normally occur in our ordinary macro-world. There are, however, certain situations in which quantum phenomena are visible. This year's Nobel Prize in Physics is awarded for work concerning two of these situations: superconductivity and superfluidity. Alexei Abrikosov and Vitaly Ginzburg have developed theories for superconductivity and Anthony Leggett has explained one type of superfluidity. Both superconductivity and superfluidity occur at very low temperatures.

#### **Dictionary:**

**superconductivity** – nadprzewodnictwo

**superfluidity** – nadciekłość



## ERRATA

Informujemy, że Blanka Pilch – *Foton* 82, str. 43 (*Anegdoty z życia znanych uczonych*) jest uczennicą klasy Ib XXXI LO w Krakowie. Za pomyłkę przepraszamy.



## FIZYKA W INTERNECIE

### Lewitacja magnetyczna

*Adam Starnawski*  
*Instytut Fizyki UJ*

W dniu 22 października 2003 roku w naszym Instytucie miało miejsce spotkanie w ramach połączonych prezentacji Fizyka na Scenie 3 i Spotkań Środowych w IF UJ pod tytułem „Od reguły Lenza do lewitacji”. Prezentacja składała się z wielu wprowadzających doświadczeń pokazowych, filmów dostępnych w Internecie i trzech oryginalnych demonstracji: obrazowania prądów wirowych poprzez ilustrację pola temperaturowego blachy, w której wzbudzone elektromagnetycznie prądy wirowe, lewitacji elektromagnetycznej w układzie 6 cewek oraz lewitacji magnetokinetycznej z wykorzystaniem 8 tarcz z wirującymi magnesami.

W związku z zainteresowaniem wykazanym przez uczestników załączam adres internetowy, pod którym znajdują się odsyłacze do krótkich filmów i innych pożytecznych informacji, związanych z lewitacją:

<http://www.fys.uio.no/super/levitation/>

Dla osób zainteresowanych silnymi magnesami załączam adres e-mailowy dr. Krzysztofa Turka, specjalisty w tej dziedzinie, który chętnie odpowie na pojawiające się zapytania oraz pomoże w zakupie:  
e-mail: [krzysztof@ksl.pl](mailto:krzysztof@ksl.pl)

Ja ze swojej strony przestrzegam przed nieostrożnym podejściem do prób z silnymi magnesami. Siły zbliżających się magnesów tego typu są tak duże, że bez kilkumilimetrowych przekładek „sklejają się” tak mocno, że aby je rozerwać, trzeba użyć siły wystarczającej do ściśnięcia skóry, równoważnej ściśnięciu kombinerkami, z podobnymi konsekwencjami. Poza tym magnesy lubią się przyciągać albo być przyciągane przez pobliskie przedmioty stalowe.

Niestety, cała ta wiedza jest dostępna pod warunkiem posiadania szybkiego łącza internetowego i pewnej znajomości angielskiego, co, mam nadzieję, podziała mobilizująco na uczących się tego języka.

„Fizyka na Scenie”: [www.physicsonstage.net](http://www.physicsonstage.net)



**GIREP 2004 – International Conference**

**on**

## **Teaching and Learning Physics in New Contexts**

**19–23 July 2004**

**University of Ostrava, Czech Republic**

This topic includes physics and the physics teaching/learning process as they concern ecology, climate, biology, biophysics, chemistry, medicine, industry, economy, arts, and all processes that can improve our life condition from the point of view physics.

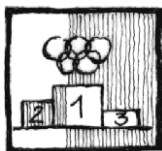
Conference organizer: prof. RNDr. Erika Mechlová, CSc. from the University of Ostrava, the Faculty of Science, and the Department of Physics. E-mail: [erika.mechlova@osu.cz](mailto:erika.mechlova@osu.cz)

Contact person: Jana Janoscova, e-mail: [jana.janoscova@osu.cz](mailto:jana.janoscova@osu.cz), phone: +420-596 160 244, fax: +420-596 120 478

Addresses:

- University of Ostrava, 30. dubna 22, 701 03 Ostrava, Czech Republic
- Web site of university <http://www.osu.cz/GIREP>
- E-mail of conference: [girep@osu.cz](mailto:girep@osu.cz)
- Town of Ostrava <http://www.mmo.cz/ostrava/mesto.html>

