

# Foton 90

JESIEN  
2005

Pismo dla nauczycieli fizyki i przyrody oraz ich uczniów

INSTYTUT FIZYKI  UNIwersYTETU JAGIELLOŃSKIEGO  
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

Fizyka i sztuka  
Kwantowanie w nanodrutach  
Konik na karuzeli  
Odwrócony obraz w oku

Światowy Rok  
FIZYKI  
2005

www.wtfizyka.pl



Profesor Andrzej Białas na czele trzódki adeptów fizyki  
Przed szkole Fizyki, Zakopane 2005



## Od Redakcji

Przed laty z uczuciem rozbawienia, a nawet pewnej wyższości, traktowałam amerykańskie i zachodnioeuropejskie rozważania na temat tzw. fizyki dla dziewcząt, czy tzw. fizyki „dla wszystkich”. Uważałam, że naprawdę dobrze nauczana fizyka powinna interesować zarówno chłopców, jak i dziewczęta, że powinni korzystać zarówno wybitni uczniowie, jak i mniej zdolni i niezainteresowani. W zasadzie prawda; tak jest jednak tylko wtedy, gdy jest spełniony cały szereg warunków, od charyzmatycznego, doskonałego nauczyciela, dostatecznego czasu poświęconego nauczaniu, dobrze wyposażonych pracowni, do wysokiej motywacji uczniów do nauki.

W rzeczywistości to się zdarza bardzo rzadko. Dziewczęta mają inny rytm rozwoju niż chłopcy, mają też inne zainteresowania: u chłopców dominują techniczne, u dziewczynek „medyczne”. Klasa rozbija się na dwie grupy: tych ambitnych i tych, których fizyka nudzi i brzydzi. Może zatem nieco inny program dla żeńskich klas nie byłby głupim pomysłem? Z pewnością rzesza uczniów, którzy nie będą potrzebować do dalszych studiów szkolnej fizyki, wymaga zupełnie inaczej zaprojektowanego programu nauczania; chodzi nie tyle o mniej, ile zupełnie inaczej. To „inaczej” rodzi się w bólach. Niejako walczą ze sobą *vox populi* i akademicy puryści. Wierzę, że zostanie wypracowany zadowalający *consensus*. Bardzo ważne jest, by nie zgubić w tym poszukiwaniu kształcenia elit.

Znowu goszczą na naszych stronach fraktale, między innymi w prowokującym nieco artykule o związkach fraktali z malarstwem. W malarstwie, inaczej niż w fizyce, ważne są subiektywne opinie; o gustach trudno dyskutować. Zachęcamy do lektury.

W tym zeszycie znajdują Państwo artykuły młodziutkich autorów, studentów fizyki. Oni już ze szkoły wynieśli sporą wiedzę i ukształtowane zainteresowania. Na szczęście liczba takich studentów utrzymuje się na stałym poziomie od wielu lat. Natomiast niepokoi wyraźny spadek poziomu wiedzy z fizyki dużej grupy studentów chemii, biologii, geografii czy ochrony środowiska, a nawet i fizyki. Zjawisko jest na tyle wyraźne, że wymaga analizy.

W nowym roku szkolnym będziemy się starali towarzyszyć Państwu w utrzymaniu dobrego poziomu nauczania. W tych staraniach wspieramy jubilatkę, *Fizykę w Szkole*.

Z.G-M



## Contents

Editorial	
<i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Mirror symmetry and asymmetry (part II)	
<i>Antonina Kowalska</i> .....	4
Oscillatory reactions	
<i>Ewa Gudowska-Nowak</i> .....	16
Oscillatory systems in nature	
<i>Marek Tylutki</i> .....	20
What a chemical reactor and Art have in common?	
<i>Marek Berezowski</i> .....	28
Electric conductivity in nanowires	
<i>Szymon Godlewski, Antoni Tekiel</i> .....	35
History as an educational tool	
<i>Andrzej Białas</i> .....	45
Thinking about physics is a non-stop activity. Interview with Professor Andrzej Białas	
<i>Andrzej Kobos</i> .....	47
Problems. Horse on the merry-go-round and donkey	
<i>Adam Smólski</i> .....	50
Human eye – a model in watertank	
<i>Katarzyna Dziedzic-Kocurek</i> .....	55
Inverted image on the retina	
<i>Katarzyna Cieślak</i> .....	63
What to read. 50 year of the Journal <i>Physics in School</i> .....	65
Maria Skłodowska-Curie in philately	
<i>Jerzy Bartke</i> .....	67
Reading in English. Physics of Vision .....	69
Kindergarten of Physics 2005	
<i>Dagmara Sokołowska</i> .....	70
2005 International Year of Physics – Celebrations in Polish Schools	
<i>Urszula Mięśok</i> .....	72
<i>Stanisław Wróbel</i> .....	73
<i>Renata Drozd</i> .....	75
Cracow Polish Physical Society seminars .....	77
Communication. Awards of Polish Physical Society .....	78
Communication. “Yong Lion” Competition 2005	
<i>Adam Smólski</i> .....	79
Editorial News .....	85



## Spis treści

Od Redakcji	
<i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Symetria i asymetria zwierciadlana (cz. II)	
<i>Antonina Kowalska</i> .....	4
Reakcje oscylacyjne	
<i>Ewa Gudowska-Nowak</i> .....	16
Układy oscylacyjne w przyrodzie	
<i>Marek Tylutki</i> .....	20
Co wspólnego ze sztuką ma reaktor chemiczny?	
<i>Marek Berezowski</i> .....	28
Kwantowanie przewodności elektrycznej w nanodrutach	
<i>Szymon Godlewski, Antoni Tekiel</i> .....	35
Historia jako narzędzie edukacji	
<i>Andrzej Białas</i> .....	45
Wywiad z profesorem Białasem, O fizyce myśli się bez przerwy	
<i>Andrzej Kobos</i> .....	47
Kącik zadań. Konik i osiołek	
<i>Adam Smólski</i> .....	50
Model oka w akwarium	
<i>Katarzyna Dziedzic-Kocurek</i> .....	55
Kącik doświadczalny. Odwrócony obraz na siatkówce	
<i>Katarzyna Cieślak</i> .....	63
Co czytać. 50 lat <i>Fizyki w Szkole</i> .....	65
Maria Skłodowska-Curie w filatelistyce	
<i>Jerzy Bartke</i> .....	67
Czytamy po angielsku. Physics of Vision .....	69
Przedszkole Fizyki 2005	
<i>Dagmara Sokołowska</i> .....	70
Drugie Pieńskie Popołudnie z Fizyką	
<i>Urszula Mięśok</i> .....	72
Światowy Rok Fizyki 2005 w Dąbrowie Tarnowskiej	
<i>Stanisław Wróbel</i> .....	73
Świętowanie Roku Fizyki w Gimnazjum w Nowogrodzie Bobrzańskim	
<i>Renata Drozd</i> .....	75
Zaproszenie na krakowskie konwersatoria fizyki .....	77
Nagrody PTF .....	78
Komunikat. Lwiątko 2005 – sprawozdanie	
<i>Adam Smólski</i> .....	79
Komunikaty Redakcji .....	85



## Symetria i asymetria zwierciadlana (cz. II)

Antonina Kowalska

*Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego*

### Symetria i asymetria oddziaływań

Pierwsza część artykułu zakończyła się pytaniem o to, czy prawa fizyczne wykazują symetrię zwierciadlaną. W związku z tym problemem warto na początku zwrócić uwagę na dwa zagadnienia:

1. Trzeba sobie zdać sprawę z tego, że symetrię czy asymetrię zwierciadlaną zjawiska badamy inaczej, niż gdy przekształceniem jest obrót czy też przesunięcie (translacja). W ostatnich dwóch przypadkach możemy dokonać obrotu urządzeń lub ich przesunięcia i zaobserwować, czy zjawisko zachodzi tak samo, czy inaczej w nowym położeniu. Powszechnie obserwujemy, że takie przekształcenia nie zmieniają przebiegu zjawisk (np. obserwacja zjawiska w dzień czy w nocy daje to samo, chociaż został dokonany obrót wokół osi Ziemi itd.). Z odbiciem zwierciadlanym sprawa ma się inaczej.

Powiemy, że prawo (oddziaływanie) rządzące zjawiskiem:

– jest **symetryczne zwierciadlanie**, jeżeli przebieg zjawiska odbity w lustrze, a następnie odtworzony w rzeczywistości (bardzo dobre niemieckie słowo *Nachbau*, zob. [1]), jest zgodny z tym prawem;

– jest **asymetryczne zwierciadlanie**, inaczej chiralne, jeżeli zjawiska widziane w lustrze nie da się odtworzyć w rzeczywistości.

Powszechnie używa się określeń:

– oddziaływanie symetryczne zwierciadlanie = zachowujące parzystość (ang. *parity conserving*),

– oddziaływanie asymetryczne (chiralne) = niezachowujące parzystości (ang. *parity nonconserving*),

a stąd używa się określenia: **odbicie w lustrze P**.

Trzeba pamiętać, że symbole obrazujące wielkości fizyczne, np. strzałki określające kierunek, trzeba odbijać w „P” zgodnie z ich naturą, a więc zgodnie z tym, czy są to wektory polarne, czy aksjalne.

2. W dalszym ciągu artykułu ważną rolę odegra tzw. **zasada zachowania symetrii** stosowana od starożytności (zob. *Dodatek* zamieszczony na końcu artykułu):

„Jeżeli przyczyny wytwarzają pewne efekty, to elementy symetrii charakteryzujące przyczyny muszą się też znaleźć w wytworzonych przez nie efektach”.

**U w a g a:** Zasadę tę trzeba stosować z wielką ostrożnością, aby nie pomylić się w określeniu symetrii przyczyn. Jak zobaczymy dalej, taki błąd popełniono

w badaniu dwóch podstawowych zjawisk, raz w XIX, drugi raz w XX wieku, właśnie w związku z symetrią oddziaływań.

### Oddziaływania elektromagnetyczne

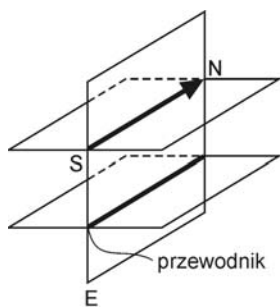
Zacznę od końca. Wiemy dzisiaj, że oddziaływania te są zwierciadlane symetryczne. Ale sprecyzujmy jeszcze raz, co oznacza takie stwierdzenie. Otóż oznacza to, że dowolne zjawisko, w którym te oddziaływania są brane wyłącznie pod uwagę, po zbudowaniu tego, co widzimy w lustrze „P”, prowadzi do zjawiska, które można w rzeczywistym świecie obserwować.

Wróćmy teraz do historii, a więc do pierwszego doświadczenia tego typu, wykonanego w 1820 roku przez duńskiego badacza [6] Hansa Christiana Ørsteda. Był on z wykształcenia farmaceutą, ale uważał siebie za literata. Jego doktorat dotyczył Kanta. Ørsted był pod silnym wpływem modnej wówczas w Europie filozofii natury (*Naturphilosophie*). Jedną z tez tego kierunku była jedność sił natury. Miało to istotny wpływ na zaistnienie opisywanego eksperymentu. W tamtych czasach szczytem technologii była elektryczność, a więc produkcja baterii i badanie ich własności. W roku 1812 Ørsted zaproponował zbadanie wzajemnego oddziaływania magnesu i prądu elektrycznego (wyznawana jedność natury sił). Od tej propozycji upłynęło kilka lat, nim efekt został odkryty.

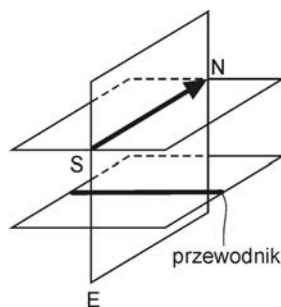
Sytuacja była następująca: z dwóch skrajnych możliwości usytuowania igielki magnetycznej względem przewodnika z prądem: a) równoległej oraz b) prostopadłej (zob. rys. 1), Ørsted wybrał tę drugą. Zrobił to, opierając się na wspomnianej wyżej zasadzie zachowania symetrii:

„jeżeli przyczyny powodują pewne skutki, to elementy symetrii tkwiące w przyczynach muszą występować także w skutkach”.

uważał bowiem, że w a) mamy symetrię względem płaszczyzny E, zatem nie należy się spodziewać wychylenia igielki magnetycznej z tej płaszczyzny, gdyż efekt byłby asymetryczny. Co innego w konfiguracji b), gdy brak symetrii w wyjściowej sytuacji może dawać niesymetryczne efekty.



Rys. 1a

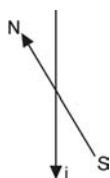


Rys. 1b

Po kilku latach (jak niektórzy twierdzą – przez przypadek, czemu zaprzecza sam Ørsted) efekt wychylenia igielki magnetycznej **został zaobserwowany, ale w konfiguracji równoległej**. Był to intelektualny szok dla ówczesnych badaczy (tak to formuluje w swoich wspomnieniach znany fizyk Ernst Mach). Rzecz w tym, że o symetrii tkwiącej w przyczynach decyduje natura, a nie nasze wyobrażenia! Jak wiemy dziś, mamy tu do czynienia z efektem wychylenia igielki magnetycznej w kierunku pola magnetycznego wywołanego przepływem prądu. Znając ten kierunek, możemy przewidzieć wychylenia igielki w dwóch poniższych sytuacjach:



Rys. 2. Obserwowane wychylenie igielki magnetycznej z pozycji a), gdy w przewodniku zacznie płynąć prąd o natężeniu  $i$  w kierunku, jak wskazuje strzałka

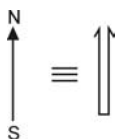


Rys. 3. Obserwowane wychylenie igielki magnetycznej z pozycji a), gdy w przewodniku zacznie płynąć prąd w kierunku przeciwnym do poprzedniego

Przekonamy się teraz, że powyższy efekt odbity w płaszczyźnie E (podobnie jak w każdej innej) jest obserwowalny w rzeczywistości, co potwierdza symetrię zwierciadlaną oddziaływania elektromagnetycznego. W tym celu oprzemy się na obecnym przekonaniu, że magnetyzacja (moment magnetyczny) jest związana z obrotem (ściślej: z krętem). Zatem igielkę magnetyczną, ściślej: jej moment magnetyczny, należy przedstawić jako wektor aksjalny, podczas gdy natężenie prądu związane z liniową prędkością elektronów w przewodniku jest wektorem polarnym.

Składowa wektora aksjalnego równoległa do płaszczyzny E zmienia znak przy odbiciu w E, składowa prostopadła znaku nie zmienia.

Wektor natężenia prądu jako polarny oraz równoległy do E nie zmienia się przy odbiciu w E.



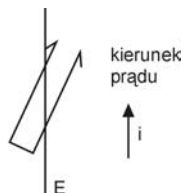
Widzimy z powyższego, że wśród przyczyn zjawiska dla konfiguracji a) mamy brak symetrii względem odbicia w E, zatem dla tej konfiguracji należy się spodziewać wychylenia igielki; przeciwnie w b).



### Odbicie zjawiska Ørsted w płaszczyźnie E



Rys. 4. Igielka magnetyczna nad przewodnikiem bez prądu



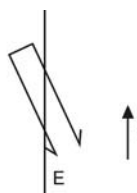
Rys. 5. Igielka magnetyczna po włączeniu prądu

P o o d b i c i u w E



Rys. 4a

P o o d b i c i u w E



Rys. 5a

Ta odbita sytuacja jest **r e a l i z o w a l n a w r z e c z y w i s t o ś c i**, jak to widzimy, porównując rysunek 5a z rysunkiem 3.

Po 130 latach większość badaczy nie ustrzegła się przed podobnym błędnym rozumowaniem, jakie prowadziło do „paradoksu” Ørsted. Problem dotyczył tzw. słabych oddziaływań, co teraz zostanie omówione.

### Oddziaływania słabe

Zacznę znów od końca. Obecnie wiemy, że **słabe oddziaływania naruszają symetrię zwierciadlaną, są chiralne**.

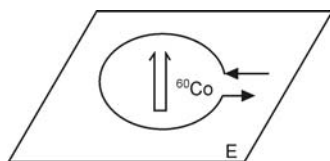
Historia tego odkrycia jest następująca [1, 3]:

Do roku 1956 panowało ogólne przekonanie, że oddziaływania fizyczne nie naruszają symetrii zwierciadlanej. Píše o tym na przykład H. Weyl w swojej monografii *Symmetry* z 1952 roku. Radykalna zmiana poglądów nastąpiła na przełomie lat 1956 i 1957. Już wiosną 1956 roku, podczas konferencji w Rochester, w czasie dyskusji nad tzw. zagadką *theta-tau* (chodziło o cząstkę, mezon K, który czasem rozpadał się na dwa mezony, czasem na trzy), Feynman zasugerował:

„Może mamy tu do czynienia z niezachowaniem parzystości, co jest mało prawdopodobne, ale przecież możliwe”.

Na konferencji tej byli obecni dwaj młodzi fizycy pochodzenia chińskiego: Tsung Dao Lee oraz Chen Ning Yang. Podczas lata 1956 przedyskutowali oni wiele eksperymentów związanych ze słabymi oddziaływaniami, dochodząc do wniosku, że podczas gdy oddziaływania grawitacyjne, elektromagnetyczne i silne (jądrowe) nie budzą podejrzeń co do symetrii zwierciadlanej, to oddziaływania słabe nie zostały pod tym względem przebadane. Zaproponowali oni szereg doświadczeń testujących symetrię zwierciadlaną, pisząc o tym w słynnym artykule w *Physical Review* w październiku 1956 roku. Preprint artykułu posłali zapewne do wielu fizyków, m.in. do Dysona, który dwa lata później wspomina te zdarzenia, mówiąc o braku wyobraźni i niedoczeniu wagi problemu przez siebie i innych. Jednak pani Chien Shiung Wu, i jej współpracownicy z Uniwersytetu Columbia postanowili przetestować jeden z zaproponowanych eksperymentów, a mianowicie rozpad promieniotwórczego **kobaltu**:  $^{60}\text{Co}$  [4].

Kryształ kobaltu w bardzo niskiej temperaturze włożono do środka solenoidu z prądem. Pole magnetyczne solenoidu kieruje spiny jąder kobaltu prostopadle do płaszczyzny E, w górę (zob. rys. 6), gdyż momenty magnetyczne jąder kobaltu, proporcjonalne do spinu, mają ten sam zwrot co spin (współczynnik żyromagnetyczny jest dla jąder kobaltu dodatni). Ponieważ spiny zachowują się jak wektory aksjalne, więc nie zmieniają się przy odbiciu w płaszczyźnie E.

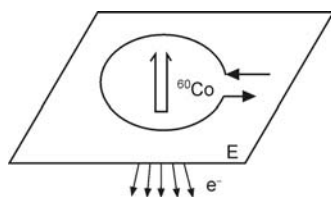


Rys. 6. Zaznaczono aksjalny wektor spinu

Stąd spodziewano się, że produkty rozpadu, a więc na przykład elektrony, będą z równym prawdopodobieństwem wylatywać nad płaszczyznę E, jak i w kierunku przeciwnym. Spodziewany wynik był tak oczywisty, że wcześniej nikt tego nie sprawdzał (owszem, była próba z końcem lat dwudziestych, ale przeszła niezauważona). Tak znamienici fizycy, jak Pauli czy Feynman, gotowi byli założyć się o duże sumy, twierdząc, że będzie tyle samo zliczeń elektronów nad, jak i pod płaszczyznę E. Do swojego ucznia Weisskopfa Pauli pisał:

„Nie wierzę, że Bóg jest słabym mańkutem, i jestem gotów założyć się o wysoką sumę, że eksperyment da rezultat symetryczny”.

Tymczasem wynik był zaskakujący: przewaga elektronów w kierunku przeciwnym do kierunku pola magnetycznego.



Rys. 7

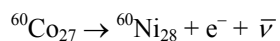
Późniejsze doświadczenia wielokrotnie wykazały naruszenie symetrii zwierciadlanej słabych oddziaływań. Rozpoczęła się wielka rewolucja w fizyce. Może warto zacytować tu uwagi M. Gardnera z jego książki zatytułowanej *Zwierciadlany Wszechświat* [8]:

„Zastanówmy się nad tym, dlaczego nie fizycy Zachodu, ale Wschodu wpadli na pomysł naruszenia symetrii zwierciadlanej. Może zadecydowała o tym spuścizna kulturalna, która predysponowała właśnie Chińczyków do tego odkrycia. Starożytny symbol religijny Wschodu, tzw. YIN i YANG, jest asymetrycznym symbolem życia wyrażającym dwoistość: dobra-zła, prawdy-falszu, symetrii-asymetrii itd., z małą przymieszką jednego w drugim. Małe plamy, biała i czarna, pokazują, że po stronie każdej własności jest coś z drugiej, każda prawdziwa teoria zawiera element niepewności. Kultura Zachodu natomiast od najdawniejszych czasów preferuje doskonałą symetrię zwierciadlaną”.



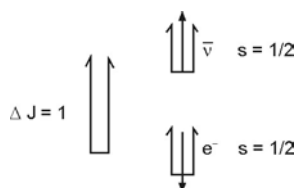
Rys. 8. YIN i YANG

Dlaczego płaszczyzna E w doświadczeniu pani Wu nie jest płaszczyzną symetrii (tak jak błędnie przewidywano, podobnie jak 130 lat wcześniej w doświadczeniu Ørsteda)? Otóż w rozpadzie kobaltu produkowane są nie tylko elektrony, ale także antyneutrino:



Antyneutrino,  $\bar{\nu}$  występuje **zawsze** jako **prawoskrętne**: rzut spinu tej cząstki na kierunek jej ruchu jest zawsze dodatni. Ta związana z antyneutrinem „śruba”

wnosi w zjawisko element chiralności. Antyneutrino widziane w lustrze „P” w miejscu płaszczyzny E byłoby „śrubą” lewą, a taki stan nie realizuje się w naszym świecie. W omawianej reakcji spin kobaltu zmienia się o jednostkę, gdy kobalt przechodzi w nikiel. Zasada zachowania krętu powoduje, że zarówno wylatujące elektrony, jak też wylatujące antyneutrino mają swoje spiny ( $1/2$ ) skierowane w górę (spin kobaltu zmienia się z 5 na 4,  $\Delta J = 1$ ). Antyneutrino jako prawoskrętne muszą więc wylatywać w górę (w kierunku pola magnetycznego). Zgodnie z zasadą zachowania pędu, elektrony wylatują więc przeciwnie do pola magnetycznego.



Podkreślę jeszcze raz fakt, na którym się tu opieramy, że neutrino występuje zawsze jako lewoskrętne (rzut na kierunek pędu ujemny – łącznie mamy tu realizację śruby lewej), jego antycząstka, antyneutrino, występuje wyłącznie jako prawoskrętne.

**Te dwie cząstki są na poziomie cząstek elementarnych analogonem odkrytych przez Pasteura lewo- i prawoskrętnych molekuł kwasu winowego.**

Tylko tzw. słabe oddziaływania wykazują naruszenie symetrii zwierciadlanej. Mówimy w takim wypadku o słabym złamaniu symetrii zwierciadlanej. Nie wykazują jej pozostałe znane nam oddziaływania; dlaczego – nie wiemy.

Słabe oddziaływania występują także, jak się okazało, w oddziaływaniu elektron–kwark, a stąd na przykład w oddziaływaniu elektron–proton, czyli stanowią pewną niezwykle małą domieszkę do oddziaływania elektromagnetycznego, głównego oddziaływania odpowiedzialnego za strukturę atomu. **Zatem atomy są chiralne**, nie mają dokładnej symetrii sferycznej.