**The organisers invite you to attend the international conference GIREP2004 in Ostrava.**



KONKURS

**IV Ogólnopolski Konkurs  
na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki  
Kraków 2004**

Pokazowe doświadczenia – zwane inaczej demonstracjami – stanowią jeden z filarów dobrego kształcenia w zakresie fizyki na każdym poziomie nauczania. Celem ogłaszanego konkursu jest wydobyć na światło dzienne często niedocenianych mistrzów demonstracji fizycznej, poszukiwanie nowych talentów i popularyzacja najlepszych pomysłów, jakie mogłyby trafić do szkół i sal wykładowych. Do konkursu zapraszamy wszystkich zainteresowanych – od ucznia gimnazjum do profesora uniwersytetu. W ocenie projektów liczyć się będzie na równych prawach nowatorstwo pomysłu, wartość dydaktyczna i sposób wykonania.

Konkurs jest organizowany w Krakowie od 1996 r. Obecny, V Ogólnopolski Konkurs na Pokazowe Doświadczenie z Fizyki, organizuje Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Fizycznego przy współdziałaniu Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH oraz Instytutu Fizyki UJ.

Termin nadsyłania zgłoszeń upływa **20 czerwca 2004**, finał Konkursu odbędzie się **30 września**, w czasie trwania Jarmarku Fizycznego 2004.

Zgłoszenia i inną korespondencję prosimy kierować pocztą elektroniczną lub zwykłą pod adres:

dr hab. Andrzej Zięba  
Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH  
al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
[zieba@novell.ftj.agh.edu.pl](mailto:zieba@novell.ftj.agh.edu.pl)

Bieżące informacje dotyczące konkursu oraz pełny tekst regulaminu dostępne są na stronach WWW Oddziału Krakowskiego PTF:

<http://www.ptf.agh.edu.pl/konkurs/>

KOMUNIKAT**Teatr Wybrzeże – Teatr dla ludzi**  
**„Kopenhaga” – *Michael Frayn***

Polska prapremiera sztuki będącej przebojem ostatnich sezonów West Endu i Broadwayu odbyła się 19 stycznia 2002 r. w Teatrze Kameralnym w Sopocie. Grają: Halina Winiarska, Jerzy Kiszki, Dariusz Szymaniak; reżyseruje: Krzysztof Babicki.

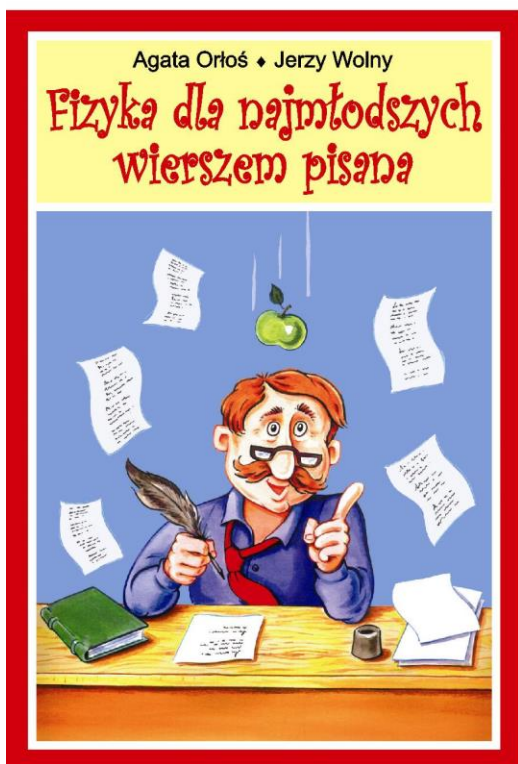


Dariusz Szymaniak    Jerzy Kiszki    Halina Winiarska

Kopenhaga to opowieść o spotkaniu dwóch wybitnych fizyków, współtwórców bomby atomowej, Duńczyka Bohra i Niemca Heisenberga. Spotkanie, które miało miejsce w 1941 roku w Kopenhadze, było zetknięciem się dwóch systemów wartości: Niemca, który reprezentował nazistowski reżim, i Duńczyka, przedstawiciela kraju okupowanego. Wokół tej tajemniczej rozmowy powstało wiele opowieści, które dla Michaela Frayna stały się pretekstem do napisania sztuki i postawienia problemu odpowiedzialności naukowców za ich wynalazki. W dobie klonowania i broni biologicznej wciąż aktualna pozostaje kwestia granic nauki. Na ile nauka może badać to, co później będzie wykorzystane przeciwko człowiekowi? W Trójmieście, gdzie działa jedna z najstarszych politechnik naszej części Europy, pytania te powinny wzbudzić szczególne zainteresowanie. Tym bardziej że nie jest to temat dla wszystkich: podstawowe choćby otarcie się o problemy fizyki wyraźnie może pomóc w percepcji tej niezwyklej sztuki.

Faktyczna polska prapremiera sztuki odbyła się w warszawskim liceum. Wystawili ją uczniowie Stanisława Lipińskiego. Sztuka została opublikowana w *Dialogu* nr 8, 2001.

## Książka pod choinkę



**cena 15,00 zł**

Agata Orłoś, Jerzy Wolny

### **FIZYKA DLA NAJMŁODSZYCH WIERSZEM PISANA**

Pasjonująca książka dla dzieci w wieku od 6 do 11 lat. Autorzy starają się zainteresować dzieci zjawiskami fizycznymi występującymi w ich otoczeniu. Pokazują, jak podejmować próby eksperymentowania. Książka uczy wnikliwej obserwacji i rozwija twórcze myślenie dziecka.

Wydawnictwo  
ZamKor  
ul. Tetmajera 19  
31-352 Kraków  
tel. (12) 623-25-00

**Dla dzieci, które zostały nią obdarowane  
stała się ulubioną lekturą.**



## KOMUNIKATY REDAKCJI

### SPOTKANIA ŚRODOWE W IF UJ

IF UJ, PTF Sekcja Nauczycielska  
Kraków, ul. Reymonta 4, parter – sala 055

Uprzejmie informujemy, iż w roku szkolnym 2003/2004 w **środy o 16<sup>00</sup>** w Instytucie Fizyki UJ odbywać się będą wykłady i pokazy dla młodzieży szkół średnich, jak również dla gimnazjów.

Tytuły i terminy można będzie znaleźć na stronie internetowej:  
<http://www.if.uj.edu.pl/Foton/>

---

**17 XII 2003** – dr Jerzy Jarosz, mgr Janina Pawlik (Uniwersytet Śląski, Katowice), *Siły bezwładności w układach wirujących i ich znaczenie w przyrodzie* (dla licealistów)

**14 I 2004** – dr hab. Zbigniew Stachura, *Wykorzystanie mikrowiązki w naukach biomedycznych* (dla licealistów)

**25 II 2004** – dr hab. Ewa Gudowska-Nowak, *Oscylacja i pamięć molekularna* (dla licealistów)

**3 III 2004** – dr Zofia Gołąb-Meyer, *O falach* (dla gimnazjalistów)

---

Pracownia Pokazów Fizycznych w IF UJ informuje, że może organizować płatne pokazy demonstracji fizycznych na uzgodnione ze szkołami tematy. Koszt pokazu rozkłada się na uczestniczące szkoły. Kontakt: **Pracownia Pokazów Fizycznych, dr Marek Gołąb, tel. 632-48-88 w. 5504.**

---

**Uczestnictwo w wykładach wyłącznie po zgłoszeniu telefonicznym:  
632-48-88 w. 5563 bądź 5677, lub za pośrednictwem e-mail: [foton@if.uj.edu.pl](mailto:foton@if.uj.edu.pl)**





## KOMUNIKATY

### **Jarmark fizyczny w Krakowie**

W dniach 30.09–2.10.2004 odbędzie się w Krakowie kolejny Jarmark Fizyczny. Sobota 2.10.2004 będzie dniem specjalnym dla nauczycieli fizyki. Informacje na stronie [www.ptf.agh.edu.pl/jarmark](http://www.ptf.agh.edu.pl/jarmark).

### **Zakopiańskie Przedszkole Fizyki**

Zainteresowanych informujemy, iż w tym roku szkolnym, w czerwcu, planowane jest Przedszkole Fizyki przy XLIV Szkole Fizyki Teoretycznej w Zakopanem. Zgłoszenia należy kierować na adres dr Zofii Gołab-Meyer: [meyer@th.if.uj.edu.pl](mailto:meyer@th.if.uj.edu.pl).



Nasza delegacja w Holandii na Physics and Life



Prezes PTF  
Profesor Maciej Kolwas  
z państwem Starnawskimi  
i Zofia Golqb-Meyer.

Eksperymentujące dzieci  
przy polskim stoisku.

# Physics and Life



Demonstracja  
z elektrostatyki  
Juliusza Cierniewskiego.