Często mówi się, że we Wszechświecie istnieje „ręczność” (*handedness*). Niektórzy próbowali tłumaczyć to anizotropią przestrzeni, jej asymetrią, skręceniem w każdym punkcie. Nawet naturę dodatnich i ujemnych ładunków próbowano tłumaczyć chiralnością. Jeżeli jednak, jak na to wiele wskazuje, przestrzeń jest izotropowa, wówczas trzeba przyjąć, że pewne cząstki mają w swojej strukturze asymetrię. Jest to tzw. **złamanie explicite** praw fizyki (zob. *Dodatek*). Nie można wykluczyć, że kiedyś okaże się to **złamanie spontanicznym** pewnej wysokiej symetrii, która przez to złamanie została tylko ukryta.

Jest również możliwe, że to „coś”, co powoduje asymetrię słabych oddziaływań, mogło też odgrywać rolę w tworzeniu się asymetrycznych prymitywnych związków organicznych, a więc i naszych organizmów. Nasze estetyczne upodo-

banie w symetrii zwierciadlanej i w równoczesnym słabym jej naruszeniu oddającym elementy ruchu, życia, jest być może odbiciem tego, co obserwujemy we Wszechświecie, w którym ta symetria jako symetria praw fizyki na ogół obowiązuje i jest tylko słabo złamana.

Okazało się, że do opisu symetrii oddziaływań należy wprowadzić oprócz „lustra P” jeszcze dodatkowe „lustra” [5].

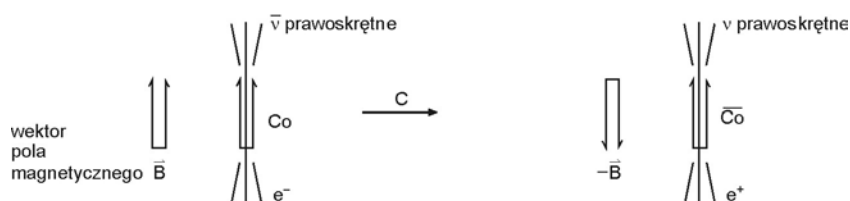
### Lustro C

Wróćmy do roku 1956. Fizykom bardzo się nie podobało złamanie symetrii zwierciadlanej „P” i wymyślili tzw. lustro „C” oraz lustro „CP” (w dalszym ciągu symbol luster będzie pisany bez cudzysłowu). Lustro C opiera się na tym, że każda **cząstka** ma swoją **antycząstkę** (czasem, jak dla fotonu, cząstka i antycząstka są identyczne).

**Odbicie C** (od angielskiego terminu: *charge conjugation* – sprzężenie ładunkowe) jest to transformacja, która każdą cząstkę przeprowadza w jej antycząstkę (ładunek cząstki jest przeciwny do ładunku antycząstki, masa, spin, czas życia – te same; współczynnik żyromagnetyczny różni się znakiem itd.).

Przeprowadźmy odbicie w **lustrze C** doświadczenia z kobaltem.

Niech  $\bar{Co}$  oznacza antykobalt, pole magnetyczne zmieni znak jako wywołane przez ruch pozytonów (w miejsce elektronów), antyneutrino  $\bar{\nu}$  przejdzie w neutrino  $\nu$ .

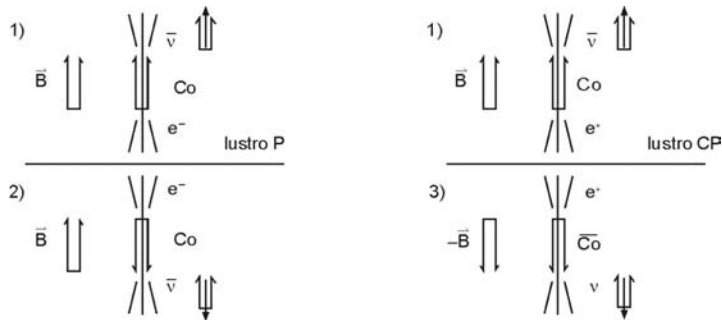


Po odbiciu C pojawiło się **neutrino prawoskrętne**, które w naszym świecie nie występuje; powiemy więc, że **w tym zjawisku jest naruszona symetria względem odbicia C**.

### Lustro CP

Odbicie w lustrze CP jest złożeniem transformacji odbicia P oraz odbicia C (kolejność nie gra roli). Okazuje się, że **prawie wszystkie** zjawiska są symetryczne względem CP. Poniżej omówię dwa przykłady.

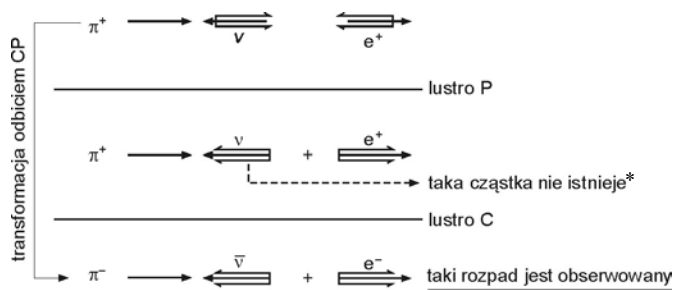
## I. Eksperyment z kobaltem



Widzimy, że w 3) nie napotykamy żadnej sprzeczności z obserwacjami w naszym świecie (inaczej niż w 2), a więc chociaż antykobaltu nie umiemy jeszcze wyprodukować, uważamy, że zjawisko to ma symetrię CP.

## II. Eksperyment z rozpadem mezonu $\pi$ (pionu)

Jest to cząstka bezspinowa (kret początkowy zerowy). Wiadomo, że mezon  $\pi$  spoczywający jest identyczny ze swoim odbiciem P.  $\pi^+$  (mający ładunek dodatni) rozpada się na neutrino oraz pozyton, biegnące w przeciwnych kierunkach, o spinach przeciwnie skierowanych. Jest faktem doświadczalnym, że pozytony ( $e^+$ ) zachowują się w tym rozpadzie jak śruby lewe (a więc neutrino także jak śruby lewe):



Do 1964 roku sądzono, że połączenie odbić P oraz C, czyli odbicie CP, jest transformacją, względem której prawa fizyki są niezmiennicze. W tym właśnie roku V. L. Fitch oraz J. W. Cronin wykryli naruszenie tej symetrii w rozpadach

\* Obecne badania wykazały, że taka cząstka wprawdzie istnieje, ale nie może powstać w tym procesie.

neutralnego mezonu K. Do dziś mechanizm tego naruszenia nie jest do końca rozstrzygnięty i dlatego badania nad naruszeniem CP są prowadzone i planowane w przyszłości.

### Lustra T oraz CPT

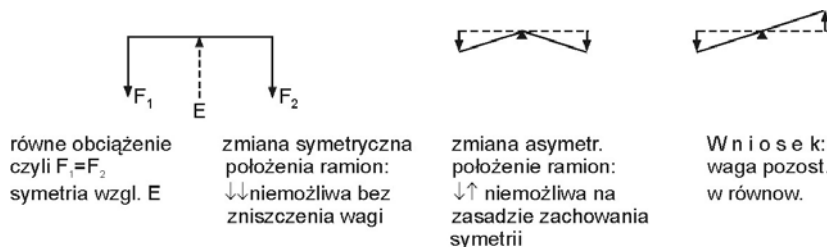
**Odbicie w lustrze T** jest to nie tylko zmiana znaku przy zmiennej czasowej  $t$ , ale równocześnie zmiana znaku pewnych wielkości, takich jak przykładowo: pęd, moment pędu, spin, bez zmiany znaku takich wielkości, jak na przykład: położenie, energia kinetyczna, energia potencjalna.

**Odbicie w lustrze CPT** jest złożeniem wszystkich trzech odbić (kolejność nie gra roli). Przy bardzo ogólnych założeniach wykazano, że oddziaływania fizyczne są symetryczne względem odbicia CPT. Ponieważ słabe oddziaływania naruszają czasem symetrię względem odbicia CP, stąd wynika, że w tych bardzo nielicznych przypadkach byłaby też naruszona symetria względem odbicia T. Jest to chyba najbardziej tajemnicze złamanie symetrii, którego interpretacja i badanie są wciąż aktualne.

## DODATEK

### O zasadzie zachowania symetrii oraz jej naruszeniu

Wydaje się, że pierwszym, który swoje rozumowanie oparł na zasadzie zachowania symetrii, był Anaksymander z Miletu (VI wiek p.n.e.). Dowodził on w ten sposób, że ziemia jest stabilna. Także postulat Archimedesusa (III wiek p.n.e.) o równowadze równo obciążonej wagi można uzasadnić na podstawie tej zasady [2]:



W wiekach średnich zasadę tę zobrazowano za pomocą osiołka, zwanego później **osiołkiem Buridana**. Jean Buridan, rektor uniwersytetu w Paryżu (XIV wiek) twierdził, że osiołek, umieszczony symetrycznie między dwiema jednakowymi kopcami siana, zdechnie z głodu, gdyż ze względu na symetrię względem płaszczyzny przechodzącej przez środek jego ciała nie ma powodu, aby zaczął jedzenie, wybierając jedną z dwóch kopek.

Leibniz (XVIII wiek) sformułował ideę Buridana, wprowadzając tzw. zasadę wystarczającej racji (jednakże sam Leibniz zauważa, że z osiołkiem nie jest wszystko tak bardzo symetryczne, biorąc pod uwagę asymetrię jego wnętrzości oraz rozkładu gwiazd wokół niego [2]).

Pierre Curie (1894 rok) sformułował zasadę zachowania symetrii w dwóch częściach:

– jeżeli efekty wykazują pewien brak symetrii (dyssymetrię), to musi on też wystąpić w przyczynach, które dane efekty wytworzyły;

– jeżeli przyczyny wytwarzają pewne efekty, to elementy symetrii charakteryzujące przyczyny muszą się też znaleźć w wytworzonych przez nie efektach.

A. V. Shubnikov [7], posługując się językiem teorii grup, uogólnił założenia prowadzące do tej zasady, tak że dziś mówi się o zasadzie Curie-Shubnikova.

Drugą część wyżej sformułowanej zasady zachowania symetrii należy stosować z wielką ostrożnością. Naruszenie symetrii może być pozorne, gdy nie zna się faktycznej symetrii przyczyn zjawiska. Tak było w przewidywaniu wyników doświadczenia Ørstedą i wiele lat później, w doświadczeniu pani Wu.

Faktyczne naruszenie symetrii to:

a) Tzw. **spontaniczne łamanie symetrii**

Niech zjawiska w pewnym układzie fizycznym będą rządzone równaniem o pewnej symetrii. Załóżmy, że równanie to ma rozwiązanie o tejże samej symetrii, ale niestabilne, oraz zbiór rozwiązań stabilnych, ale o niższej symetrii. Układ znajdujący się w stanie o wyższej symetrii (ale też o wyższej energii) może przejść spontanicznie (np. wskutek fluktuacji energii) do jednego ze stanów o energii niższej i niższej symetrii.

**Symetria praw rządzących naturą zjawiska nie zmienia się**, ale zostaje niejako ukryta w przyjętym przez układ stanie o niższej symetrii.

b) Tzw. **złamanie *explicite*** (termin pochodzący od Wignera i Weyla)

W tym przypadku dotyczy to **naruszenia symetrii praw fizycznych**. W obecnych teoriach złamanie symetrii zwierciadlanej w tzw. słabych oddziaływaniach ma właśnie tę naturę, ale do końca nie wiadomo, czy sięgając głębiej, teorie te nie będą konsekwencjami spontanicznie złamanej wyższej symetrii [1].

## Literatura

[1] Genz H.: *Symmetrie – Bauplan der Natur*, Piper 1987.

[2] Altmann S. L.: *Icons and Symmetries*, Clarendon Press, Oxford 1992.

[3] Gardner M.: *Zwierciadlany Wszechświat*, PWN 1969.

[4] Wu C. S., Ambler E., Hayward R. W., Hoppes D. D., Hudson R. P.: „Phys. Rev.”, **105**, 1957, 1413.

[5] Wigner E. P.: „Sc. American”, No. 6, 1965, 28.



**Uwaga od Redakcji:**

W tekście przedstawiono opis oddziaływań słabych zgodny z oryginalną wersją tzw. modelu Glashowa-Weinberga-Salama, którego twórcy zostali wyróżnieni Nagrodą Nobla w roku 1979. W tym modelu masa neutrin jest dokładnie równa zero. Od kilku lat wiadomo, że masa neutrin jest niezerowa; za doświadczenia, które tego dowiodły, Raymond Davis Jr. i Masatoshi Koshiba otrzymali Nagrodę Nobla w roku 2002. Jednak obecne oszacowania masy neutrin dają wartości o sześć rzędów wielkości (milion razy) mniejsze niż najmniejsza zmierzona dotąd masa cząstki – masa elektronu. Tak mała masa nie daje żadnych możliwości do zmierzenia poprawek wielkości dyskutowanych w tekście.



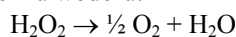
## Reakcje oscylacyjne

*Ewa Gudowska-Nowak*

*Instytut Fizyki UJ*

W przyrodzie bardzo często obserwujemy rozmaite procesy oscylacyjne. Znane są one zarówno w fizyce i astronomii, jak i biologii czy chemii. Jeszcze kilkadziesiąt lat temu spostrzeżenia dotyczące oscylacji w układach chemicznych miały charakter przypadkowy, a ich autorzy narażeni byli na zarzut niestaranego i nie dość dokładnego prowadzenia doświadczeń. Źródłem nieporozumienia były „klasyczne” poglądy na przebieg reakcji chemicznych, sformułowane w XIX wieku przez Clausiusa. Według ówczesnych teorii, układ pozbawiony dopływu materii i energii z otoczenia powinien w sposób gładki zmierzać do stanu równowagi ze wzrastającą w miarę postępu reakcji chemicznej entropią. Periodyczna zmiana własności układu, wskazująca na okresowy wzrost uporządkowania pewnych reagentów, wydawała się zatem zaprzeczeniem drugiej zasady termodynamiki.

W roku 1921 William Bray (USA) badał stężenie jodanu  $\text{IO}_3^-$  podczas reakcji katalitycznego rozkładu nadtlenku wodoru:



Zaobserwował periodyczne zmiany stężenia katalizatora podczas biegu reakcji. Prace Braya uznano za artefakty. 30 lat później Borys Pawłowicz Bielousow napisał manuskrypt pracy dotyczącej badań reakcji kwasu cytrynowego z bromianem potasu w obecności soli ceru. Manuskrypt powędrował do redakcji jednego z czasopism chemicznych, gdzie został odrzucony z uwagą recenzenta, że opisane zjawiska chemiczne „są niemożliwe”. W tym czasie chemia fizyczna powoli dorastała już do zrozumienia na gruncie termodynamiki nierównowagowej fenomenu reakcji oscylacyjnych. Ilija Prigogine (laureat Nagrody Nobla z 1978 roku) z Université Libre w Brukseli wykazał, że klasyczna termodynamika (a więc to, co postulował Clausius) wymaga nie tylko braku wymiany materii i energii z otoczeniem, ale i bliskości stanu równowagi. W układach dalekich od tego stanu można zaobserwować tzw. struktury dyssypatywne – są to np. oscylacje pośrednich produktów reakcji. Natomiast stężenia substratów i produktów końcowych nie oscylują, zmierzając ku stanowi równowagi. Systematyczne badania nad reakcją odkrytą przez Bielousowa podjął w latach sześćdziesiątych Anatol Żabotyński. Określił on dokładnie warunki, w jakich reakcja ta może przebiegać, między innymi dowiódł wpływu stężeń substratów na charakter drgań (4). Dokładny opis reakcji Bielousowa-Żabotyńskiego (nazwa reakcji przyjęła się w uznaniu zasług obydwu tych uczonych w jej odkryciu i badaniu), wyjaśniający mechanizm reakcji

w świetle podanej sekwencji wszystkich reakcji elementarnych składających się na cały proces, został zaproponowany dopiero w latach siedemdziesiątych. W roku 1972 Field, Kőros i Noyes, pracujący na Uniwersytecie Stanu Oregon, zaproponowali schemat mechanizmu reakcji składających się z osiemnastu etapów (1). Symulacja komputerowa przeprowadzona dwa lata później dowiodła prawdziwości tego schematu.

#### SCHEMAT REAKCJI BIEŁOUSOWA-ŻABOTYŃSKIEGO

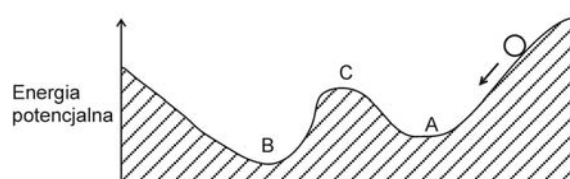
Substratami są trzy związki nieorganiczne: jony bromianowe ( $\text{BrO}_3^-$ ), jony bromkowe ( $\text{Br}^-$ ) i jony cerawe ( $\text{Ce}^{3+}$ ) oraz kwas malonowy ( $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ ).

1.  $2\text{H}^+ + \text{Br}^- + \text{BrO}_3^- \leftrightarrow \text{HOBr} + \text{HBrO}_2$
2.  $\text{H}^+ + \text{HBrO}_2 + \text{Br}^- \leftrightarrow 2\text{HOBr}$
3.  $\text{CH}_2(\text{COOH})_2 \leftrightarrow (\text{OH})_2\text{C} = \text{CHCOOH}$
4.  $\text{HOBr} + \text{Br}^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$
5.  $\text{Br}_2 + (\text{OH})_2\text{C} = \text{CHCOOH} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{Br}^- + \text{BrCH}(\text{COOH})_2$
6.  $\text{HBrO}_2 + \text{BrO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow 2\text{BrO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
7.  $\text{BrO}_2 + \text{Ce}^{3+} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{Ce}^{4+} + \text{HBrO}_2$
8.  $\text{Ce}^{4+} + \text{BrO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{BrO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{Ce}^{3+}$
9.  $2\text{HBrO}_2 \leftrightarrow \text{HOBr} + \text{BrO}_3^- + \text{H}^+$
10.  $\text{Ce}^{4+} + \text{CH}_2(\text{COOH})_2 \leftrightarrow \text{CH}(\text{COOH})_2 + \text{Ce}^{3+} + \text{H}^+$
11.  $\text{CH}(\text{COOH})_2 + \text{BrCH}(\text{COOH})_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Br}^- + \text{CH}_2(\text{COOH})_2 +$   
 $\quad\quad\quad + \text{HOC}(\text{COOH})_2 + \text{H}^+$
12.  $\text{Ce}^{4+} + \text{BrCH}(\text{COOH})_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Br}^- + \text{HOC}(\text{COOH})_2 + \text{Ce}^{3+} + 2\text{H}^+$
13.  $2\text{HOC}(\text{COOH})_2 \leftrightarrow \text{HOCH}(\text{COOH})_2 + \text{C} = \text{CHCOOOH} + \text{CO}_2$
14.  $\text{Ce}^{4+} + \text{HOCH}(\text{COOH})_2 \leftrightarrow \text{HOC}(\text{COOH})_2 + \text{Ce}^{3+} + \text{H}^+$
15.  $\text{Ce}^{4+} + \text{O} = \text{CHCOOH} \leftrightarrow \text{O} = \text{CCOOH} + \text{Ce}^{3+} + \text{H}^+$
16.  $2 \text{O} = \text{CCOOH} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{O} = \text{CHCOOH} + \text{HCOOH} + \text{CO}_2$
17.  $\text{Br}_2 + \text{HCOOH} \rightarrow 2\text{Br}^- + \text{CO}_2 + 2\text{H}^+$
18.  $2 \text{CH}(\text{COOH})_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2(\text{COOH})_2 + \text{HOCH}(\text{COOH})_2$

Produktami końcowymi są: dwutlenek węgla, kwas mrówkowy ( $\text{HCOOH}$ ) i kwas bromomalonowy ( $\text{BrCH}(\text{COOH})_2$ ). Barwa roztworu oscyluje pomiędzy żółtą (cer na czwartym stopniu utlenienia) i przejrzystą (cer na trzecim stopniu utlenienia).

Wyjaśnienie reakcji Bielousowa-Żabotyńskiego obudziło nadzieję na głębsze zrozumienie innych procesów oscylacyjnych. Próby podjęte przez grupę z Oregon, a kontynuowane potem także na Wolnym Uniwersytecie Brukselskim, pozwoliły na zdefiniowanie warunków niezbędnych do zapoczątkowania oscylacji chemicznych. Pokróćce można je streścić w następujących punktach:

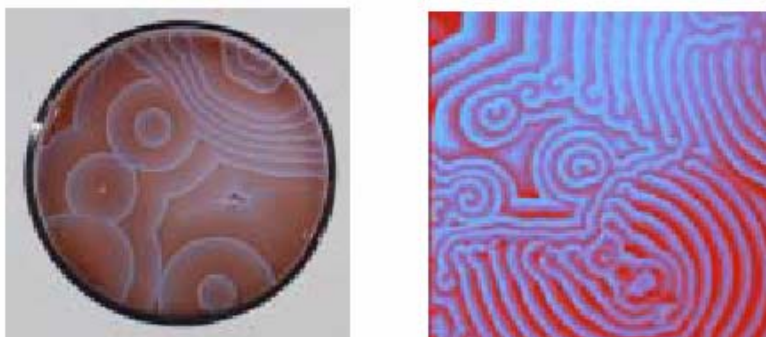
1. Układ musi być daleko od stanu równowagi.
2. W układzie musi znajdować się pętla sprzężenia zwrotnego – produkt przynajmniej jednej reakcji elementarnej powinien kontrolować tempo własnego powstawania.
3. Układ musi być dwustabilny – znaczy to, że w tych samych warunkach zewnętrznych możliwe są dwa różne, stabilne stany stacjonarne.



Rys. 1. Prosty przykład układu bistabilnego

Czytelników zainteresowanych reakcją Bielousowa-Żabotyńskiego oraz powstawaniem chemicznych struktur dyssypatywnych (ich kształt uzależniony jest od geometrii naczynia, w którym prowadzona jest reakcja – patrz spiralne struktury tarczowe na rys. 2) – odsyłamy do kilku artykułów, jakie można znaleźć w sieci.





Rys. 2



Borys Pawłowicz Bielousow



Anatol Żabotyński

<http://www.musc.edu/~aliev/rubin.html>

<http://www.clubtre.sky.net.ua/denis/recipes.html>

<http://neon.chem.ox.ac.uk/vrchemistry/FilmStudio/oscillating/HTML/page03.htm>

[http://www.chem.leeds.ac.uk/People/SKS/sks\\_research/sks\\_group\\_page.htm](http://www.chem.leeds.ac.uk/People/SKS/sks_research/sks_group_page.htm)

[http://genchem.chem.wisc.edu/demonstrations/Gen\\_Chem\\_Pages/12kineticpage/](http://genchem.chem.wisc.edu/demonstrations/Gen_Chem_Pages/12kineticpage/)

<http://hopf.chem.brandeis.edu/anatol.htm>



## Układy oscylacyjne w przyrodzie

Marek Tylutki

*Studia Matematyczno-Przyrodnicze, II rok*

*Uniwersytet Jagielloński*

### 1. Układy dynamiczne – wstęp

Układy spotykane w przyrodzie, pomimo wielkiej liczby czynników, które nimi rządzą, często dają się modelować przez stosunkowo proste równania. Istnieje szereg modeli, mniej lub bardziej oddających rzeczywistość, z którymi można się spotkać przy analizie tych zagadnień. Podczas I roku studiów miałem okazję poznać kilka z nich i chciałbym się tą wiedzą tutaj podzielić. Równania różniczkowe, które modelują układy biologiczne, charakteryzują się oscylacyjnymi rozwiązaniami, co pozostaje w zgodzie z obserwacją równowagi, jaka panuje np. pomiędzy oddziałującymi gatunkami.

Warto w tym miejscu może przybliżyć trochę pojęcia związane z analizą układów dynamicznych. Układ dynamiczny jest zadany przez równanie rządzące jego czasową ewolucją w przestrzeni dostępnych stanów. Może to być dyskretna ewolucja zadana przez równanie różnicowe lub ewolucja zmiennych ciągłych, zadana przez równanie różniczkowe. Wygodnym sposobem obrazowania zachowania się takiego równania jest analiza przestrzeni fazowej: przestrzeni sparametryzowanej zmiennymi danego układu. Wtedy ewolucja zadana przez równanie – czyli nasze rozwiązanie – jest krzywą w takiej przestrzeni.

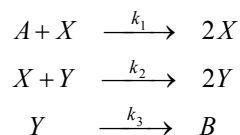
Gdy równanie nie zależy jawnie od czasu, ruch punktu zależy od czasu tylko poprzez swoje położenie w przestrzeni fazowej – o takim równaniu mówimy wtedy, że jest autonomiczne. Można je wtedy reprezentować jako zbiór krzywych (rozwiązań) w przestrzeni fazowej.

Ponieważ rozważam modele ograniczające się do opisu układów charakteryzowanych przez dwie zmienne, takie oscylacje (poza punktami stacjonarnymi) są jedyne możliwymi rozwiązaniami (twierdzenie Poincarego-Bendixona) – płaszczyzna dwuwymiarowa jest zbyt „ciasna”, aby trajektoria mogła się przeplatać, tworząc bardziej złożone rozwiązania. W szczególności nie obserwujemy w tych modelach zachowań chaotycznych, które mogą pojawić się w układach ciągłych o większej liczbie zmiennych oraz w układach dyskretnych (nawet jednowymiarowych).

### 2. Model Lotki-Volterry

Pierwszy model dotyczy relacji drapieżnik – ofiara lub zachowania się stężeń reagentów pewnej, hipotetycznej reakcji chemicznej. Model taki podali Volterra i Lotka. Należy podkreślić, że ten model jest czysto hipotetyczny i nie opisuje

dokładnie żadnego rzeczywistego układu. Poniżej schematycznie zapisujemy równania takiej reakcji:



gdzie  $k_1$  są np. stałymi szybkości reakcji chemicznych<sup>1</sup>. Możemy zatem zapisać równania kinetyczne dla tych hipotetycznych procesów:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= k_1 AX - k_2 XY \\ \dot{Y} &= k_2 XY - k_3 Y \end{aligned}$$

Zwróćmy uwagę na fakt, że stężenia substancji  $A$  i  $B$  są stałe w czasie, podczas gdy rozpatrujemy tylko zmiany  $X$  i  $Y$ . Wymusza to na nas dokonanie założenia, że rozważany układ jest układem otwartym. Dla krótkiego czasu ewolucji tego układu możemy zastąpić to założenie stwierdzeniem, że stężenia  $A$  oraz  $B$  są na tyle duże, że ich zmiany podczas reakcji są zanedbywane małe.

Poszukajmy punktów stałych tego układu równań, tzn. takich stężeń  $X$  i  $Y$ , że pozostają one stałe w czasie, czyli  $\dot{X} = 0$  oraz  $\dot{Y} = 0$ . Nietrudno zauważyć, że spełniają to następujące pary  $(X, Y)$ :  $(0, 0)$  oraz  $\left(\frac{k_3}{k_2}, \frac{k_1 A}{k_2}\right)$ . Dla wygody oznaczmy ostatnią parę jako  $(X_s, Y_s)$ .

Chcąc badać własności tego modelu, wygodnie jest dokonać przeskalowania występujących w nim wielkości w następujący sposób:

$$\begin{aligned} u &= \frac{X}{X_s} & v &= \frac{Y}{Y_s} \\ \tau &= k_1 A t & \alpha &= \frac{k_3}{k_1 A} \end{aligned}$$

$\tau$  jest nową zmienną odpowiadającą czasowi  $t$ , a  $\alpha > 0$  jest nową wprowadzoną stałą. Po tym przeskalowaniu mamy następujący układ równań:

$$u' = u(1 - v) \quad \text{oraz} \quad v' = \alpha v(u - 1) \quad (1)$$

<sup>1</sup> Każdemu elementarnemu procesowi chemicznemu możemy przyporządkować równanie opisujące przyrost lub zanik jednego ze substratów. Dla reakcji  $A + B \rightarrow C$ , np.  $\frac{dC_a}{dt} = -k c_a c_b$ , gdzie  $c$  to stężenie reagenta. Proporcjonalność szybkości do stężeń jest wynikiem następującego rozumowania: Prawdopodobieństwo zderzenia cząsteczki substratu  $A$  z np. cząsteczką  $B$  jest proporcjonalne do ich ilości, czyli stężenia.

z punktami stałymi: (0,0) oraz (1,1).

Stabilność punktów stacjonarnych można badać dla szerokiej klasy układów przez analizę liniowych przybliżeń danego układu wokół tych punktów.

Tutaj znowu należy się kilka słów wyjaśnienia. Punktem wyjścia do takiego postępowania jest twierdzenie Lapunowa. Można analizować stabilność punktów osobliwych poprzez analizę stabilności ich liniowych przybliżeń. Układ liniowy może być reprezentowany przez macierz. Jego rozwiązaniem jest kombinacja liniowa eksponent, których wykładniki odpowiadają wartościom własnym macierzy. Jeżeli istnieje chociaż jedna wartość własna, której część rzeczywista jest większa od 0, to analizowany punkt stacjonarny jest niestabilny. Łatwo również zauważyć, że czysto urojone wartości własne odpowiadają oscylacjom: układ zachowuje się jak oscylator harmoniczny.

Innymi słowy: rozwiązanie każdego jednorodnego (inaczej autonomicznego) liniowego równania różniczkowego o stałych współczynnikach ma postać  $\sim e^{\lambda t}$ , gdzie  $\lambda_i$  stanowi zestaw różnych wartości własnych równania – a zatem trajektorie w przestrzeni fazowej (przestrzeni „współrzędnych” stanu tego układu  $u, v$ ) oscylują z częstością równą części urojonej  $\lambda$ . Część rzeczywista odpowiada za wzrost lub spadek (tłumienie) odległości trajektorii od punktu stacjonarnego (rozwiązania zerowego).

Wokół punktu (1,1) macierz Jacobiego<sup>2</sup> ma postać:

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ \alpha & 0 \end{pmatrix}$$

Równanie własne ma postać:  $\lambda^2 + \alpha$ , co przy dodatniości  $\alpha$  prowadzi do wartości czysto urojonych, a zatem rozwiązania są niegasnącymi oscylacjami. Można to sprawdzić także nie odwołując się do algebry: wprowadźmy następujące oznaczenie  $\bar{u}$  jako niewielkie zaburzenie  $u$  wokół (1,1) i podobnie dla  $v$ . Mamy zatem w przybliżeniu liniowym:

$$\frac{d\bar{v}}{d\bar{u}} = -\bar{a} \frac{\bar{u}}{\bar{v}}$$

co prowadzi przez całkowanie:

$$\int \bar{v} d\bar{v} = -a \int \bar{u} d\bar{u}$$

do:

$$\bar{v}^2 + const = -a\bar{u}^2 \quad \Leftrightarrow \quad \bar{v}^2 + a\bar{u}^2 = const$$

czyli równania elipsy. Podobną analizę możemy wykonać dla punktu (0,0). Otrzymujemy wtedy operator:

---

<sup>2</sup> Macierz Jacobiego to macierz pierwszych pochodnych rozważanego odwzorowania. Zadaje ona liniowe przybliżenie układu nieliniowego w otoczeniu punktu, w którym liczymy pochodne.



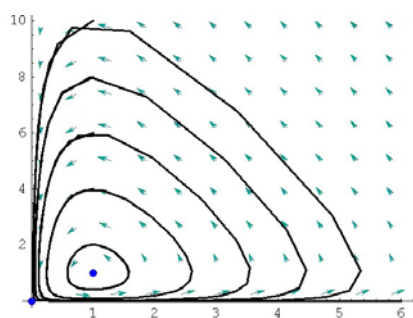
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\alpha \end{pmatrix}$$

którego wielomian charakterystyczny ma postać:  $\lambda^2 + (\alpha - 1)\lambda - \alpha$ . Łatwo widać, że pierwiastki tego wielomianu są przeciwnego znaku liczbami rzeczywistymi (np. wzory Viete'a), co sugeruje, że badany punkt jest punktem siodłowym. Podobnie analitycznie: przez całkowanie otrzymujemy:

$$vu^\alpha = \text{const}$$

co przedstawia trajektorie na płaszczyźnie fazowej o charakterze hiperboli.

Przyjrzyjmy się teraz rzeczywistemu, „nieliniowemu” obrazowi przestrzeni fazowej rozważanego modelu. Przedstawia go rys. 1.



Rys. 1. Przestrzeń fazowa dla modelu Lotki-Volterra

Widzimy teraz, że nasze przybliżenia są poprawne wokół punktów stabilnych. Okazuje się również, że stężenia reagentów bądź liczebność populacji oscylują w czasie i oscylacje są nietłumione: układ jest zachowawczy. Małe zaburzenie układu prowadzi do oscylacji o innej częstotliwości i amplitudzie. Do tego problemu jeszcze wrócimy.

Przyjrzyjmy się dokładniej oscylacjom. Zanim dokonamy dalszej analizy numerycznej, spróbujmy zastanowić się nad średnią koncentracją składników w sposób bardziej ścisły. Weźmy pierwsze z równań (1) i przyjmijmy, że okres oscylacji wynosi  $T$ . Zbadajmy średnią koncentrację składników w przedziale tego jednego okresu:

$$\frac{du}{dt} = u(1-v)$$

czyli:

$$\frac{1}{T} \int_t^{t+T} \frac{1}{u} \frac{du}{dt'} dt' = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (1-v) dt'$$

Całkowanie (zamiana zmiennych) oraz okresowość prowadzi do:

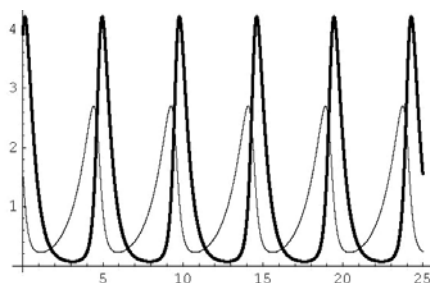
$$1 - \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v(t) dt = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v(t) dt = 1$$

a zatem  $v$  oscyluje wokół 1. Podobnie dla  $u$ :

$$\frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(t) dt = 1$$

Popatrzmy na wyniki analizy numerycznej tego zagadnienia (rys. 2).

Widzimy, że rzeczywiście oscylacje są niegasnące, o tej samej średniej koncentracji składników. Ich jednak amplituda i częstość zależy zdecydowanie od warunków początkowych.



Rys. 2. Oscylacje układu dla warunków początkowych:  $u_0 = 1,9$  oraz  $v_0 = 3,5$

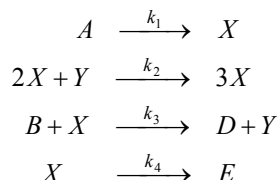
W omawianym modelu małe zaburzenie prowadzi do ustalenia się oscylacji o innej amplitudzie i częstotliwości. Jest to wyraźne ograniczenie w stosunku do rzeczywistych układów, w których mamy raczej dążenie do stabilizacji oscylacji na jednym „poziomie”. W obrazie przestrzeni fazowej takiego rzeczywistego układu powinniśmy się zatem raczej spodziewać cyklu granicznego, który byłby takim właśnie *atraktorem* dla oscylujących trajektorii.

### 3. Brusselator

Bardzo eleganckimi przykładami układów wykazujących oscylacje są reakcje chemiczne, znajdujące się w stanach dalekich od równowagi. Oscylacje mogą występować zarówno w czasie jak i w przestrzeni<sup>3</sup>. Najbardziej znanym takim procesem jest reakcja Biełousowa-Zabotyńskiego. Często rozważamy jednak prostsze, chociaż hipotetyczne modele. Pozwalają nam jednak lepiej zrozumieć mechanizm sprzężenia zwrotnego, jaki obserwujemy w rzeczywistych zjawiskach. Jeden model, Lotki-Volterra, już przeanalizowaliśmy.

<sup>3</sup> Musimy w naszej analizie uwzględnić wtedy człon dyfuzyjny  $\nabla^2 c_p$ .

Opiszemy teraz pokrótce drugi model zwany brusselatozem. Nazwa pochodzi od Brukseli, gdzie ten model został po raz pierwszy wprowadzony w grupie I. Prigogine'a. Ten model generuje cykle graniczne. Cykl hipotetycznych reakcji wygląda następująco:



Podobnie otrzymujemy model matematyczny:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= k_1 A + k_2 X^2 Y - (k_3 B + k_4) X \\ \dot{Y} &= -k_2 X^2 Y + k_3 B X \end{aligned}$$

który można przedstawić w postaci bezwymiarowej:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= 1 - (b + 1)x + ax^2 y \\ \dot{y} &= bx - ax^2 y \end{aligned}$$

która jest wygodniejsza do analizy. Punkt stacjonarny to:  $(1, \frac{b}{a})$ . Policzmy podobnie jak poprzednio macierz Jacobiego powyższego układu:

$$Df(1, \frac{b}{a}) = \begin{pmatrix} b-1 & a \\ -b & -a \end{pmatrix}$$

Jej wartości własne to:  $\frac{-1-a+b \pm \sqrt{-4a+(1+a-b)^2}}{2}$ . Dynamika układu staje się

zatem bogatsza, ponieważ posiada „dwuparametrową” swobodę. Zauważmy, że w zależności od wartości tych parametrów zmienia się znak części rzeczywistej wartości własnych, co powoduje jakościową zmianę w dynamice układu – tzw. bifurkację.

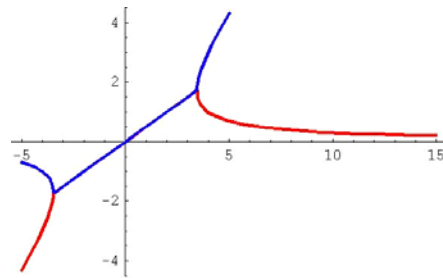
**Bifurkacją** można najprościej nazwać nieciągłą zmianę właściwości układu przy zmianie pewnego parametru, od którego ten układ zależy. Jako prosty przykład możemy wziąć równanie wahadła tłumionego  $\ddot{x} + \gamma\dot{x} + kx = 0$ .

W zależności od wartości kontrolnego parametru  $\gamma$  możemy uzyskiwać różne obrazy na płaszczyźnie fazowej. Wartości własne operatora  $A$  zależą od wartości współczynnika tłumienia  $\gamma$ :

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -k & \gamma \end{pmatrix}$$

Położmy za  $k$  np. 3 i przyjrzyjmy się zachowaniu wartości własnych (ich części rzeczywistych i urojonych) przy zmieniającym się parametrze  $\gamma$ . Wartości własne wynoszą odpowiednio:  $\frac{1}{2}[\gamma \pm \sqrt{-12 + \gamma^2}]$ . Widać że w przedziale  $(-2\sqrt{3}, 2\sqrt{3})$  wartości własne są zespolone, a dla pozostałych wartości rzeczywiste. W tym przedziale również rzeczywiste części wartości własnych są sobie równe.

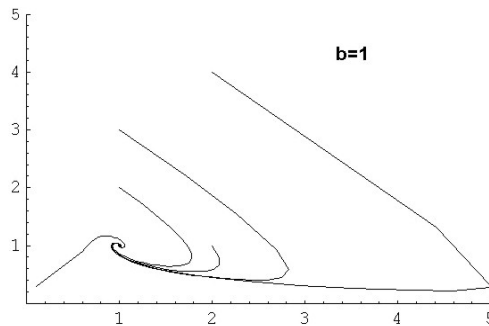
Widzimy zatem że układ posiada trzy „punkty zwrotne”, zwane punktami bifurkacji. W tych punktach cała struktura przestrzeni fazowej ulega zmianie (rys. 3).



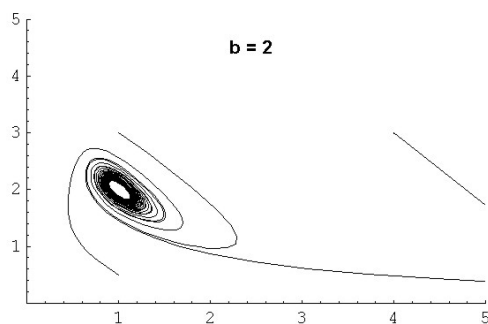
Rys. 3. Zależność części rzeczywistych wartości własnych od parametru  $\gamma$

Dla  $b = 1 + a$  części rzeczywiste wartości własnych znikają i mamy punkt bifurkacji (zwaną *bifurkacją Hopfa*), ustalmy  $a = 1$  i zmieniamy  $b$ . Poniższe rysunki ilustrują zmiany, jakie zachodzą w przestrzeni fazowej dla zmieniającego się  $b$ .

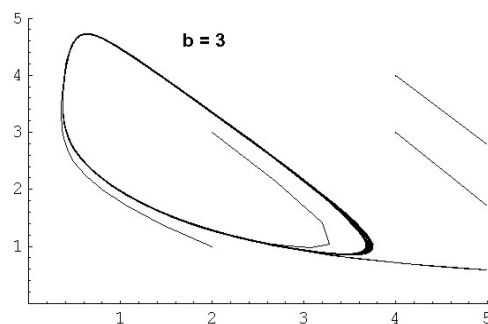
Zgodnie z zapowiedzią, brusselator generuje stabilne oscylacje w postaci cykli granicznych i stanowi dobry punkt wyjścia do konstrukcji modeli opisujących rzeczywiste układy, takie jak reakcja Bielousowa-Żabotyńskiego, rozprzestrzenianie się epidemii itp.



Rys. 4. Punktowy atraktor



Rys. 5. Punkt bifurkacji



Rys. 6. Cykl graniczny

### Literatura

- [1] Murray J. D. *Nonlinear-Differential-Equations Models in Biology*, Oxford University Press, Oxford 1977.
- [2] Schuster H. G. *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, PWN, Warszawa 1995.

Rysunki zostały wykonane za pomocą programu Mathematica 5.0 przy użyciu funkcji PhasePlot z pakietu poświęconego zwyczajnym równaniom różniczkowym dostępnego pod adresem: <http://library.wolfram.com/infocenter/MathSource/4397/>  
Można oczywiście wykorzystać do wykonywania takich rysunków dowolny inny program. Do zabaw tego typu z różnymi równaniami serdecznie Czytelników zachęcam.



## Co wspólnego ze sztuką ma reaktor chemiczny?

*Marek Berezowski*

*Politechnika Śląska, Wydział Matematyczno-Fizyczny*

*Instytut Matematyki, Gliwice*

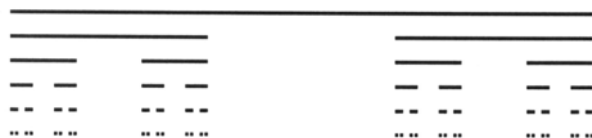
W lutowym numerze *Świata Nauki* 2003 roku ukazał się ciekawy artykuł Richarda P. Taylora, profesora fizyki Uniwersytetu Stanu Oregon [1], dotyczący matematyczno-komputerowej analizy wybranych dzieł malarza Jacksona Pollocka. Jeden z obrazów artysty prezentuje rysunek 1.



Rys. 1. Obraz Pollocka. *Eyes heat*

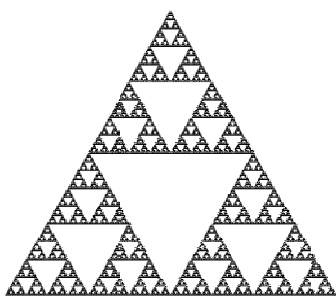
W swoim artykule Taylor główną uwagę skupił na wykazaniu, iż stworzone przez Pollocka artystyczne struktury mają charakter fraktalny. Udowodnił, iż fragmenty obrazu mają ten sam wymiar co cały obraz. Cechą fraktali jest bowiem to, że fragment danej struktury geometrycznej, powiększony odpowiednią ilością razy, przypomina całość i ma, w przybliżeniu, ten sam wymiar co całość. Taylor wykazał ponadto, iż wymiar struktur geometrycznych stworzonych przez Pollocka wzrastał na przestrzeni lat od  $D = 1,12$  do  $1,90$ . Oznacza to, że na kolejnych płótnach stawały się one coraz bardziej złożone. Przypomnijmy, że  $D = 0$  oznacza przestrzeń o zerowym wymiarze, czyli punkt.  $D = 1$  oznacza z kolei przestrzeń jednowymiarową, czyli linię,  $D = 2$  – przestrzeń dwuwymiarową, czyli płaszczyznę, natomiast  $D = 3$  – przestrzeń trójwymiarową, czyli bryłę. Ułamkowa wartość wymiaru oznacza, że ma się do czynienia z przestrzenią niecałkowicie wypełnio-

ną, czyli z czymś pośrednim między jednym a drugim wymiarem, między jedną a drugą strukturą. I tak w przypadku  $D$  z zakresu od 0 do 1 może to być zbiór złożony z nieskończenie wielu odcinków o zerowej długości każdy (np. zbiór Cantora,  $D = 0,631$ ; rys. 2).

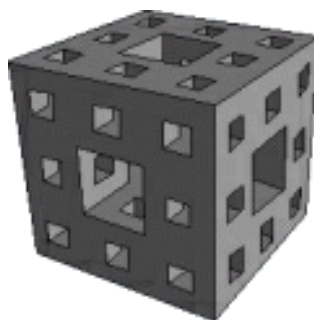


Rys. 2. Zbiór Cantora

W przypadku  $D$  z zakresu od 1 do 2 może to być zbiór nieskończenie wielu trójkątów o zerowym polu każdy (np. trójkąt Sierpińskiego,  $D = 1,585$ ; rys. 3), natomiast w przypadku  $D$  z zakresu od 2 do 3 może to być zbiór nieskończenie wielu sześcianów o zerowej objętości każdy (np. gąbka Menger,  $D = 2,727$ ; rys. 4).



Rys. 3. Trójkąt Sierpińskiego



Rys. 4. Gąbka Menger

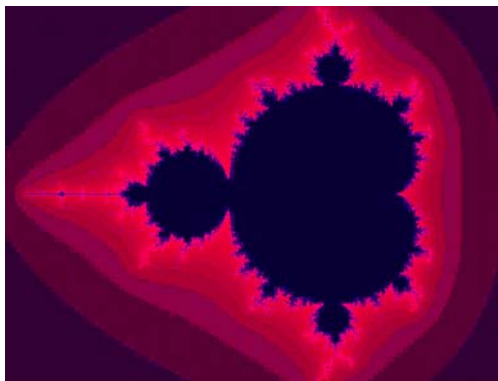
Wyznaczając wymiary struktur dzieł Pollocka, Taylor zastosował metodę siatki, którą dość szczegółowo opisał w swoim artykule. Ogólnie rzecz ujmując, polega ona na tym, iż dany obraz, czy też jego fragment, dzieli się na  $N$  małych kwadratów i następnie określa liczbę kwadratów  $N(s)$ , w których pojawiły się charakterystyczne elementy obrazu. Wymiar badanej struktury określić można wówczas w przybliżeniu ze wzoru:

$$D = \frac{2 \lg[N(s)]}{\lg(N)}$$

Ze strukturami fraktalnymi mamy do czynienia w każdej dziedzinie życia. Występują one praktycznie wszędzie w otaczającym nas świecie. Patrząc na fotografię kamienia umieszczonego na jednolitym neutralnym tle, nie jesteśmy w stanie

stwierdzić, czy widzimy kamień, czy też olbrzymią górę (efekt ten wykorzystywany jest m.in. przez scenografów filmowych). Obraz gałązki świerku, powiększony odpowiednią ilość razy, przypomina całe drzewo. Podobnie rzecz ma się z chmurami, liniami brzegowymi itd., itd. Można zatem śmiało powiedzieć, że fraktale są rzeczywistymi otaczającymi nas tworamii geometrycznymi. W przyrodzie nie istnieje bowiem idealny odcinek, koło czy sześciąt. W praktyce codziennej posługujemy się pojęciami struktur idealnych, ponieważ „upraszczając” w ten sposób rzeczywistość, łatwiej dokonać jej matematycznego opisu.

Czy modelowanie złożonej struktury fraktalnej musi być jednak matematycznie złożone? Okazuje się, że nie. Dobrym przykładem jest popularny fraktal Mandelbrota (rys. 5), który, mimo iż jest strukturą o nieskończonej złożoności, daje się opisać bardzo prostą zależnością rekurencyjną postaci  $z_{k+1} = z_k^2 + c$  (zmienna  $z$  i stała  $c$  są liczbami zespolonymi). Obraz fraktalny Mandelbrota uzyskuje się, badając wpływ wartości stałej  $c$  na zbieżność powyższej rekurencji, przy założeniu początkowej wartości  $z_0 = 0$ .



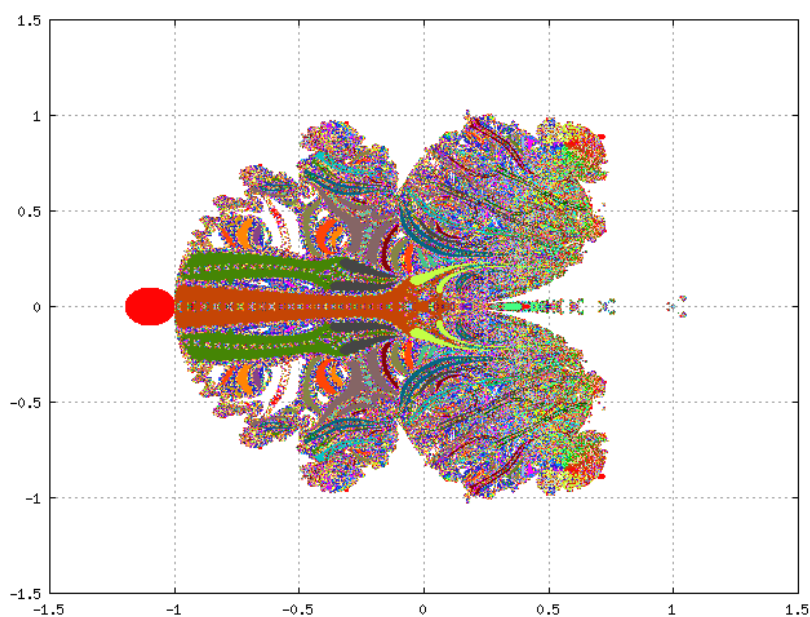
Rys. 5. Fraktal Mandelbrota

Jeden z tematów moich badań stanowi analiza dynamiki reaktorów chemicznych, tj. urządzeń, w których odbywają się reakcje chemiczne. Ściśle mówiąc, analiza ta nie dotyczy bezpośrednio fizycznych urządzeń, lecz ich matematycznych modeli. Okazuje się, że reaktory chemiczne generować mogą bardzo złożone zjawiska dynamiczne, np. okresowe bądź nieokresowe oscylacje temperatury i stężeń reagujących składników. W niektórych przypadkach oscylacje te mogą być chaotyczne.

Biorąc pod uwagę powyższe, postanowiłem zbadać, czy stosując wspomnianą metodę Mandelbrota, uzyska się podobnie złożone struktury rozwiązań modeli reaktorów. Przesłanką pozwalającą przypuszczać, iż otrzymane obrazy mogą być

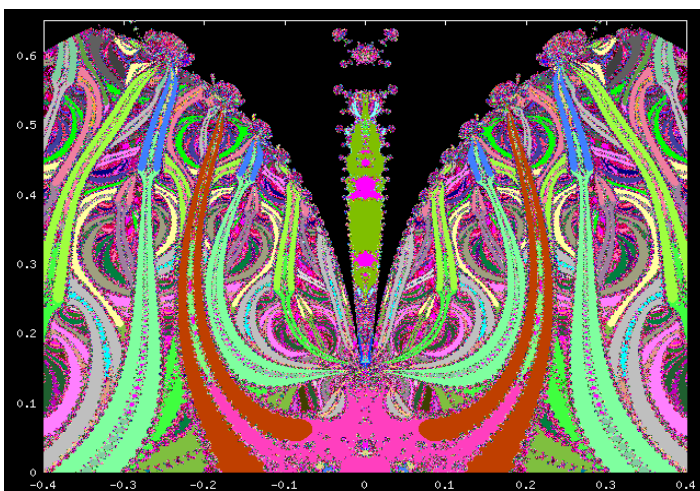


równie skomplikowane, było to, iż modele reaktorów chemicznych, w niektórych przypadkach, generują chaos [3, 4, 5, 6]. Chaos zaś nierozdzielnie związany jest z fraktalami [7, 8]. Należało zatem, podobnie jak w przypadku modelu Mandelbrot, przyjąć zespolony charakter zmiennych stanu reaktora, tj. temperatury i stężeń, a następnie zastosować algorytm badający wpływ wartości początkowych tych zmiennych na typ rozwiązania modelu matematycznego. W efekcie uzyskałem takie obrazy jak na rysunku 6. Różne kolory oznaczają różną wrażliwość. Obszar biały dotyczy sytuacji, w której model w ogóle nie daje ustalonego rozwiązania.



Rys. 6. Wpływ warunków początkowych na stabilność rozwiązań zespolonych równań reaktora

Dla określenia wymiaru struktury z rysunku 6 zastosowałem metodę, której użył Taylor do badania obrazów Pollocka. Żeby ocenić, czy struktura ta jest fraktalem, należało sprawdzić, czy uzyskany wymiar jest, w przybliżeniu, taki sam dla kolejnych powiększeń wybranego fragmentu obrazu (rys. 7 i 8). W rezultacie okazało się, że wszystkie badane obszary mają mniej więcej ten sam wymiar  $D = 1,7$ , co oznacza, że struktura jest fraktalem.

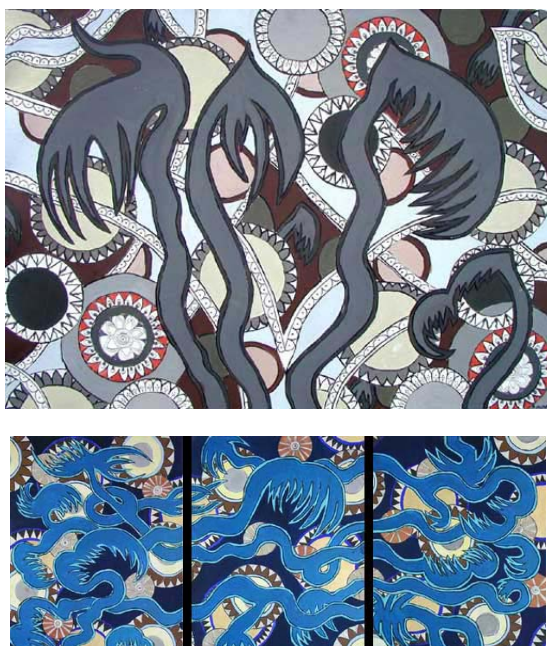


Rys. 7. Fragment rys. 6



Rys. 8. Fragment rys. 7

W zakończeniu należy dać odpowiedź na zadane w tytule pytanie, co wspólnego ma reaktor chemiczny ze sztuką? Plastycznie można powiedzieć, że jego równania zespolone „malują” obrazy. Jeśli ktoś nie jest co do tego przekonany, niech porówna rys. 7 i 8 z obrazami Marii Wilskiej (rys. 9).



Rys. 9. Obrazy Marii Wilskiej

Odwracając problem, należałoby zapytać, co sztuka ma wspólnego z matematyką? Profesor Michał Heller postawił swego czasu tezę, iż Bóg jest matematyką, co znaczy, że wszystko jest matematyką. Z pracy Taylora wynika, iż w sposób ścisły można określić poziom estetyczny danego dzieła, przynajmniej w pewnym jego zakresie. To oznacza, że estetyka niekoniecznie musi być subiektywna, ponieważ matematyka nie jest subiektywna. W każdym razie z tego, co Taylor pisze, wynika, że najbardziej przyjemna dla oka jest struktura obrazu o wymiarze fraktalnym mieszczącym się w granicach 1,3–1,5. Podobne reguły z pewnością obowiązują także w innych dziedzinach sztuki, np. w muzyce.<sup>1</sup>

Porównując „wizualnie” obrazy fraktalne uzyskane z obliczeń zespolonych równań reaktora chemicznego (rys. 6–8) z obrazem Pollocka (rys. 1), odnosi się wrażenie, iż w obrazach reaktora jest pewna harmonia, a w obrazie Pollocka nie. Wrażenie to jest jednak mylące. O harmonii obrazów Pollocka świadczy właśnie to, że mają one wymiar fraktalny. Taylor pisze: „Wydalo mi się nagle, że pojąłem tajemnicę Jacksona Pollocka: gdy malował, poddawał się rytmowi natury. Zrozu-

<sup>1</sup> Redakcja dystansuje się od powyższej opinii Autora. Wypowiedzi na temat działu filozofii estetyki wykraczają poza kompetencje Redakcji. O fraktalach w muzyce polecamy artykuły Marka Wolfa i Krzysztofa Meyera (*Foton* 48).

miałem też wtedy, że będę musiał wrócić do nauki, aby stwierdzić uchwytne ślady tego rytmu w jego dziełach”.

Inne fraktale uzyskane z równań reaktorów chemicznych zobaczyć można m.in. w publikacji [2] oraz pod adresem: <http://zeus.polsl.gliwice.pl/~mberez>.

#### Literatura cytowana:

- [1] Taylor R.P., *Porządek w chaosie Pollocka*, „Świat Nauki”, luty 2003.
- [2] Berezowski M., *Obrazy fraktalne reaktora chemicznego*, „Delta”, nr 7, 2003.
- [3] Stewart I., *Czy Bóg gra w kości. Nowa matematyka chaosu*, PWN, Warszawa 1994.
- [4] Orlik M., *Reakcje oscylacyjne, porządek i chaos*, WNT, Warszawa 1996.
- [5] Dorfman J.R., *Wprowadzenie do teorii chaosu w nierównowagowej mechanice statystycznej*, PWN, Warszawa 2001.
- [6] Baker G.L., Gollub J.P., *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*, PWN, Warszawa 1998.
- [7] Peitgen H.-O., Jürgens H., Saupe D., *Granice chaosu fraktale*, tom 1 i 2. PWN, Warszawa 2002.
- [8] Stauffer D., Stanley H. E., *Od Newtona do Mandelbrota. Wstęp do fizyki teoretycznej*, WNT, Warszawa 1996.
- [9] Tabiś B., *Teoria i inżynieria obiektów reagujących chemicznie*, WNT, Warszawa 1994.

Reaktory chemiczne są to aparaty, w których odbywają się reakcje chemiczne [9]. W ogólnym przypadku reaktory mogą być zbiornikowe (czyli po prostu zbiorniki, w których reagujące ze sobą składniki są bardzo intensywnie mieszane) i rurowe (do których z jednej strony doprowadzany jest surowiec, a z drugiej odprowadzany przereagowany produkt). Generalnie urządzenia te mają za zadanie zapewnić reagującym składnikom jak najlepszy i najdłuższy wzajemny kontakt. Zaprezentowane w tym artykule obrazy fraktalne uzyskane zostały z równań reaktora rurowego postaci:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \tau} + \frac{\partial \alpha}{\partial \xi} = \phi_1(\alpha, \Theta); \quad \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \Theta}{\partial \xi} = \phi_2(\alpha, \Theta)$$

Funkcje  $\phi_1$  i  $\phi_2$  opisują tzw. kinetykę reakcji, która mówi, jak szybko jeden reagujący składnik zamienia się w drugi, a także ile w trakcie tej zamiany wydziela się ciepła. Zmienne  $\alpha$  i  $\Theta$  to stężenie i temperatura, natomiast  $\tau$  i  $\xi$  to czas i pozycja wewnątrz reaktora.

#### Redakcja poleca artykuły o fraktalach:

- Gudowska-Nowak Ewa *Fraktalna nieznośność bytu czyli historia demonów Mandelbrota*, *Foton* 41, marzec/kwiecień 1996.
- Dyrek Andrzej, *Rysujemy fraktale*, *Foton* 41, marzec/kwiecień 1996.
- Wolf Marek, *Fraktalne własności muzyki*, *Foton* 48, styczeń/luty 1997.
- Krzysztof Meyer, *Kompozytor o „twórczości” komputerowej*, *Foton* 48, styczeń/luty 1997.
- Strzelecki Janusz, *Wytwarzanie fraktalnych struktur niskowymiarowych metodą galwanizacji*, *Foton* 77, lato 2002.
- Życzkowski Karol i Łoziński Artur, *Chaos, fraktale oraz euroatraktor*, *Foton* 80, wiosna 2003.



## Kwantowanie przewodności elektrycznej w nanodrutach

*Szymon Godlewski, Antoni Tekiel*  
*Studia Matematyczno-Przyrodnicze, III rok*  
*Uniwersytet Jagielloński*

### 1. Zjawisko

Wiele wieków rozwoju fizyki przyniosło odkrycie i wytłumaczenie olbrzymiej ilości zjawisk zachodzących w przyrodzie. Rozwój technik doświadczalnych, dzięki którym otrzymano narzędzia do badania nowych zjawisk, spowodował, że na początku XX wieku zaobserwowano wiele nieznanymi wcześniej efektów. Większości z nich nie dawało się już wyjaśnić klasycznymi prawami fizyki. Skłoniło to rzeszę naukowców do szczególnie intensywnego poszukiwania nowych teorii. Ich wysiłek doprowadził do powstania mechaniki kwantowej – powstała ona na początku ubiegłego stulecia. Od tego czasu dzięki niej zrozumiano i wyjaśniono bardzo wiele obserwowanych zjawisk, a sama mechanika kwantowa stała się podstawą współczesnej fizyki.

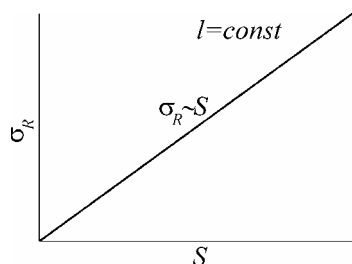
W niniejszej pracy chcielibyśmy przybliżyć pewne zjawisko kwantowe – kwantowanie przewodności elektrycznej – oraz eksperyment, w którym w stosunkowo prosty sposób można je zaobserwować. Zaczniemy jednak od klasycznych praw opisujących przewodność elektryczną. Zapewne wszyscy pamiętają znane ze szkoły wyrażenie opisujące wielkość oporu elektrycznego  $R$  przewodnika:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad (1)$$

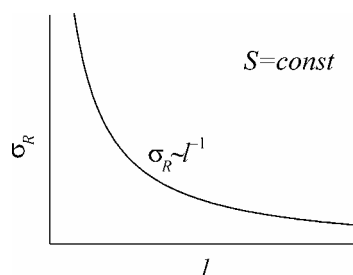
gdzie  $\rho$  jest opornością właściwą materiału, z którego wykonano przewodnik,  $l$  – długością przewodnika,  $s$  zaś jego polem przekroju poprzecznego. Czasem wygodniej jest posługiwać się przewodnością zdefiniowaną jako odwrotność oporu:

$$\sigma_R = \frac{1}{R} = \frac{s}{\rho \cdot l}, \quad (2)$$

Tą właśnie wielkością będziemy się dalej zajmować. Zgodnie z (2) przewodność elektryczna jest wprost proporcjonalna do pola przekroju poprzecznego przewodnika i odwrotnie proporcjonalna do jego długości. Typową zależność przedstawiają rysunki 1a i 1b.



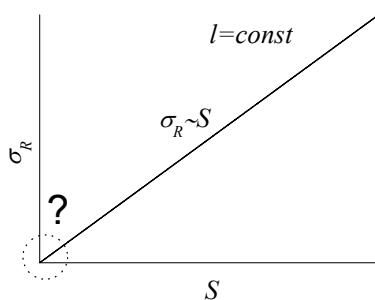
Rys. 1a. Zależność przewodności elektrycznej od pola przekroju poprzecznego przewodnika przy ustalonej długości



Rys. 1b. Zależność przewodności elektrycznej od długości przewodnika przy ustalonym przekroju poprzecznym

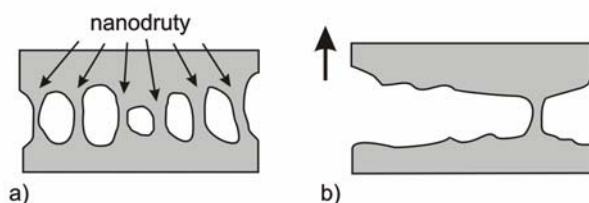
W zasadzie możemy uzyskać dowolną wartość przewodności, odpowiednio dobierając rozmiary przewodnika. Należy się jednak spodziewać, że bardzo mocne zmniejszenie jego rozmiarów może wprowadzić nas w obszar mikroświata rządzonego prawami mechaniki kwantowej, w którym klasyczne przewidywania nie dają dobrych rezultatów. W rzeczywistości okazuje się, że gdy wystarczająco mocno zmniejszymy rozmiary naszego złącza (przez złącze rozumiemy będziemy rozpatrywany fragment przewodnika), wyrażenie (1) przestanie być słuszne.

W przeprowadzonym eksperymencie zbadaliśmy zachowanie przewodności elektrycznej w bardzo małych strukturach (obszar zaznaczony na rys. 2).



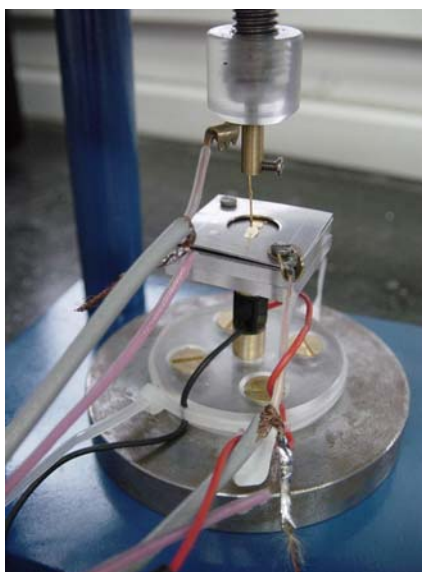
Rys. 2. Oczekując zaobserwowania nietypowego dla obiektów makroskopowych zachowania przewodności elektrycznej, zbudowano nieskomplikowany układ doświadczalny do badania przewodności w bardzo małych strukturach. Okazuje się, że zależność przewodności od rozmiaru przewodnika w opisie kwantowym jest zasadniczo inna niż w opisie klasycznym

Należało zatem takie odpowiednio małe struktury wytworzyć. W tym celu można posłużyć się np. dwoma opartymi o siebie drutami (najlepiej złotymi, gdyż nie zachodzi wtedy utlenianie się powierzchni metalu). Wprawiając taki układ elektrod w drgania, spowodujemy, że kontakt między nimi będzie cyklicznie tworzony i niszczone. Rysunek 3a przedstawia pewien punkt styku dwóch elektrod – jest on złożony z wielu równoległych nanodrutów. W wyniku drgań układu oba makroskopowe druty zaczynają się od siebie oddalać i poszczególne nanodrutu ulegają zniszczeniu. W końcu połączenie obu makroskopowych elektrod ogranicza się do jednego uformowanego nanodrutu, tak jak to pokazano na rysunku 3b. Otrzymaliśmy w ten sposób prymitywny układ do wytwarzania nanodrutów.



Rys. 3. Tuż przed zerwaniem kontaktu obie elektrody połączone są tylko jednym nanodrutem

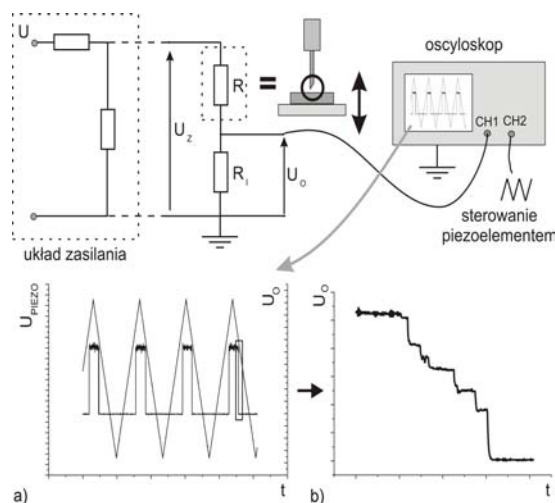
Lepsze efekty można uzyskać, jeśli zamiast drgań, które wywołują cykliczne zanikanie kontaktu między drutami, użyjemy elementu pozwalającego na niewielką zmianę położenia któregoś z drutów. Można to zrealizować dzięki piezokryształom, które pod wpływem przyłożonego napięcia ulegają małym odkształceniom. Jeśli umocujemy na takim elemencie jedną z elektrod, którą może być np. próbka, to będziemy mogli cyklicznie uderzać nią w drugą elektrodę, np. ostrą igłę. Na rysunku 4 przedstawiono układ igły z próbką w wykorzystywanym przez nas układzie doświadczalnym. Całość wbudowana jest w masywny statyw, a najważniejszą częścią jest piezoelement. Może nim być nawet piezokryształ wyjęty z zapalniczki do gazu, jednak wymaga on stosowania napięć rzędu 1 kV.



Rys. 4. Na piezoelemencie umocowano złotą próbkę, którą uderzano cyklicznie w przycięty, złoty drut stanowiący igłę



Badanie przewodności złącza sprowadza się do zastosowania prawa Ohma: znając napięcie na końcach przewodnika i natężenie płynącego przez niego prądu, możemy określić jego opór. Pomiar natężenia prądu wygodnie jest przeprowadzić, mierząc spadek napięcia na znanym, szeregowo włączonym w układ oporniku. Schematycznie metodę pomiaru przedstawia rysunek 5. Na piezoelement podawano sygnał trójkątny, który wymuszał ciągłe, wzajemne przybliżanie i oddalanie się igły i próbki. Na ekranie oscyloskopu obserwowano czasowy przebieg spadku napięcia na szeregowo włączonym do złącza igła-próbka oporniku  $R_f$ . W przypadku gdy na jeden kanał oscyloskopu podamy sygnał sterowania piezoelementem (przebieg trójkątny), natomiast na drugi kanał spadek napięcia na oporniku  $R_f$ , na ekranie oscyloskopu zobaczymy przebieg przedstawiony na rysunku 5a. Obserwowany sygnał prostokątny związany jest ze skokowym (w tej skali czasu) procesem tworzenia i niszczenia kontaktu między igłą i próbką. Jeżeli dokonamy zmiany skali czasu i tym samym skoncentrujemy się na zaznaczonym fragmencie, to będziemy mogli dostrzec skokowe zmiany rejestrowanej wielkości (rys. 5b). Całkowite zerwanie kontaktu między elektrodami, co można poznać po zerowym spadku potencjału na oporniku  $R_f$ , stanowi dokładne wskazanie momentu czasu, tuż przed którym połączenie realizowane było tylko przez jeden nanodrut. Obserwowane zmiany przewodności związane są więc ze zjawiskami zachodzącymi wewnątrz jednego, ostatniego nanodrutu. Wraz z upływającym czasem dochodzi do zmian w jego rozmiarze i kształcie. Jak się okaże, szczególnie ważne są tutaj zmiany przekroju nanozłącza w jego przewężeniu.



Rys. 5. Schemat metody pomiaru przebiegów czasowych spadku napięcia na oporniku  $R_f$



Pozostaje jedynie odwickłać z rejestrowanych danych, odpowiadających napięciu na oporniku  $R_I$  wartość przewodności złącza igła-próbka. Układ stanowi dzielnik napięcia, więc napięcie rejestrowane przez oscyloskop  $U_0$  związane jest z napięciem zasilania  $U_Z$  i występującymi oporami w układzie poprzez związek:

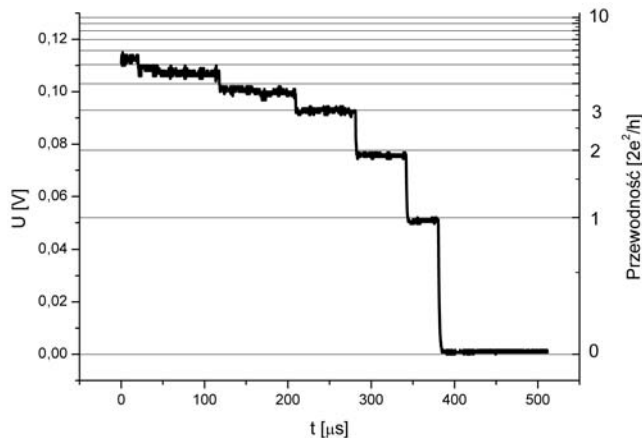
$$U_0 = \frac{R_I}{R + R_I} U_Z,$$

a stąd:

$$\sigma_R = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_I} \frac{U_0}{U_Z - U_0}, \quad (3)$$

Na rysunku 6 przedstawiono przebieg zarejestrowany podczas eksperymentu, który otrzymano w przypadku zastosowania złotej igły przy napięciu zasilania  $U_Z = 153,4$  mV. Dane są przedstawiane w formie zebranej z oscyloskopu. Lewa oś odpowiada napięciu rejestrowanemu przez oscyloskop, natomiast prawa, dodatkowa skala stanowi nieliniową, zgodną z równaniem (3) skalę przewodności elektrycznej.

Widzimy więc, że wyrażenie (1) opisujące klasycznie zjawisko przewodności elektrycznej przestaje być prawdziwe.



Rys. 6. Przebieg zarejestrowany podczas wytworzenia się nanodrutu

Dlaczego tak się dzieje? Otóż wszelkie „kłopoty” klasycznej mechaniki pojawiają się, gdy zaczynamy rozpatrywać odpowiednio małe obiekty. Należy wtedy –

w celu rozwiązania jakiegoś zagadnienia – posłużyć się mechaniką kwantową. Ścisłej rzecz ujmując, przewidywania teorii kwantowej są słuszne również w przypadku obiektów „dużych” – ale wtedy różnica w przewidywaniach teorii klasycznej i kwantowej jest tak mała, że niewykrywalna doświadczalnie, i z powodzeniem można stosować teorię klasyczną. W przypadku przewodności mamy do czynienia z elektronami. Ale tu pojawia się pewien problem. Przecież elektrony są „bardzo małe”. Zatem do nich teoria klasyczna nie powinna się w ogóle stosować. Okazuje się jednak, że wyprowadzone na podstawie klasycznych równań zależności są w pewnych warunkach, np. przy dużej liczbie elektronów, dobrym przybliżeniem rzeczywistości. Jeżeli jednak rozmiary złącza zredukujemy do bardzo małych, to efekty kwantowe zaczną odgrywać znaczącą rolę. Okazuje się, że w takich warunkach przewodność może przyjmować tylko pewne, dyskretne wartości – mówimy, że jest ona skwantowana. Wy tłumaczenie kwantowego charakteru przewodności elektrycznej w nanodrutach wymaga znajomości pewnych elementów mechaniki kwantowej i fizyki ciała stałego, które pokrótce omówimy poniżej.

## 2. Model Fermiego elektronów swobodnych

Za własności elektryczne metali odpowiedzialne są elektrony walencyjne. W najprostszym modelu (okazuje się, że na jego podstawie można jakościowo wytłumaczyć kwantowanie przewodności) zakładamy, że wszystkie elektrony walencyjne mogą się poruszać swobodnie w całej objętości przewodnika. Stają się one nośnikami elektryczności i nazywane są elektronami przewodnictwa. Przyjmujemy przy tym, że nie mogą one w żaden sposób wydostać się z obszaru przewodnika (tzn. że są uwięzione w nieskończonej studni potencjału). Opisany tu model nazywamy modelem elektronów swobodnych Fermiego. Powrócimy do niego za chwilę, ale na razie musimy zapoznać się z pewnymi elementami mechaniki kwantowej, a w szczególności z funkcją falową.

## 3. Funkcja falowa

Dwoistość korpuskularno-falowa materii przewiduje, że z każdą cząstką możemy związać pewną falę<sup>1</sup> – falę materii. W mechanice kwantowej mówimy o funkcji falowej, którą możemy wyobrazić sobie jako przestrzenną mapę tej fali. Zaznaczyć należy, że funkcja falowa przyjmuje w ogólności wartości zespolone. Dla naszych celów wystarczy wiedzieć, że kwadrat modułu funkcji falowej ma probabilistyczną interpretację jako gęstość prawdopodobieństwa (tzn. prawdopodobieństwo na jednostkę objętości) znalezienia cząstki w danym punkcie przestrzeni. Wiemy już zatem, że z każdą cząstką związana jest funkcja falowa. Od tej pory

---

<sup>1</sup> Przedstawione tutaj rozważania mają jedynie charakter poglądowy. Dokładniejsze omówienie można znaleźć w każdym podręczniku mechaniki kwantowej.

będziemy zajmowali się wyłącznie funkcjami falowymi, to one bowiem dostarczą nam wszystkich możliwych do poznania informacji na temat cząstek. W mechanice kwantowej nie zawsze (a dokładniej: prawie nigdy) możemy powiedzieć, że dana cząstka znajduje się w jakimś konkretnym miejscu w przestrzeni. Możemy jedynie – na podstawie znajomości funkcji falowej – powiedzieć jakie jest prawdopodobieństwo, że cząstka znajduje się w konkretnym obszarze przestrzeni. Mechanika kwantowa jest teorią probabilistyczną. Skoro wszystkie dostępne informacje o obiekcie zawarte są w funkcji falowej, to warto dowiedzieć się, jak funkcje te wyznaczyć. Otóż są one rozwiązaniami pewnego równania różniczkowego, zwanego równaniem Schrödingera. Nie będziemy tutaj podawać postaci tego równania ani tym bardziej go rozwiązywać. Skorzystamy za to z gotowych rozwiązań, które na szczęście w naszym przypadku mają prostą formę. Funkcja falowa elektronu zamkniętego w nieskończonej jednowymiarowej studni potencjału ma postać (w obszarze studni):

$$\Psi_n(x) = \left(\frac{2}{L}\right)^{1/2} \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi \cdot x}{L}\right) \quad (4)$$

gdzie  $L$  jest szerokością studni, natomiast  $n$  liczbą naturalną. Okazuje się, że funkcje falowe elektronu w nieskończonej studni potencjału mogą być różne (dla różnych wartości  $n$ ). Opisują one cząstki o różnych energiach. Samej postaci funkcji falowej nie będziemy zresztą wykorzystywać – wystarczy nam wiedzieć, że energia elektronu opisanego funkcją falową  $\Psi_n$  wynosi:

$$E_n = \frac{h^2}{2m} \cdot \left(\frac{n}{2L}\right)^2 \quad (5)$$

gdzie  $m$  jest masą elektronu, a  $h$  stałą Plancka. Widzimy zatem, że energia elektronów zamkniętych w nieskończonej studni potencjału jest skwantowana, a poszczególne poziomy energetyczne „podnoszą się” w miarę zwięzania studni. Omówiliśmy tutaj sytuację elektronów zamkniętych w jednowymiarowej studni; dla przypadków dwu i trójwymiarowych sytuacja jest bardzo podobna i poczynione spostrzeżenia są również prawdziwe. Zapoznaliśmy się zatem z niezbędnymi podstawami mechaniki kwantowej. Możemy zatem wrócić do modelu elektronów swobodnych<sup>2</sup>. Założyliśmy w nim, że elektrony przewodnictwa są zamknięte w nieskończonej studni potencjału. Znamy zatem ich funkcje falowe. Wiemy, że układy fizyczne przechodzą do stanu, w którym mają najniższą energię. Najprostszym rozwiązaniem byłoby więc, aby wszystkie elektrony znajdowały się w stanie

---

<sup>2</sup> Dokładniejszy opis gazu elektronów swobodnych można znaleźć w podręcznikach fizyki ciała stałego, np. C. Kittel *Wstęp do fizyki ciała stałego*.

opisanym funkcją  $\Psi_1$ . Jednakże sytuacja taka nie jest możliwa. Jest to związane z tzw. zakazem Pauliego, w myśl którego dwa elektrony nie mogą się znajdować w tym samym stanie<sup>3</sup>. Zatem elektrony będą zajmowały kolejno stany o coraz wyższej energii. Widzimy, że wszystkie stany aż do wyczerpania elektronów będą zajęte, natomiast wszystkie o energiach wyższych – puste. Energię najwyższego zajętego stanu nazywamy energią Fermiego. Opisana sytuacja dotyczy temperatury 0 K, gdyż w wyższych temperaturach będą następowały wzbudzenia termiczne i część elektronów ze stanów poniżej energii Fermiego będzie przechodziła do stanów powyżej energii Fermiego. Sytuacją taką nie będziemy się tu jednak zajmować.

#### 4. Kwantowanie przewodnictwa w nanodrutach

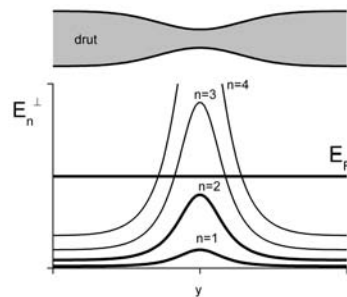
W klasycznej teorii przewodnictwa rozpatruje się ruch elektronów pod wpływem przyłożonego pola i uwzględnia się ich rozpraszanie na węzłach sieci. Jest to model bardzo przybliżony, niemniej można za jego pomocą wytłumaczyć pochodzenie oporu elektrycznego. Wyobraźmy sobie teraz, że stworzyliśmy złącze, którego wymiary są mniejsze od tzw. średniej drogi swobodnej elektronów (średnia droga swobodna to odległość, jaką średnio przebywa elektron pomiędzy zderzeniami). Okazuje się, że wtedy nie występują procesy rozpraszania elektronów (mamy do czynienia z tzw. transportem balistycznym, w odróżnieniu od „normalnej” sytuacji i transportu dyfuzyjnego) i mogłoby się wydawać, że opór takiego złącza jest zerowy. Tak jednak nie jest. Zastanówmy się, dlaczego. Z teorii fizyki ciała stałego wiadomo, że w przewodnictwie prądu mogą brać udział tylko elektrony o energiach bliskich energii Fermiego. Wyobraźmy sobie, co się zatem dzieje w takim złączu. Dla uproszczenia rozważmy przypadek dwuwymiarowy, tzn. złącze, które ma niezerową długość i szerokość, ale nie ma grubości (złącze płaskie). Oczywiście, wszystkie wymiary są mniejsze od średniej drogi swobodnej. Elektrony w takim złączu mogą poruszać się wzdłuż jego długości, mogą również przemieszczać się do obszaru złącza z dalszych fragmentów przewodnika lub też z obszaru złącza do innych części przewodnika. Natomiast poprzeczne ruchy elektronów są ograniczone nieskończoną studnią potencjału o szerokości równej szerokości złącza (można wyobrażać sobie, że złącze jest rurą otwartą z dwóch końców, tak że elektrony mogą przepływać przez tę rurę, ale nie mogą się z niej wydostawać na boki). Możemy zatem napisać, że dla elektronów biorących udział w przewodzeniu prądu:

$$E_n + E = E_F$$

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \cdot \left( \frac{n}{2L} \right)^2 \quad (6)$$

<sup>3</sup> W rozważaniach nie uwzględniamy spinu elektronu.

gdzie  $E_F$  to energia Fermiego,  $E_n$  – energia ruchu poprzecznego elektronu znajdującego się w stanie  $n$ ,  $E$  – energia ruchu podłużnego elektronu, a  $L$  – szerokość złącza. Istotne dla nas jest to, że żaden składnik wyrażenia [6] nie może być ujemny. Wyobraźmy sobie teraz, że przekrój poprzeczny naszego złącza (będący od-cinkiem) się zmienia. Zastanówmy się, jakie elektrony mogą „przejsć” przez złącze. Otóż mogą to być tylko te elektrony, których energia ruchu poprzecznego  $E_n$  w najwęższym punkcie złącza jest nie większa od energii Fermiego (energia  $E_n$  osiąga maksimum w najwęższym punkcie złącza, jak wykazaliśmy w punkcie 3). Definiuje to tzw. otwarte kanały, czyli takie stany ruchu poprzecznego elektronów, że elektrony w nich się znajdujące mogą „przejsć” przez złącze. Obrazuje to rysunek 7.



Rys. 7. Zamykanie kanałów w nanozłączu

Jak widzimy, własności złącza determinuje jego szerokość w najwęższym punkcie, gdyż to ona wyznacza ilość otwartych kanałów. Korzystając z praw mechaniki kwantowej, można wykazać, że przewodność każdego pojedynczego kanału jest równa tzw. kwantowi przewodności. Okazuje się, że przewodność takiego pojedynczego kanału jest równa tzw. kwantowi przewodności:

$$G_0 = \frac{2e^2}{h}, \quad (7)$$

$$G_0 \cong \frac{1}{12907 \Omega} \quad (8)$$

gdzie  $e$  jest ładunkiem elementarnym. Zatem dla  $N$  otwartych kanałów wartość przewodności złącza wynosi:

$$G = N \cdot G_0 = N \cdot \frac{2e^2}{h}. \quad (9)$$

Widzimy więc, że przewodność nanozłącza jest skwantowana, a jej wartość zależy jedynie od szerokości złącza i nie zależy ani od rodzaju materiału, z którego zbudowany jest przewodnik, ani od jego długości (o ile oczywiście jest ona

mniejsza od średniej drogi swobodnej elektronów i zachodzi transport balistyczny).

W przeprowadzonym przez nas doświadczeniu obserwowaliśmy nietypowe dla makroskopowych przewodników zachowanie przewodności elektrycznej. Udało się to zrealizować dzięki nieskomplikowanemu układowi eksperymentalnemu, opartemu na prostej idei wytwarzania struktur o bardzo małych rozmiarach. Należy podkreślić, że zademonstrowane zjawisko jest efektem o czysto kwantowym charakterze i stanowi jeden z przykładów, w których można zaobserwować, w sposób bardzo wyraźny i przy zastosowaniu prostych metod eksperymentalnych, załamania praw fizyki klasycznej i tym samym potwierdzenie kwantowo-mechanicznego opisu.

Chcielibyśmy podziękować Panu prof. dr. hab. Markowi Szymońskiemu za zainteresowanie nas tematyką układów mezoskopowych i umożliwienie wykonania opisanego eksperymentu w pracowni Zakładu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Jagiellońskiego, a także Panu mgr. Piotrowi Piątkowskiemu za cenne uwagi techniczne dotyczące doświadczenia.



Antoni Tekiel i Szymon Godlewski, autorzy artykułu



## Historia jako narzędzie edukacji

Andrzej Białas  
Instytut Fizyki UJ

Dyskusja o tym, jak edukować młode pokolenie, jest zapewne stara jak świat, a w naszym kraju odbywa się, odkąd pamiętam. Oto niektóre z „wiecznych” pytań: Czy szkoła ma uczyć, czy wychowywać? Czy mamy kształcić wąskich specjalistów, czy nastawić się na kształcenie ogólne? Czy należy raczej kłaść nacisk na wiedzę, czy na rozwijanie umysłu?

Odpowiedź jest oczywista: chciałoby się mieć wszystko jednocześnie. Nauczanie i wychowanie, specjalistów, ale z szerokimi horyzontami, erudytów, ale zdolnych do uogólnień. Problem polega na tym, że nie wiadomo, jak to zrobić. Pojemność umysłu ucznia (i nie tylko ucznia) jest ograniczona, czas pobytu w szkole (na szczęście) też. Trzeba więc dokonywać trudnych wyborów.

Ostatnio, o ile się orientuję, zdają się zwyciężać zwolennicy koncepcji, że szkoła winna przede wszystkim uczyć „myślenia”, a nie obciążać ucznia „niepotrzebnymi” i „nudnymi” faktami. Niewątpliwie pogląd ten sprzyja podnoszeniu współczynnika scholaryzacji, z czego wszyscy chyba są zadowoleni (zapewne ten sam argument spowodował usunięcie z matury obowiązkowej matematyki). Złośliwcy wskazują co prawda, że gdy się nic nie umie, to nie ma o czym myśleć – ale kto by ich słuchał. Sądzę, że za jakiś czas – gdy już wyprodukujemy dostateczną liczbę nieuków – tendencja się odwróci. I tak dalej, i od nowa: koło będzie się kręcić. Wydaje się, że nie ma wyjścia: albo tępe wkuwanie oderwanych faktów, albo nauka myślenia o niczym.

Być może jednak jest sposób. Od pewnego czasu jestem pod wrażeniem idei, że sprzeczność tę można pokonać, jeżeli *wszystkie* przedmioty będą nauczane jako HISTORIA. Pomysł<sup>1</sup> wydaje mi się znakomity. Bo to przecież znaczy, że współczesna nauka nie będzie przedstawiana jako zbiór gotowych faktów i obowiązujących reguł, lecz jako wynik trudnego procesu zdobywania przez ludzkość wiedzy o naturze, o społeczeństwie i o człowieku. W ten sposób fakty przestają być martwe, a ukazują się takie, jakie są naprawdę: w stałej konfrontacji nowych odkryć i pomysłów z ustaloną dotąd wiedzą. Dodatkowo mam wrażenie, że lekcje prowadzone w ten sposób mogą być znacznie bardziej interesujące od tego, z czym mamy dzisiaj do czynienia, bo przecież historia procesu budowania gmachu nauki

---

<sup>1</sup> Zapewne nie nowy, ale ja trafiłem na niego dopiero niedawno, przeglądając esej Neila Postmana *Technopol*, za którym powtarzam podstawowe myśli.

bywa naprawdę fascynująca. Przy okazji słuszny postulat „humanizacji” wiedzy będzie automatycznie zrealizowany.

Zdaję sobie sprawę, że przemawia przeze mnie gorliwość neofity, który nie ma wystarczającego przygotowania, aby krytycznie ocenić ten projekt. (Jedno jest dość oczywiste: nie może to być „prawdziwa” historia, lecz raczej historia uproszczona *ad usum Delphini*.) Może prowadzi on na manowce, a może jest po prostu nierealny (jego wprowadzenie wymagałoby np. zupełnie nowego systemu kształcenia nauczycieli, a przynajmniej zupełnie nowych podręczników). Ale sądzę, że wart jest poważnej refleksji.

Bardzo ciekaw, co specjaliści sądzą na ten temat.





## WYWIAD

### O fizyce myśli się bez przerwy

Z Profesorem Andrzejem Białasem  
rozmawia Andrzej Kobos



Andrzej Białas (fot. Andrzej Kobos)

**AK:** – Kto w Pańskiej młodości był Pana Mistrzem? Czy był jakiś Pański Mistrz z fizyki?

**AB:** – Miałem kilku Mistrzów. Pierwszym był mój promotor, Profesor Jan Weysenhoff, który nauczył mnie chyba najważniejszej rzeczy, mianowicie że o fizyce myśli się bez przerwy. Tak, bez przerwy: dzień i noc. Tak powinno być, przynajmniej do pewnego wieku i oczywiście nie wszyscy mogą to spełnić. Drugim moim mistrzem był Profesor Marian Mięśowicz, który pokazał mi fascynującą stronę eksperymentu i w ten sposób dramatycznie wpłynął na moją drogę naukową. Trzecim wreszcie był Profesor Leon Van Hove, który wprowadził mnie w międzynarodową społeczność fizyków. Miałem wielkie szczęście, bo wszyscy oni mnie lubili, a ja ich uwielbiałem.

Najbardziej żałuję, że nie zapisywałem anegdot, które opowiadał mi Profesor Weysenhoff, bo wtedy mi się wydawało, że je zawsze będę pamiętał. Bywałem u niego co najmniej dwa razy w tygodniu, po parę godzin. On mnie bardzo lubił. Rozmawialiśmy wiele, o fizyce głównie, ale nie tylko, oczywiście. To było fantastyczne, jakaż lekcja życiowa! Że ja tego nie zapisywałem!

**AK:** – Ja jeszcze pamiętam Profesora Weyssenhoffa, z Instytutu Fizyki UJ na Gołębiej... Chodził w długim płaszczu i ciemnym berecie na bakier.

**AB:** – Wie Pan, uświadomiłem sobie niedawno, że gdy ja poszedłem do niego robić pracę magisterską, to wszyscy uważaliśmy go już za staruszkę. A on miał wtedy tyle lat, co ja teraz... hm... Zacząłem rozumieć, dlaczego studenci tak do mnie z szacunkiem...



...Zacząłem rozumieć, dlaczego studenci tak do mnie z szacunkiem...  
(fot. Andrzej Kobos)

**AK:** – Pan jednak starzeje się inaczej, rzekłbym: „młodo”, bez przesady.

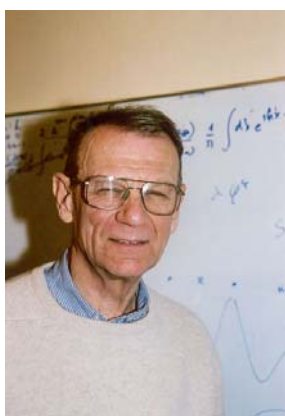
**AB:** – No niech będzie, ale wtedy człowiek gdy zbliżał się do siedemdziesiątki, to sam siebie uważał za starego, nie mówiąc już o tym, że za takiego uważali go inni, szczególnie dużo młodszy. W każdym razie jest faktem, że była wówczas dyskusja, że Weyssenhoff j e s z c z e jeździ na rowerze.

**AK:** – Adam Strzałkowski opowiadał mi ostatnio, że Weyssenhoff do bardzo późna jeździł na rowerze po wodę do źródelka w Tenczynku, ponad 20 km w jedną stronę!

Teraz coś innego, też lekkiego. Profesor Strzałkowski niedawno wspomniął Pańskie powiedzenie, że „łatwo jest coś wyliczyć, jeśli się wie co ma wyjść”...

Gdy ja byłem na pierwszym roku studiów, w roku 1962 miał Pan obronę pracy doktorskiej, jeszcze w dużej auli Collegium Novum, razem z Tosią Kowalską. Poszedłem na to z ciekawości. To była wtedy rzadkość, a i pierwsza obrona doktorska, na jakiej byłem. Stąd pamiętam to doskonale. I Pan tam powiedział, że dla uzyskania końcowego wzoru, bodajże z elektrodynamiki, musiał Pan wyliczyć około 250 całek. I wówczas Profesor Stanisław Gołąb, matematyk, zapytał Pana tak: „Jest możliwe, że któraś z tych całek została wyliczona źle. Czy wtedy wynik byłby inny?”. Czy te 250 całek było wtedy dobrze wyliczonych?

**AB:** – Drobne sprostowanie: pytanie Profesora Gołąba było: „skąd Pan wie, że tam nie było błędu?”. Było to faktycznie bardzo dobre pytanie, a ja zachowałem się jak kretyn i odpowiedziałem coś w rodzaju, „ja się nigdy nie mylę” (zamiast opisać kilka metod, za pomocą których sprawdzałem rachunki). Opowiadano potem anegdotę, że Profesor Weysenhoff szepnął Radzie Wydziału: „żona mu sprawdzała”. Ale ja tego nie słyszałem, więc nie mogę potwierdzić. Moją obronę wspominam zresztą bardzo źle, bo byłem zupełnie nieprzygotowany do wystąpienia: po prostu nie przyszło mi do głowy, że nawet gdy się wszystko wie na jakiś temat, to jednak trzeba wystąpienie przemyśleć. Ale była to ważna lekcja, z której wyciągnąłem wnioski na całe życie.



*...Jedynym moim hobby jest fizyka.*  
(fot. Andrzej Kobos)

Kraków, luty 2005

Pełny wywiad mogą Państwo przeczytać w internetowym czasopiśmie *Zwoje* (red. Andrzej Kobos) <http://www.zwoje-scrolls.com/zwoje42/text15p.htm>

---

**Profesor Andrzej Białas**, ur. 1936, fizyk, jest profesorem Uniwersytetu Jagiellońskiego i kierownikiem Zakładu Fizyki Cząstek Instytutu Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego Uniwersytetu Jagiellońskiego. Od kilkudziesięciu lat pracuje naukowo w fizyce cząstek elementarnych. Jest autorem około 220 prac naukowych. Od roku 2000 jest Prezesem Polskiej Akademii Umiejętności.



## KĄCIK ZADAŃ

### Konik i osiołek

Adam Smólski

Fizyka w Szkole

W edycji 2005 Polsko-Ukraińskiego Konkursu Fizycznego „Lwiątko” jako ostatnie w zestawach licealnych wystąpiło chyba najperfidniejsze zadanie pod słońcem. W każdym razie wielu poważnych fizyków (i mniej poważnych, z niżej podpisanym włącznie) w pierwszym odruchu udzieliło złej odpowiedzi. Ba, niektórzy bronili jej potem z uporem godnym lepszej sprawy.

Oto owo zadanie:

**Drewniany konik, na obwodzie obracającej się karuzeli, znajduje się 3 m od osi obrotu. Przygląda mu się żywy osiołek, stojący na ziemi 5 m od osi obrotu karuzeli. Prędkość konika w układzie odniesienia osiołka ma wartość 3 m/s. Jaką wartość ma prędkość osiołka w układzie odniesienia konika?**

A. Zero      B. 1,8 m/s      C. 3 m/s      D. 5 m/s      E. 8,33 m/s

Poprawna jest odpowiedź D. Uzasadnienie: karuzela wiruje z prędkością kątową 1 rad/s. W układzie odniesienia konika to świat wiruje wokół nieruchomej karuzeli, z tą samą prędkością kątową 1 rad/s, tylko w przeciwną stronę. Zatem prędkość liniowa osiołka w tym układzie odniesienia wynosi 1 rad/s razy 5 m, czyli 5 m/s.

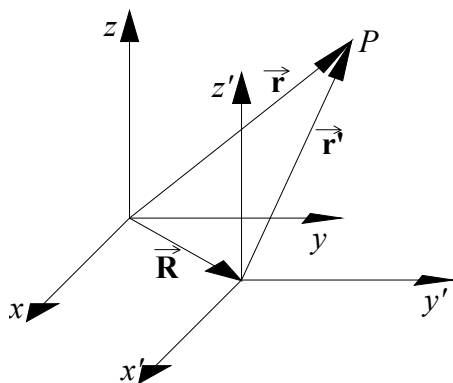
Błędna, acz kusząca odpowiedź to oczywiście C. Niektórzy jej obrońcy powołali się na ogólne jakoby twierdzenie, że gdy układ odniesienia  $U'$  porusza się względem układu odniesienia  $U$  z prędkością  $\vec{u}$ , to układ  $U$  porusza się względem układu  $U'$  z prędkością  $-\vec{u}$ . Twierdzenie takie jest jednak fałszywe, o czym przekonuje przykład konika i osiołka.

Można zapytać, skąd bierze się stereotyp prowadzący do takich twierdzeń. Sądzę, że z przyzwyczajenia do sytuacji typowej dla elementarnego omawiania transformacji Galileusza i Lorentza, kiedy to rozpatrujemy wyłącznie ruch postępowy jednego układu odniesienia względem drugiego. Niedobrym, bo mylącym przyzwyczajeniem jest mówienie o *prędkości układu  $U'$  względem układu  $U$* . Prędkość dotyczy punktu, a nie „układu”. W tym wypadku mamy na myśli prędkość jednego wyróżnionego punktu układu  $U'$  względem układu  $U$  – na przykład początku związanego z układem odniesienia układu współrzędnych. Gdy się dostrzeże ten niuans, pojęcie *prędkości układu  $U'$  względem układu  $U$*  przestaje być myląco symetryczne wobec obu układów.

Rozumiem potrzebę formułowania ogólnych twierdzeń, spróbujmy zatem opisać sytuację konika i osiołka w języku transformacji opisu ruchu z jednego układu odniesienia do drugiego. Specjalnie napisałem „transformacji opisu”, ponieważ chodzi o tzw. transformację bierną – w wyniku zmiany układu odniesienia nie następuje zmiana faktycznego położenia obiektu w przestrzeni fizycznej, a tylko przeformułowanie informacji o tym położeniu, zakodowanej np. w przypisanych mu współrzędnych.

Układ odniesienia to, skrótowo rzecz ujmując, jakiś rozciągnięty trójwymiarowy obiekt, z którym wiążemy układ współrzędnych, np. kartezjańskich, pozwalający każdemu punktowi fizycznej przestrzeni (być może jednak tylko lokalnie, bo nie chodzi nam przecież o model Wszechświata) przypisać trójkę liczb  $x, y, z$ . Ustalamy w ten sposób pewien lokalny izomorfizm przestrzeni fizycznej i przestrzeni kartezjańskiej  $\mathbf{R}^3$ .

Przypuśćmy, że ten sam punkt  $P$  opisujemy w dwóch układach odniesienia (układach współrzędnych)  $U$  i  $U'$ , przypisując mu odpowiednio współrzędne  $(x, y, z)$  i  $(x', y', z')$ :



Jeżeli osie układu  $U'$  są tylko przesunięte równoległe w stosunku do odpowiednich osi układu  $U$ , zachodzi:

$$\begin{aligned}x' &= x - X \\y' &= y - Y \\z' &= z - Z\end{aligned}$$

gdzie  $(X, Y, Z)$  opisuje położenie początku układu  $U'$  względem układu  $U$ . Używając notacji wektorowej dla elementów  $\mathbf{R}^3$ , mamy:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{R} \quad (1)$$

Podkreślam, że notacja wektorowa nie oznacza tutaj opisu niezależnego od układu współrzędnych, ale właśnie opis za pomocą współrzędnych – te wektory nie „żyją” w przestrzeni fizycznej (ta nie jest w ogóle przestrzenią wektorową; jeżeli już, to afiniczną), ale w przestrzeni współrzędnych kartezjańskich  $\mathbf{R}^3$ .

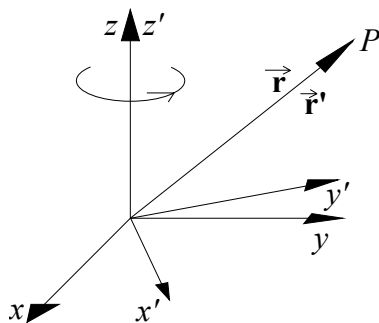
Wektory położenia są funkcjami czasu  $t$ . Załóżmy, że  $\vec{\mathbf{R}} = \vec{\mathbf{R}}_0 + t\vec{\mathbf{u}}$ , a więc że początek układu  $U'$  porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym względem układu  $U$ . Różniczkując po czasie obie strony równania (1), otrzymujemy:

$$\vec{\mathbf{v}}' = \vec{\mathbf{v}} - \vec{\mathbf{u}} \quad (2)$$

co jest zwykłą transformacją Galileusza dla prędkości. Znowu wektory są jedynie skrótami dla trójek liczb ( $\vec{\mathbf{v}}$  to  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  itd.) i nie musimy w tej chwili pytać, czy są opisem jakiegoś obiektu niezależnego do wyboru układu odniesienia.

Jeżeli równanie (2) zastosujemy do punktu  $P$  umieszczonego akurat na początku układu  $U$ , otrzymamy  $\vec{\mathbf{v}}' = -\vec{\mathbf{u}}$ , zgodnie z oczywistą intuicją: względem układu  $U'$  układ  $U$  porusza się z prędkością  $-\vec{\mathbf{u}}$ .

Po tym niemal trywialnym przypadku ruchu postępowego rozpatrzmy przypadek „czystego” obrotu: układ  $U'$  obraca się względem  $U$  w taki sposób, że początki obu układów cały czas się pokrywają (poniższy rysunek zakłada więcej – że oś obrotu jest ustalona i pokrywa się z osiami  $z$  i  $z'$ ):



Podkreślmy, że  $\vec{\mathbf{r}}'$  to w ogólności inna trójka liczb niż  $\vec{\mathbf{r}}$ , choć obie odpowiadają tej samej strzałce na naszym rysunku – są dwoma różnymi opisami tej strzałki. Opisy te wiążą się przez tzw. macierz obrotu:

$$\vec{\mathbf{r}}' = \mathbf{A}\vec{\mathbf{r}},$$

zależną, w ogólności, od czasu. Różniczkowanie obu stron po czasie daje, zgodnie z regułą Leibniza:

$$\vec{\mathbf{v}}' = \mathbf{A}\vec{\mathbf{v}} + \dot{\mathbf{A}}\vec{\mathbf{r}}$$

Pytajmy o prędkość w chwili zero – można przecież mierzenie czasu rozpocząć dowolnie. Niech  $\mathbf{A}_0 = \mathbf{A}(0)$ . Załóżmy, że w pobliżu chwili zero nasz obrót jest jednostajny, z prędkością kątową  $\omega$ , wokół ustalonej osi pokrywającej się z osią  $z$ .

Wtedy

$$\mathbf{A}(t) = \begin{pmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t & 0 \\ -\sin \omega t & \cos \omega t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \mathbf{A}_0$$

skąd

$$\dot{\mathbf{A}}(0) = \begin{pmatrix} 0 & \omega & 0 \\ -\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \mathbf{A}_0$$

Dla  $\vec{\mathbf{w}} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$  otrzymujemy  $\dot{\mathbf{A}}(0)\vec{\mathbf{w}} = \begin{pmatrix} \omega y \\ -\omega x \\ 0 \end{pmatrix}$ , czyli  $\dot{\mathbf{A}}(0)\vec{\mathbf{w}} = -\vec{\boldsymbol{\omega}} \times \vec{\mathbf{w}}$ , gdzie

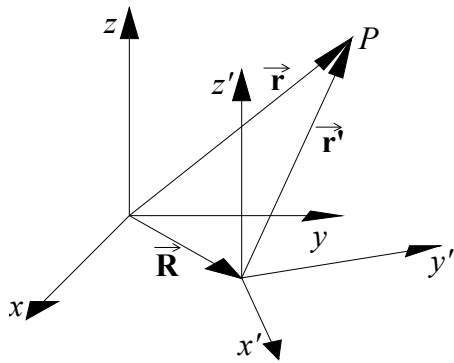
$$\vec{\boldsymbol{\omega}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix}.$$

Ostatecznie

$$\vec{\mathbf{v}}' = \mathbf{A}_0 \vec{\mathbf{v}} - \vec{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{A}_0 \vec{\mathbf{r}}. \quad (3)$$

Jeżeli akurat  $\mathbf{A}_0 = \mathbf{1}$ , mamy po prostu  $\vec{\mathbf{v}}' = \vec{\mathbf{v}} - \vec{\boldsymbol{\omega}} \times \vec{\mathbf{r}}$ .

Jesteśmy gotowi do rozpatrzenia przypadku ogólnego, kiedy ruch układu  $U'$  względem  $U$  jest złożeniem ruchu postępowego i obrotowego.



Teraz  $\vec{r}' = \mathbf{A}(\vec{r} - \vec{R})$  i przy poprzednich założeniach co do postaci zależności od czasu  $\vec{R}$  oraz  $\mathbf{A}$  w chwili zero mamy, według (3),  $\vec{v}' = \mathbf{A}_0(\vec{v} - \vec{u}) - \vec{\omega} \times \mathbf{A}_0(\vec{r} - \vec{R}_0)$ . Jeśli ponadto  $\mathbf{A}_0 = \mathbf{1}$ , zachodzi:

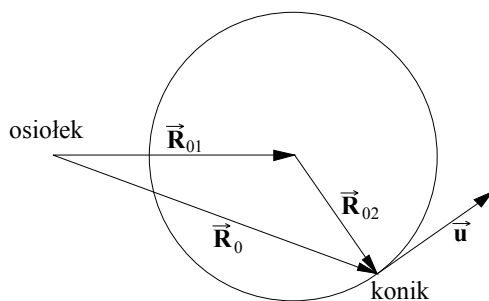
$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} - \vec{\omega} \times (\vec{r} - \vec{R}_0)$$

Zastosujmy ten wynik do punktu  $P$  umieszczonego w początku układu  $U$ . Wtedy  $\vec{r} \equiv 0$  i  $\vec{v} \equiv 0$ , zatem

$$\vec{v}' = -\vec{u} + \vec{\omega} \times \vec{R}_0. \quad (4)$$

Widzimy zatem, że wynik  $\vec{v}' = -\vec{u}$  dla ruchu postępowego jest uzupełniony dodatkowym składnikiem związanym z obrotem układu  $U'$ .

Następny rysunek przedstawia widok z góry na karuzelę z konikiem i osiołkiem.



Niech  $\vec{R}_0 = \vec{R}_{01} + \vec{R}_{02}$ , jak na rysunku. Zgodnie z (4) mamy:

$$\vec{v}' = -\vec{u} + \vec{\omega} \times \vec{R}_{01} + \vec{\omega} \times \vec{R}_{02}$$

ale  $\vec{\omega} \times \vec{R}_{02} = \vec{u}$ , zatem  $\vec{v}' = \vec{\omega} \times \vec{R}_{01}$ . Długość tego wektora to właśnie owe 5 m/s, będące odpowiedzią w zadaniu z „Lwiątką”.

Dwa uproszczone i przez to sympatyczne warianty zadania o koniku i osiołku odpowiedział pan Jerzy Karczmarczuk:

1. Konik znajduje się na osi karuzeli, a osiołek na ziemi, 5 m od osi. Karuzela wiruje z prędkością kątową 1 rad/s. Jaką prędkość ma osiołek względem konika, a jaką konik względem osiołka?

2. Karuzela ma 5 metrów i zarówno konik jak i osiołek (też drewniany) wirują razem z nią, konik w głębi, a osiołek na skraju. Prędkość konika to 3 m/s, a osiołka 5 m/s. Jaką wartość ma prędkość osiołka względem konika?





## Model oka w akwariu

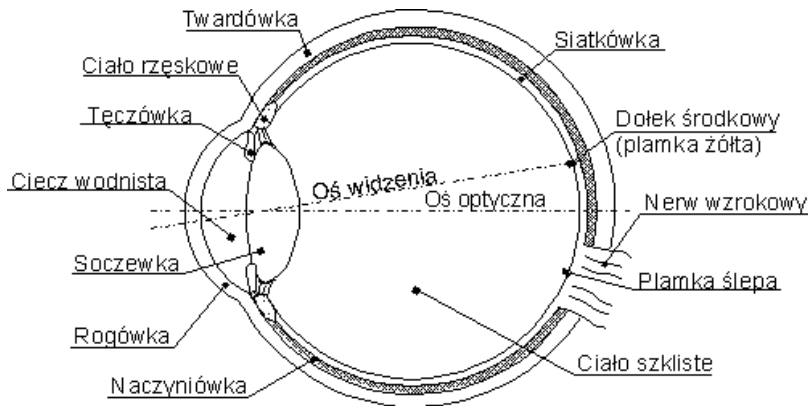
*Katarzyna Dziedzic-Kocurek  
Zakład Fizyki Medycznej IFUJ*

### O oku i jego wadach

Wady wzroku łączy się często z chorobami wieku starczego lub ich przyczyn szuka się w wadach wrodzonych. Wraz z postępem cywilizacyjnym technika stawia przed człowiekiem zadanie dostosowania się do swoich wymagań. Zmusza to oczy do przyglądania się przedmiotom z bardzo bliskiej odległości – wpatrywania się przez długi czas w ekran telewizora, monitor komputera, czytania gęsto drukowanych tekstów, funkcjonowania przy sztucznym oświetleniu. Jesteśmy społeczeństwem obrazkowym: obserwujemy i uczymy się świata „z bliskiej odległości”. Dla oczu to nienaturalny, ciągły, lecz konieczny wysiłek, by w pełni wykorzystać osiągnięcia nowoczesności. Ceną jest pogorszenie wzroku. Należy zdać sobie sprawę z faktu, że to właśnie zmysł wzroku jest najbardziej wykorzystywanym zmysłem spośród wszystkich zmysłów człowieka – szacuje się, że za jego pomocą człowiek odbiera ponad 80% bodźców docierających ze świata zewnętrznego. Wady wzroku powodują poważne upośledzenie funkcjonowania człowieka.

Za pomocą niżej opisanego modelu oka można zobrazować niektóre procesy fizyczne zachodzące w układzie optycznym ludzkiego oka, pokazać przyczyny wad oka oraz ich skutki. Jako źródło światła stosowana jest wiązka promieni laserowych, co umożliwia dokładną wizualizację procesów zachodzących w oku. Z fizycznego punktu widzenia każdy przezroczysty obszar z przestrzennym rozkładem współczynnika załamania stanowi szeroko pojęty układ optyczny. Jego zadaniem jest przekształcenie zbioru punktów przestrzeni przedmiotowej w zbiór punktów tworzących obraz, czyli przestrzeń obrazową.

Zacniemy od opisu anatomicznej budowy oka i zasady jego działania – przynajmniej w takim zakresie, w jakim jest to konieczne do opisu zbudowanego modelu. Układ optyczny oka (rys. 1) stanowią wszystkie jego przezroczyste ośrodki optyczne: **rogówka** (kształtem przypominająca wypukłe szkiełko od zegarka), **przednia komora** wypełniona cieczą wodnistą, **soczewka** – zawieszona między tęczęwką (zawierającą pigment, który stanowi o kolorze naszych oczu) a siatkówką; soczewka nie jest jednolita, lecz składa się z 3 środowisk: jeśli wyobrazimy sobie soczewkę jako owoc, to torebka jest jego skórka, kora jego miąższem, a jądro pestką, oraz **ciało szkliste** (galaretowata substancja, dostosowująca się kształtem do otoczenia).



Rys. 1. Schemat budowy oka ludzkiego

W układzie optycznym oka rozróżnia się trzy powierzchnie łamiące: przednią powierzchnię rogówki oraz przednią i tylną powierzchnię soczewki, co umożliwia regulację natężenia światła docierającego do siatkówki. Elementem najsilniej załamującym światło jest rogówka, na którą przypada 2/3 mocy optycznej całego układu. W prawidłowo widzącym oku obraz powstaje na siatkówce. Jest to swisty, bardzo czuły ekran naszego oka, którego elementy funkcjonalne stanowią komórki światłoczułe – czopki i pręciki. W każdym oku człowieka jest około 126 milionów światłoczułych receptorów, 120 milionów pręcików i 6 milionów czopków. Dla porównania liczba punktów na ekranie monitora komputerowego przy rozdzielczości 1024×768 wynosi zaledwie 786 tysięcy. Układ optyczny oka często przyrównuje się do aparatu fotograficznego: rolę soczewek obiektywu spełniają rogówka i soczewka, rolę przesłony – tęczówka, a warstwy światłoczułej kliszy – siatkówka. Warto też zwrócić uwagę na to, że źrenica jest „dziurą” w tęczówce, a zmiany jej wielkości powodują zwiększanie lub zmniejszanie dopływu światła, co umożliwia regulację natężenia światła docierającego do siatkówki (dlatego wieczorem nasze źrenice są duże). Niektóre aparaty robią zdjęcia, na których nasze oczy są czerwone, ponieważ przez okres błysku, kiedy źrenica dopiero zaczyna się kurczyć, oświetlana jest pierwsza nieprzezroczysta warstwa oka, którą jest po prostu ukrwiona siatkówka.

Niesamowicie ważną cechą stanowi **akomodacja**, która polega na zdolności przystosowania oka do ostrego widzenia z bliska. Jest to czynność mimowolna, polegająca na skurczu mięśni oka, powodującym zwiększenie się wypukłości (przede wszystkim przedniej) powierzchni soczewki. Dodatkowo przemieszczają się jeszcze środowiska wewnątrz soczewki. Ta cecha soczewki zmienia się z wie-

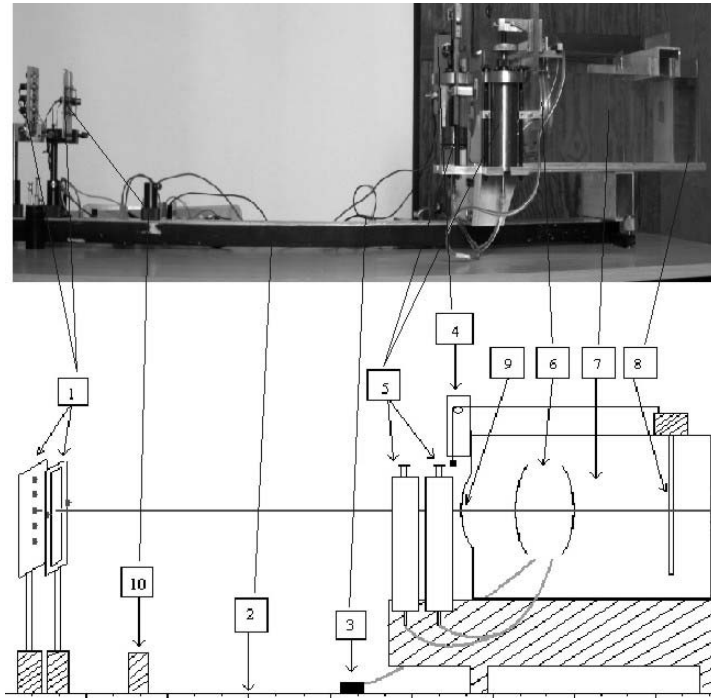
kiem. Wskutek twardnienia oraz zagęszczania struktury wewnętrznej soczewki (staje się „mętna”) akomodacja stopniowo maleje, co jest rzeczą naturalną, a nie chorobą oka. U dziecka 10-letniego akomodacja wynosi ponad 10 D (dioptrii), u osoby 40-letniej 4,0 D, po czym zanika całkowicie około 60.–70. roku życia. Dlatego też starsze osoby noszą tzw. okulary do czytania, ponieważ widzenie z bliska sprawia im kłopot.

Najczęściej spotykanymi wadami oka, tzw. wadami refrakcji, są: krótkowzroczność, nadwzroczność oraz astygmatyzm.

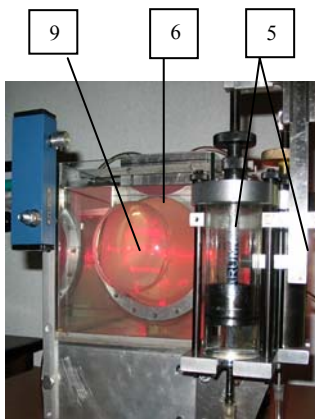
**Krótkowzroczność** (*miopia*, grec. mrużyć) jest takim stanem oka, w którym promienie ogniskowane są przed siatkówką, na „ekranie” oka powstaje zaś obraz rozmyty. Wada ta powstaje, kiedy krzywizny załamujące promienie są zbyt wypukłe lub gdy gałka oczna jest za duża (zbyt długa). Krótkowidze często mrużą oczy, poprawiając ostrość widzenia. **Nadwzroczność** (*hyperopia*) spowodowana jest z kolei zbyt krótką osią gałki ocznej. Należy tutaj wspomnieć o **starczewzroczności**, już wcześniej wspomnianej, która spowodowana jest utratą zdolności akomodacyjnej oka, co nie jest wadą. Zarówno nadwzroczność jak i starczowzroczność powodują, że promienie skupiają się za ogniskiem. Żeby dobrze widzieć obraz, dalekowidz odsuwa przedmiot od oczu.

#### **Budowa i zasada działania modelu**

Model oka, który pozwala zilustrować jego główne elementy oraz za pomocą którego można pokazać niektóre wady, przedstawiony jest na zdjęciu i na schemacie (rys. 2 i 3). Żeby dobrze wizualizować zjawiska, jakie zachodzą w oku, jako źródło światła jest stosowana wiązka utworzona z 5 laserów wskaźnikowych, które można umieścić w pozycji równoległej (jak element 1 na rys. 2) lub krzyżowej. Typowo lasery wskaźnikowe, takie jak do świecenia po tablicy, działają zbyt krótko, żeby mogły być zastosowane w modelu. Użyte zostały lasery typu TIM 201-1 (długość fali  $\lambda = 650$  nm, moc  $P \approx 1$  mW). Cały model umieszczony jest na ławie optycznej, co umożliwia precyzyjne ustawienie jego elementów. Rolę gałki ocznej spełnia akwarium wypełnione wodą, najlepiej destylowaną (nie ma w niej „bąbelków” powietrza), a w celu lepszego zobrazowania biegu promieni laserowych do wody należy dodać odrobinę białej farby akrylowej. Promienie lasera rozpraszają się wtedy na jej drobinach i są dużo lepiej widoczne. W charakterze rogówki zastosowane jest szkiełko zegarkowe, przyklejone do przedniej szyby akwarium.



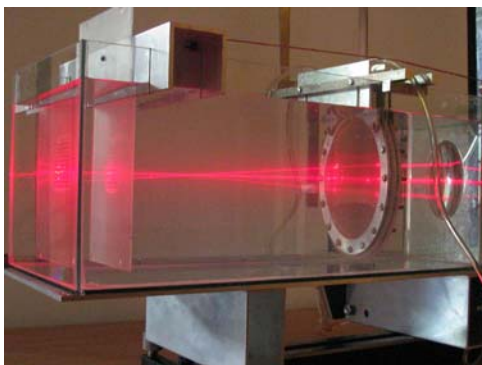
Rys. 2. Model oka – zdjęcie i schemat



Rys. 3. Część czołowej modelu

- Opis rys. 2 i 3
- 1 – źródło wiązki promieni laserowych,
  - 2 – ława optyczna,
  - 3 – czujnik ciśnienia,
  - 4 – potencjometr,
  - 5 – dozowniki gliceryny,
  - 6 – modelowana „soczewka”,
  - 7 – „gałka oczna” akwarium,
  - 8 – „siatkówka” ekran,
  - 9 – modelowana „rogówka”,
  - 10 – dodatkowy uchwyt

Najważniejszą część tego modelu stanowi soczewka o zmiennej ogniskowej. Zmienność jej parametrów (rys. 5a, 5b, 5c) można uzyskiwać, wtlaczając lub wypompowując z niej, za pomocą dwóch dozowników, glicerynę. W ten sposób można zobrazować, jak powstają wady wzroku wynikające z nieodpowiednich rozmiarów soczewki (rys. 6a, 6b), co zostało wyżej opisane. Jeżeli w prawidłowym oku promienie są ogniskowane na ekranie, to w oku krótkowidza są one



Rys. 4. Modelowanie krótkowzroczności

ogniskowane przed ekranem (siatkówką) (rys. 4), natomiast w oku dalekowidza za ekranem. Modelowa „siatkówka” to zmatowiona płytka pleksi, przymocowana do metalowego suwaka, który umożliwia jej precyzyjne ustawienie. Na płytce jest przyklejona folia z naniesioną siatką, co ułatwia analizę obserwowanej wiązki.



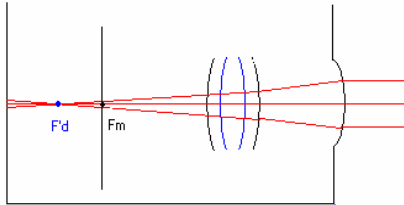
Rys. 5a. Wypełnienie soczewki przy modelowanej skrajnej nadwzroczności



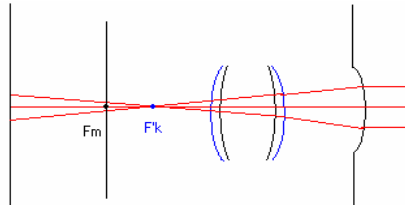
Rys. 5b. Wypełnienie soczewki przy modelowanym stanie oka miarowego



Rys. 5c. Wypełnienie soczewki przy modelowanej skrajnej krótkowzroczności



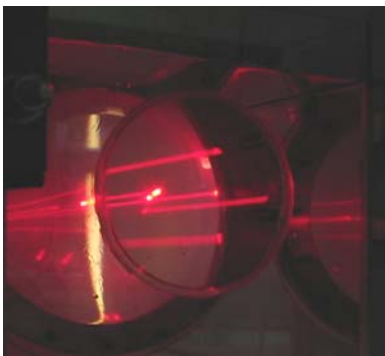
Rys. 6a. Schemat przedstawiający modelowanie dalekowzroczności



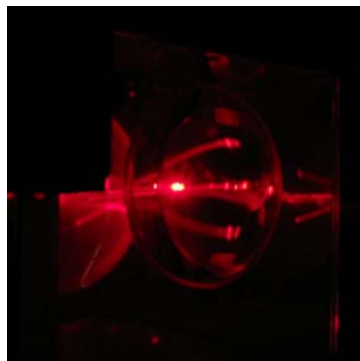
Rys. 6b. Schemat przedstawiający modelowanie krótkowzroczności

$F_m$  – ognisko dla oka miarowego  
 $F_d$  – ognisko dla oka dalekowidza  
 $F_k$  – ognisko dla oka krótkowidza

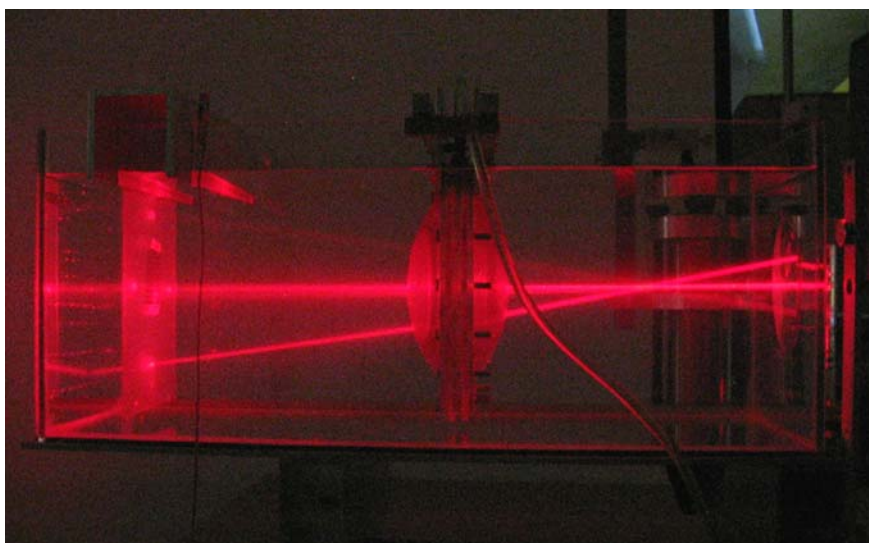
W zbudowanym modelu można też pokazać, jak widzi oko astygmatyka, którego wada wynika z niesferycznego kształtu rogówki. Po nałożeniu dodatkowej soczewki na zewnętrzną powierzchnię rogówki, która ma kształt bardziej elipsoidalny niż sferyczny (przypominający kształt jajka kurzego; rys. 7a, 7b), można zaobserwować, że promienie lasera po przejściu przez taki układ skupiają się w dwóch różnych miejscach. Oko nie widzi ostro, bo promienie skupiane są w kilku ogniskach (rys. 8a i 8b).



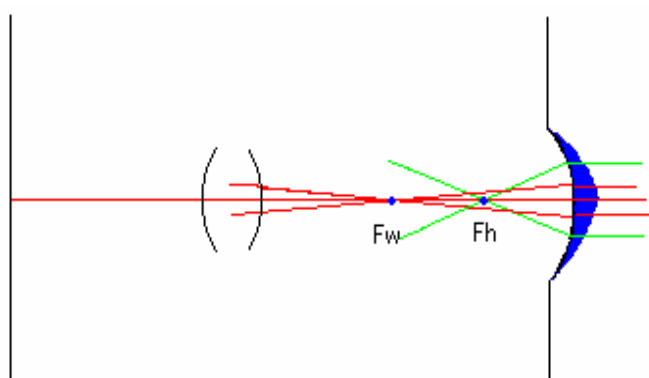
Rys. 7a. Bieg promieni lasera przez „zdrową rogówkę”



Rys. 7b. Zniekształcenie wiązki promieni laserowych na „rogówce” z soczewką nasadkową



Rys. 8a. Modelowanie astygmatyzmu



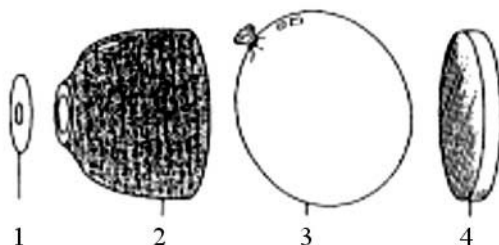
Rys. 8b. Schemat obrazowania astygmatyzmu w modelu

Jeżeli w dodatkowym uchwycie umieścimy oświetlacz (lampkę, w której umieszczamy przesłonę na szybce), w którym znajduje się czarna przesłona z przezroczystą cyfrą „1”, i jest on jedynym źródłem światła, to zobaczymy, że na ekranie powstaje oczywiście obraz odwrócony. Tak samo dzieje się na siatkówce oka ludzkiego. Interpretacja powstającego obrazu stanowi zadanie mózgu, który uczy się tego w początkowych miesiącach życia człowieka.

Modelowane „oko” posiada jeszcze kilka innych elementów, za pomocą których można wykonać doświadczenie pomiarowe, np. pomiar zdolności skupiającej oraz ogniskowej „rogówki”, określanie aberracji sferycznej układu „rogówka” – „soczewka”, wyznaczanie zdolności skupiającej całego układu. W układzie dodatkowo można korzystać z potencjometru i czujnika ciśnienia, sprzężonych z programem komputerowym IP-COACH.

### Budowa prostego modelu oka

Oto jeden z takich modeli, autorstwa Iana Jacoba z Nowej Zelandii.



Rys. 9. Elementy „balonikowego” oka

Do zbudowania takiego modelu potrzebne są:

1. okrągły karton z wyciętym otworem (tęczówka ze źrenicą).
2. górna część butelki plastikowej pomalowana (oklejona) na czarno (przednia część gałki ocznej),
3. przezroczysty balonik napełniony wodą (soczewka),
4. matowy ekran (siatkówka), np. przezroczysty talerzyk plastikowy, zmatowany papierem ściernym,

Balonik dociska się do wnętrza butelki. Część worka wybrzusza się na zewnątrz i stanowi soczewkę. Zmieniając ciśnienie, zmienia się ogniskową soczewki i ostrość obrazu.

Oczywiście powstaje obraz odwrócony.





## KACIK DOŚWIADCZALNY

### **Odwrócony obraz na siatkówce**

*Katarzyna Cieślar*

*Instytut Fizyki UJ*

W czasie jednego z wykładów odbywających się podczas *Physics on Stage* w Noordwijk w 2004 roku zaprezentowany został bardzo prosty eksperyment pozwalający wykazać, że obrazy powstające na siatkówce oka są obrazami odwróconymi.

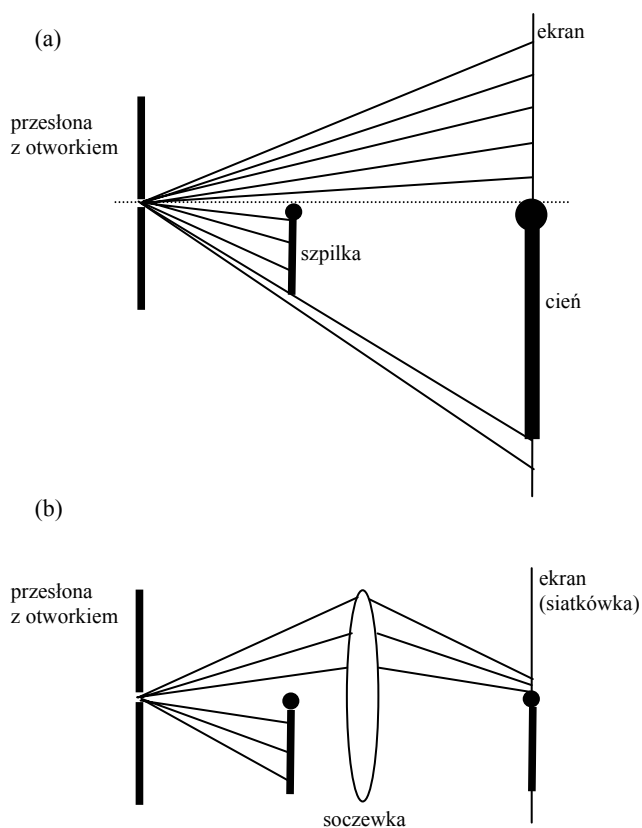
Układ optyczny oka jest układem skupiającym. Wobec tego powstające na siatkówce oka obrazy obiektów znajdujących się w odległości większej niż odległość ogniskowa są obrazami odwróconymi. Jak to się w takim razie dzieje, że nie widzimy świata „do góry nogami”? Otóż informacja wzrokowa z siatkówki jest poddawana skomplikowanej obróbce w obszarach wzrokowych kory mózgowej, co prowadzi do powstania poprawnej reprezentacji otaczającego nas świata. Jak zatem wykazać, że obrazy powstające na siatkówce są faktycznie odwrócone?

Do tego celu można posłużyć się kawałkiem tekturki i szpilką. W tekturce należy zrobić niewielki otworek. Następnie, trzymając tekturkę w odległości około 10 cm od oka i spoglądając jednym okiem przez otwór na jasno oświetlone tło (niebo, biała ściana, ekran), należy ostrożnie umieścić szpilkę tuż przy oku (zdjęcie). Dla ostrożności doświadczenie to najlepiej wykonywać w okularach. Jeśli główka szpilki, otworek w tekturce i źrenica oka znajdą się w jednej linii, zobaczymy główkę szpilki... zwisającą „do góry nogami”. Poruszając delikatnie szpilką ku górze, możemy zaobserwować, jak główka szpilki przesuwana się w dół.



fot. Z.G-M

Wyjaśnienie tego zjawiska jest następujące. Tekturka z otworkiem służy jako punktowe źródła światła, dające dobrze zdefiniowany cień szpilki na ekranie (rys. 1a). Jeśli szpilkę umieścimy tuż przed soczewką oka (rys. 1b), to rzuci ona cień na siatkówkę, która w tym wypadku pełni rolę ekranu. Jednak w korze mózgu cień ten jest interpretowany jako obraz na siatkówce i jest w procesie obróbki „odwracany”. W ten sposób powstaje nasze zmysłowe wrażenie zawieszzonej „do góry nogami” szpilki.



Na podstawie artykułu „Simple experiments on the physics of vision” Adolfa Cortela Ortuño, opublikowanego w *Alambique*, 39, s. 93–98 (2004). Patrz także Gabrielson C.: „Pinheads, Pin Shadows, Pinholes”, *The Physics Teacher*, 31, s. 380–382. (1993); Layton B.: „Inverted images and noninverted shadows”, *The Physics Teacher*, vol. 39, s. 530–532 (2001).



## CO CZYTAĆ

### **50 lat *Fizyki w Szkole***

*Fizyka w Szkole* to czasopismo nauczycieli i dydaktyków fizyki, redagowane przy współudziale Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Dwumiesięcznik, ukazuje się od 1955 roku. Autorami artykułów i wypowiedzi są naukowcy, pracownicy wyższych uczelni i nauczyciele, a czasem uczniowie. Nasze łamy służą m.in. wymianie informacji, idei i poglądów w dziedzinie dydaktyki fizyki, propagowaniu udanych rozwiązań dydaktycznych, wspieraniu reform oświatowych i analizie ich przebiegu, przyjeściu z pomocą nauczycielom w pracy z uczniami uzdolnionymi i zainteresowanymi fizyką.

#### ***Fizyka w Szkole 1/2005***

Ten zeszyt – jubileuszowy – jest niepodobny do zwykłych. Wypełniają go wspomnienia osób związanych z czasopismem długie lata oraz „Mozaika 50-lecia” – artykuły wybrane z pięćdziesięcioletniej historii czasopisma. Tu Czytelnik znajdzie kilka znaczących opracowań, ogarniających całe szkolne nauczanie fizyki, wśród nich bodaj najważniejszy tekst, jaki ukazał się na łamach czasopisma: Grzegorza Białkowskiego „Cele a system nauczania fizyki” z 1977 r., ponadto „Rozumienie w nauczaniu fizyki” Mieczysława Sawickiego z 1983 r., a także parę udanych pomysłów na niekonwencjonalne szkolne doświadczenie: model laboratoryjny gejzera, pomiar ciśnienia atmosferycznego na 30. piętrze PKiN w Warszawie, wyznaczanie gęstości powietrza metodą sprężania oraz minilódz podwodna.

#### ***Fizyka w Szkole 2/2005***

Rok 2005 jest Światowym Rokiem Fizyki; zaczynamy od historii – sto lat temu Albert Einstein zapostulował istnienie fotonów. Dziś organizatorzy ŚRF 2005 zapraszają szkoły, nauczycieli i uczniów do udziału w imprezach, zarówno tych lokalnych, ogólnopolskich, jak i międzynarodowych. Jak uczyć, jak uatrakcyjnić codzienną szkolną pracę: budujemy spektrometr optyczny, powtarzamy doświadczenie Younga z 1801 r., obserwujemy i fotografujemy za pomocą *camera obscura* (z Andrzejem Branickim z Białegostoku), podglądamy Układ Słoneczny (w głogowskim szkolnym obserwatorium). Naprawdę warto zastosować te sprawdzone pomysły. Warto też pojechać na Jesienną Szkołę „Problemy Dydaktyki Fizyki” do Borowic.

#### ***Fizyka w Szkole 3/2005***

„Twarzą w twarz i jakby obok. Spotkanie u podstaw” to relacja ze spotkania, jakie zorganizowała redakcja czasopisma wraz z Komisją Nauczania Fizyki w Szkołach PTF, aby w szerokim gronie dydaktyków, nauczycieli i autorów podręczników

ocenić nowy projekt podstaw programowych, który powstał w Instytucie Spraw Publicznych. Tematy mniej, a jednak, aktualne: „Co wspólnego ma tsunami z wianem do pokazu fal” Jerzego Ogara, „O laserze na swobodnych elektronach w DESY” Janusza A. Zakrzewskiego, LIV Olimpiada Fizyczna – zadania z rozwiązaniami, „Tresowanie natury” Ludwika Lehmana. Ponadto kolejna porcja domowych zadań doświadczalnych Juliusza Domańskiego – dla tych wszystkich, którzy nie mają w szkole profesjonalnej pracowni fizycznej.

### **Fizyka w Szkole 4/2005**

Cudowny rok 1905: w stulecie opublikowania przełomowej pracy Alberta Einsteina „O elektrodynamice ciał w ruchu” prof. Andrzej Szymacha pokazuje, w jaki sposób koncepcja eteru doprowadziła Lorentza do wypisania transformacji, nazywanych później jego imieniem. O dziele 26-letniego szwajcarskiego urzędnika i największego fizyka XX wieku także kolejne teksty: prof. Bronisława Średniawy, Tomasza Kardasia oraz rozmowa z prof. Stefanem Straszewiczem „Uczyłem” Einsteina, przeprowadzona w roku 1969.

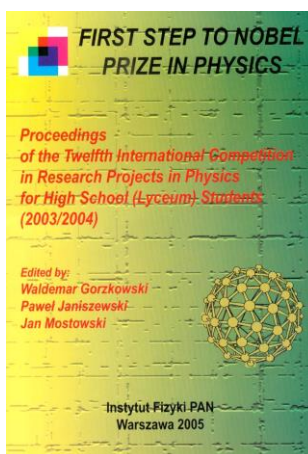
Za nami kulminacyjny etap reformy systemu nauczania – NOWA MATURA; nasi stali autorzy prezentują pierwsze opinie „na gorąco”, a redaktor naczelny opowiada o „zimnym prysznicu”, którego doświadczył po lekturze maturalnych arkuszy.

I kolejna recenzja podręczników – tym razem dla profilu rozszerzonego.

Redakcja *Fizyki w Szkole*

Redakcja *Fotonu* składa dostojnej Jubilatce życzenia rozkwitu pisma, parokrotnego wzrostu czytelników, harmonijnej i owocnej współpracy z *Fotonem*, członkom redakcji zdrowia.

Informujemy, że ukazały się raporty z konkursu *First Step to Nobel Prize in Physics* – XII edycja. Zapraszamy na stronę: [www.ifpan.edu.pl/firststep](http://www.ifpan.edu.pl/firststep) albo <http://info.ifpan.edu.pl/firststep>





## Maria Skłodowska-Curie w filatelistyce

*Jerzy Bartke*

*Instytut Fizyki Jądrowej PAN*

*w Krakowie*

Marię Skłodowską-Curie (1867–1934) uhonorowano wielką liczbą znaczków i stempli pocztowych – można z nich złożyć spory zbiór. Więcej walorów filatelistycznych poświęcono chyba jedynie papieżowi Janowi Pawłowi II i Kopernikowi.

Na znaczkach wcześniejszych wydań Maria Skłodowska-Curie pojawia się często wraz z mężem Piotrem Curie. Tu można wymienić wydania Francji i jej kolonii (1938 rok, łącznie 22 znaczki o jednakowym rysunku), Księstwa Monako (1938), Afganistanu (1938), Panamy (lata 1939–1949, łącznie 22 znaczki o powtarzającym się rysunku). W Polsce w roku 1938 ukazały się dwie kartki pocztowe (całostki) z podobizną Marii Skłodowskiej-Curie na ilustracji, po wojnie zaś szeregi znaczków: w serii „Kultura polska” (1947), z okazji I Kongresu Nauki Polskiej (1951), w serii „Wielcy Polacy” (1963), z okazji stulecia urodzin (1967), wreszcie z okazji stulecia odkrycia radu i polonu (1998). Reprodukujemy niektóre z nich. Najrzadszym znaczkiem z podobizną Marii Skłodowskiej-Curie jest znaczek turecki, wydany z okazji Międzynarodowego Kongresu Kobiet, odbywającego się w Stambule w roku 1935. Cena katalogowa tego znaczka wynosi obecnie 400 euro. Bardzo rzadkie są też dwa znaczki Surinamu z 1950 roku.

Wiele znaczków poświęconych Marii Skłodowskiej-Curie wydano w 1967 roku, w stulecie jej urodzin, a potem w 1998 roku, w stulecie odkrycia polonu i radu. Znaczkami i stemplami okolicznościowymi upamiętniano też inne rocznice urodzin, różne rocznice śmierci, oraz rocznice przyznania jej pierwszej (1903) i drugiej (1908) Nagrody Nobla.

Oprócz znaczków pokazujemy kilka stempli okolicznościowych: rzadki polski stempel z okazji 50-lecia odkrycia radu i polonu (stosowany w 1948 roku w siedmiu miastach), francuski stempel na stulecie urodzin Marii Skłodowskiej-Curie oraz dwie pozycje związane z nią tematycznie: stempel z okazji 25. rocznicy powstania Uniwersytetu im. Marii Skłodowskiej-Curie w Lublinie oraz frankaturę mechaniczną Zakładu Energetycznego w Tomaszowie Mazowieckim, który mieści się przy ulicy Marii Skłodowskiej-Curie (ta frankatura stanowi „odkrycie” autora artykułu).





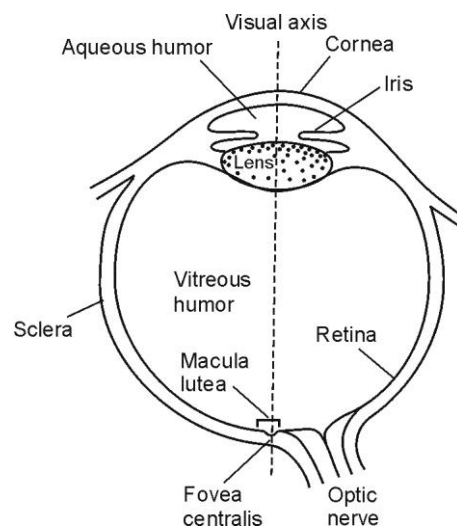


## CZYTAMY PO ANGIELSKU

### Physics of Vision

#### Experiments described by Ortuño (patrz str. 63)

The structure of the eye, with a few anatomical terms is shown in the figure.



#### Dictionary:

- visual axis** – oś wzrokowa
- aqueous humor** – ciecz wodnista
- cornea** – rogówka
- iris** – tęczówka
- lens** – soczewka
- vitreous humor** – ciało szkliste
- macula lutea** – plamka żółta
- fovea centralis** – dołek środkowy
- retina** – siatkówka
- sclera** – twardówka
- optic nerve** – nerw wzrokowy



## Przed szkole Fizyki 2005

Dagmara Sokołowska

Instytut Fizyki UJ

W dniach 6–10 czerwca 2005 r. odbyło się kolejne Przed szkole Fizyki, goszczone przez XLV Krakowską Szkołę Fizyki Teoretycznej w Zakopanem. Uczestnicy przyjechali na warsztaty tym razem wyłącznie z Polski południowej. Trzynastoro z nich jest uczniami dwóch renomowanych liceów krakowskich: „Piątka” i „Dwójka”, z którymi Instytut Fizyki UJ współpracuje od lat w procesie kształcenia młodzieży. Jak zwykle silna ekipa, licząca pięcioro uczniów, przyjechała z Bochni. Pozostała trójka to tegoroczni laureaci konkursu „Lwiątko” w różnych kategoriach wiekowych (jeden z nich jest *nota bene* uczniem V LO w Krakowie, pozostali dwaj pochodzą ze Śląska).

Wielką troską głównej organizatorki Przed szkola, p. dr Zofii Gołąb-Meyer, jest zawsze takie dobranie wykładowców, aby w krótkim okresie pięciu dni zaprezentować młodzieży możliwie szerokie spektrum zagadnień z fizyki. Zarówno polsko- jak i anglojęzyczni prelegenci przygotowali referaty opisujące w przystępny sposób trudne problemy w dziedzinie fizyki teoretycznej i eksperymentalnej. Entuzjazm wśród uczniów wzbudził wykład z demonstracjami prof. H. Arodzia na temat solitonów. Z kolei nestor krakowskiej szkoły prof. A. Białas zaproponował uczestnikom warsztatów typowe seminarium naukowe w formie, z jaką młodzi adepci fizyki mogą się spotkać w swej przyszłej pracy naukowej (uczniowie wykazali żywe zainteresowanie). Odbyły się wykłady z fizyki cząstek elementarnych (M. Lisa, A. Dorokhov) oraz omawiające zagadnienia supersymetrii i swobody asymptotycznej (M. Shifman, A. Kovner). Astrofizyka i poszukiwanie życia we Wszechświecie były tematem wystąpień doktorantów IFUJ (J. Jałocha, B. Kinasiewicz). Nie obyło się także bez typowych warsztatów rachunkowych z zakresu równań różniczkowych i teorii czarnych dziur (P. Klimas, B. Kinasiewicz). W tym roku, Roku Fizyki, przybliżono również uczniom temat najnowszej historii fizyki i zagadnień, które zrewolucjonizowały fizykę XX wieku (B. Średniawa, K. Fiałkowski, K. Zalewski, A. di Giacomo).

Swoje referaty prezentowali również sami uczestnicy Przed szkola. Uczniowie z Bochni przygotowali wystąpienia na temat projektu polskiego sztucznego serca i nowej lunety w Młodzieżowym Obserwatorium Astronomicznym w Niepołomicach. Uczniowie z Krakowa przedstawili doświadczenie Einsteina-de Haasa (wraz z demonstracjami na wykonanym przez siebie układzie doświadczalnym), pomyśły na podróowanie w czasie, teorie powstania Wszechświata oraz pozasłoneczne

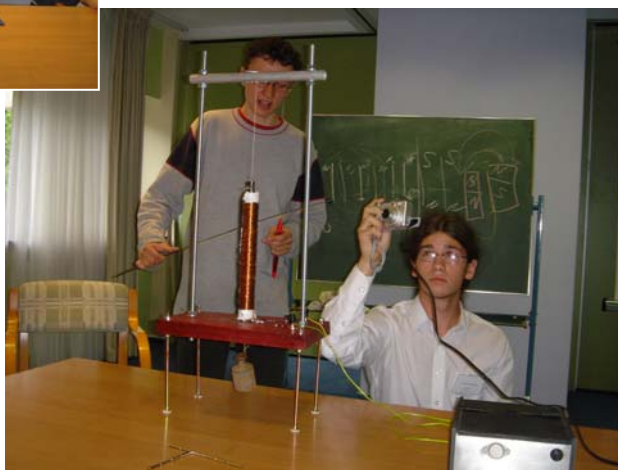


układy planetarne. Zaprezentowany został także referat na temat komputerów kwantowych. Rzetelność przygotowanych referatów oraz ich forma (wykorzystanie najnowszych technik multimedialnych) wskazuje na zaangażowanie uczniów i ich zainteresowanie fizyką pozaszkolną.

Pogoda w Zakopanem była w tym roku wyjątkowo kapryśna. Nie jest to nigdy uciążliwe w trakcie trwania wykładów, ale może zniechęcić do wycieczki, którą co roku w połowie Przedszkola organizuje dr Adam Smólski, aby wzmocnić siły witalne młodych słuchaczy długich wykładów. Pomimo deszczu uczniowie także tym razem nie zrezygnowali z wycieczki w Tatry Zachodnie wzdłuż Doliny Chochołowskiej, poprzez Przełęcz Iwanicką do Doliny Kościeliskiej. Ku radości ogółu śnieg spadł w Tatrach dopiero następnego dnia.



Profesor H. Arodź demonstruje solitony



Demonstracja doświadczenia Einsteina-de Haasa



## Drugie Pieńskie Popołudnie z Fizyką

*Urszula Mięśok*

*Gimnazjum im. O. M. Tomaszka w Pieńsku*

II Pieńskie Popołudnie z Fizyką odbyło się 17 maja 2005 r. Tak jak poprzednio (*Foton* 85) działania przygotowujące rozpoczęły się od ogłoszenia konkursu „Fizyka nie boli” (<http://fizyka2005.fuw.edu.pl/index2.php>). Przy ocenianiu prac konkursowych pomogły mi: prof. E. Dębowska – Uniwersytet Wrocławski i dr M. Staszal – Uniwersytet Warszawski. Ze względu na Światowy Rok Fizyki nauczycielka ucząca plastyki (I. Błauciak) ogłosiła konkurs „SRF w plakacie”. Nagrodą w obu tych konkursach miał być wyjazd do I.F.D. Uniwersytetu Wrocławskiego (Zakład Zastosowań Fizyki Jądrowej oraz zajęcia ze studentami w Pracowni Dydaktycznej). Drugi już raz Burmistrz M. i G. Pieńsk p. J. Strojny, doceniając zaangażowanie uczniów i ich zainteresowanie fizyką, ufundował ten wyjazd. Wspomogli nas też inni sponsorzy: F. F. S. HEYE oraz Bank Spółdzielczy w Pieńsku.

Oprócz prac konkursowych, prezentowanych na szkolnych korytarzach, w pracowni fizycznej uczniowie pokazywali zjawiska fizyczne oraz demonstrowali prawa fizyczne. Przybyli na II PPzF zainteresowani widzowie przez godzinę mogli oglądać: prezentacje multimedialne, plakaty, fotografie zjawisk fizycznych itp. W tym samym czasie młodzi fizycy (większość uczniów prezentujących zjawiska fizyczne to „pierwszaki”) demonstrowali ciekawe zjawiska fizyczne i wyjaśniali je przybyłym gościom. Dużym zainteresowaniem cieszył się elektromagnes, zrobiony z gwoźdźca, demonstrujący pracę dźwigu na złomowisku, oraz maszyna parowa napędzana parą z czajnika.

Zarówno uczniowie naszej szkoły, jak też przybyli na PPzF mieszkańcy Pieńska, oczekiwali na spotkanie z Wojciechem Dindorfem i zapewniam, że nie nudziło się. A samo spotkanie było czymś, co zostanie uczestnikom PPzF długo w pamięci. Pan Dindorf jak zwykle pokazał wiele ciekawych zjawisk i jak zwykle opowiadał z dowcipem o fizyce i życiu, a widownia z zachwytem oraz uśmiechem uczestniczyła w tym spotkaniu.

Wydaliśmy broszurkę okolicznościową, której kilka stron zajmują wspomnienia o I PPzF i wypowiedzi uczestników oraz zdjęcia z tamtej imprezy. Kolejny już raz powtórzę: cenny jest fakt, iż w PPzF uczestniczy się dobrowolnie. I uczniowie przygotowujący je, i widzowie robią to z własnej, nieprzymuszonej woli. Większość widzów stanowią moi byli uczniowie, zatem mogę z satysfakcją stwierdzić, że rozbudziłam w nich zainteresowanie fizyką i moja praca dała efekty.

Zdjęcia i więcej informacji na stronie; [http://draco.uni.opole.pl/moja\\_fizyka/](http://draco.uni.opole.pl/moja_fizyka/).



## Światowy Rok Fizyki 2005 w Dąbrowie Tarnowskiej

*Stanisław Wróbel*

*Instytut Fizyki UJ*

Jako członek Zarządu Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Fizycznego i były jego wiceprezes zostałem zaproszony do Gimnazjum nr 1 w Dąbrowie Tarnowskiej w celu zwiedzenia wystawy z okazji Światowego Roku Fizyki 2005, zorganizowanej przez uczniów tegoż Gimnazjum pod kierunkiem Pani mgr Marii Grygiel, nauczycielki fizyki. Zaproszeniem wystosowali do mnie Dyrektor Gimnazjum mgr Marian Gajda oraz mój kolega z ławy szkolnej mgr Jan Sosin, emerytowany nauczyciel fizyki, pracujący obecnie w Zakładzie Obsługi Szkół i Przedszkoli. Zaproszenie było wypisane na specjalnej okolicznościowej karcie.

Gimnazjum nr 1 im. Jerzego Browna mieści się w dobrze utrzymanym, wielosegmentowym budynku z salą gimnastyczną. Jest w nim miejsce na prawdziwą pracownię fizyczną, pracownię komputerową i in. Na zewnątrz jest kilka boisk sportowych (2 do piłki siatkowej, 2 do piłki koszykowej oraz po 1 do piłki nożnej i do szczypiorniaka).

W głównym budynku szkoły mieści się pracownia fizyczna, gdzie Pani mgr Maria Grygiel wraz z uczniami przygotowali – z okazji mojej wizyty w ich szkole – część wystawy interaktywnej, prezentowanej w dniach od 6 do 12 maja br. uczniom szkół z gminy Dąbrowa Tarnowska. Ta skrócona wystawa obejmowała bardzo pomysłowe doświadczenia z optyki („Szkielko i oko”), elektryczności i magnetyzmu, hydrostatyki i hydrodynamiki, fal mechanicznych i ruchów drgających oraz złudzeń optycznych i anaglifów, ukazujących trójwymiarowość na płaszczyźnie. Uczniowie z dużym zaangażowaniem prezentowali swoje demonstracje i odpowiadali na pytania. Każda demonstracja była opisana tak, że zwiedzający sam mógł przeczytać o danym zjawisku fizycznym czy zestawie demonstracyjnym.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że wiele z tych demonstracji wykonali sami uczniowie z dostępnych materiałów, takich jak butelki polietylenowe, drewno, karton i in. Prezentowali też ciekawe zabawki fizyczne, które włączyli do swojej wystawy.

Po zwiedzeniu interaktywnej wystawy wygłosiłem referat na temat historii fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim. Uczniowie zadawali pytania – interesowały ich szczególnie informacje o najwybitniejszych studentach Uniwersytetu Jagiellońskiego. Oprócz dyrektora Gimnazjum, mgr. M. Gajdy oraz mgr. J. Sosina, w wykładzie uczestniczył zastępca burmistrza Dąbrowy Tarnowskiej, mgr Marek Minorczyk.



Fot. 1. Grupa uczniów biorących udział w wystawie interaktywnej (od prawej: Daniel Grabiec, Paulina Bałut, Marek Janas, Justyna Bobro, dyrektor PG nr 1 mgr Marian Gajda, Karolina Adamska, Anna Fido, prof. dr hab. Stanisław Wróbel, Małgorzata Bator, Martyna Jakus, mgr Jan Sosin, Damian Wajda) w Pracowni Fizycznej szkoły (fot. Krzysztof Orwat)



Fot. 2. Pani mgr Maria Rygiel, nauczycielka fizyki, objaśnia demonstracje z ruchu falowego (od prawej: M. Rygiel, J. Sosin, M. Gajda i S. Wróbel; fot. Krzysztof Orwat)

Fot. 3. Fragment wystawy interaktywnej. Uczniowie na swoich stanowiskach, gotowi do demonstracji (od prawej: Paulina Bałut, Justyna Bobro, Anna Fido, Martyna Jakus, Karolina Adamska, Daniel Grabiec; fot. Krzysztof Orwat)





## Świętowanie Roku Fizyki w Gimnazjum w Nowogrodzie Bobrzańskim

Renata Drozd

Publiczne Gimnazjum w Nowogrodzie Bobrzańskim

Pomysł obchodów Światowego Roku Fizyki 2005 zrodził się na Kongresie Towarzystw Fizycznych w Berlinie w 2000r., a ostatecznie został zatwierdzony w 2002 r. przyjęciem przez UNESCO stosownej rezolucji.

Jest to rok szczególnie z uwagi na stulecie opublikowania przez Alberta Einsteina trzech bardzo ważnych prac, w których, jak pisze Emilio Segré, „jego geniusz zapłonął z niedoścignioną jasnością”. Każda praca była poświęcona odrębnemu zagadnieniu. Pierwsza dotyczyła ruchu ciał, druga – zjawiska fotoelektrycznego, trzecia – ruchów Browna.

W tym roku przypada również 50. rocznica śmierci geniusza.

Świętowanie Roku Fizyki ma na celu promocję tej dziedziny nauki, podkreślenia jej znaczenia nie tylko dla skomplikowanych badań naukowych, ale przede wszystkim w życiu codziennym. Stało się ono również inspiracją do realizacji kilku przedsięwzięć w naszym Gimnazjum. Składają się na nie:

- zorganizowanie konkursu fotograficznego i literacko-muzycznego pod hasłem *Fizyka w nas i wokół nas*, do którego udziału zostali zaproszeni uczniowie z zaprzyjaźnionych z naszą szkołą gimnazjów: w Czerwieńsku, Zaborze, Przylepie, Drzonkowie, Świdnicy i szkół podstawowych gminy Nowogród Bobrzański;
- comiesięczne redagowanie gazetki tematycznej w postaci *Kalendarium fizycznego*;
- międzyklasowe projekty edukacyjne *Fizyka i fizycy*;
- projekcja filmów o tematyce fizycznej w ramach działającego w szkole Dyskusyjnego Klubu Filmowego;
- interdyscyplinarne warsztaty, debata;
- prezentacja i pokazy eksperymentów dla młodszych i starszych kolegów i koleżanek oraz miejscowej ludności.

Podczas przygotowań do imprezy towarzyszyła nam myśl A. Einsteina:

*Wyobraźnia bez wiedzy może stworzyć rzeczy piękne.*

*Wiedza bez wyobraźni najwyżej doskonała.*

Formy działania są dosyć różnorodne, ich realizacja została zaplanowana na cały rok 2005. Niektóre z ww. przedsięwzięć zostały już sfinalizowane, w odbywających się w dniach 9–10 maja „Spotkaniach z fizyką, cz. 1”.

W imprezie odbywającej się w dniu 9 maja uczestniczyło około 120 osób. Po uroczystym powitaniu przybyłych gości przez wicedyrektor Grażynę Drozdek głos zabrala nauczycielka fizyki, mgr Renata Drozd, główny pomysłodawca i koordynator imprezy. Gościem honorowym był pracownik naukowy Instytutu Fizyki Uniwersytetu Zielonogórskiego, dr Stefan Jerzyniak, który odwołując się do książki J. Simmonsa *100 najwybitniejszych uczonych wszech czasów*, wykazał, że fizyka jest niewątpliwie kluczem do poznawania praw natury. Nie przypadkiem trzy pierwsze miejsca w tej pozycji książkowej zajmują właśnie fizycy w kolejności: Izaak Newton, Albert Einstein i Niels Bohr.

Po bardzo treściwym i ciekawym wystąpieniu doktora Stefana Jerzonia zabrali głos: mgr fizyki Lech Pawlisiak, a następnie mgr filologii polskiej Monika Stasilonis-Bedorf. Dzięki przytoczeniu wielu faktów z życia Marii Skłodowskiej-Curie na tle wydarzeń w Polsce i Europie oraz omówieniu strony formalnej debaty amerykańskiej przygotowany został grunt do jej rozpoczęcia z udziałem uczniów naszego Gimnazjum. Teza: Błędem było, że Maria Skłodowska wyszła za mąż za Piotra Curie, została obalona przez niepodważalne argumenty grupy oponentów. Ostatnim punktem programu była wystawa interaktywna *Fizyka zabawek*.

Uczniowie naszej szkoły zaprezentowali zabawki i gadżety będące na wyposażeniu pracowni fizycznej, pochodzące z prywatnych zbiorów nauczycielki fizyki, przekazane przez dwie nauczycielki tej szkoły oraz wykonane przez siebie. Łącznie zgromadzono i zaprezentowano na wystawie ponad 20 rekwizytów. Były to między innymi: kaczka pijaczka, termometr miłości, termometr Galileusza, nurek Kartezjusza, sprężyna slinky, kula plazmowa, peryskop, bączki, skoczki, młynek do piasku, wańka-wstańka, kuchenny model ptaka.

Podobna wystawa odbyła się w dniu 10 maja w świetlicy szkolnej dla społeczności lokalnej. Wiele zgromadzonych eksponatów wzbudziło powszechną ciekawość zarówno w pierwszym, jak i drugim dniu wystawy. Okazało się, że dla większości osób było to *novum*. Uczniowie i dorośli, którzy zasmakowali w naszej zabawie, zaczęli dostrzegać pewne związki działania zabawek z prawami fizycznymi, wpływającymi na wszystkie dziedziny życia.

W opinii osób zgromadzonych impreza była bardzo udana, wiele dobrego wniosła w życie uczniów i na pewno przyczyniła się do promocji szkoły. Oczywiście wszystko dzięki współpracy wielu osób: I. Kowal, A. Powchowicz, R. Milto, D. Sochy i L. Koncura.





## Zaproszenie na krakowskie konwersatoria fizyki

Kraków, 30.06.2005

Z okazji Światowego Roku Fizyki<sup>1</sup> Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Fizycznego<sup>2</sup> postanowił zaktywizować środowisko fizyków w naszym regionie. W tym celu chcielibyśmy dotrzeć do jak najszerszego grona osób, uprawiających zawodowo fizykę i dydaktykę fizyki w wyższych uczelniach, gimnazjach oraz w szkołach ponadgimnazjalnych. Ta ostatnia grupa osób jest dla nas szczególnie istotna, gdyż kształci potencjalnych kandydatów na studia fizyki i nauk pokrewnych.

Zapraszamy Panią/Pana do nawiązaniem kontaktu z Oddziałem Krakowskim Polskiego Towarzystwa Fizycznego. W tym celu prosimy o przesłanie swojego adresu e-mailowego (lub pocztowego), na który będziemy przysyłać informacje o imprezach i działaniach naszego Towarzystwa.

Chciałbym nadmienić, że jedną ze stałych imprez naszego Towarzystwa jest Krakowskie Konwersatorium Fizyczne<sup>3</sup>, na które serdecznie zapraszamy. Konwersatoria odbywają się w Instytucie Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Uniwersytetu Jagiellońskiego, ul. Reymonta 4, sala 055, we czwartki o godz. 17:15.

[...]

Będziemy również bardzo wdzięczni za każdą sugestię, dotyczącą działalności Towarzystwa.

Korespondencję prosimy kierować na e-adres oddziału: [ptf@agh.edu.pl](mailto:ptf@agh.edu.pl).

prof. dr hab. Zbigniew Majka  
Przewodniczący Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Fizycznego

---

<sup>1</sup> <http://www.ptf.agh.edu.pl/SRF2005/>

<sup>2</sup> <http://www.ptf.agh.edu.pl/>

<sup>3</sup> <http://www.ptf.agh.edu.pl/konwersatorium.html>

<http://www.foton.z.pl/>



## KOMUNIKAT

### Nagrody PTF

Nagroda PTF im. Grzegorza Białkowskiego:

dr **Adam Smólski** – nauczyciel i redaktor naczelny *Fizyki w Szkole*, za zasługi w walce o utrzymanie dobrego poziomu nauczania fizyki w reformowanej szkole oraz za zorganizowanie i szerokie rozpropagowanie konkursu fizycznego „Lwiątko”

Nagroda II stopnia:

mgr **Hanna Szyburska** – nauczycielka I Liceum Ogólnokształcącego im. Mikołaja Kopernika w Łodzi, za niezwykle zaangażowanie w pracy z młodzieżą i znakomite wyniki w Olimpiadach Fizycznych

Nagroda III stopnia *ex aequo*:

mgr **Urszula Mięso**k – nauczycielka Gimnazjum im. O.M. Tomaszka w Pieńsku, za rozbudzanie zainteresowań uczniów, za ukazywanie piękna przyrody przez fizykę; mgr **Anna Legwant** – nauczycielka I Liceum Ogólnokształcącego im. Jana Czarnieckiego w Chełmie, za znaczące osiągnięcia w pracy z młodzieżą zainteresowaną fizyką

Wyróżnienia:

mgr inż. **Grzegorz Depczyński** – nauczyciel I Liceum Ogólnokształcącego w Krośnie, za doskonałe przygotowanie uczniów do udziału w Olimpiadzie Fizycznej i Astronomicznej oraz za organizowanie licznych konkursów; mgr **Anna Grygiel** z Publicznego Gimnazjum nr 1 w Dąbrowie Tarnowskiej, za zorganizowanie ciekawego programu z okazji Światowego Roku Fizyki





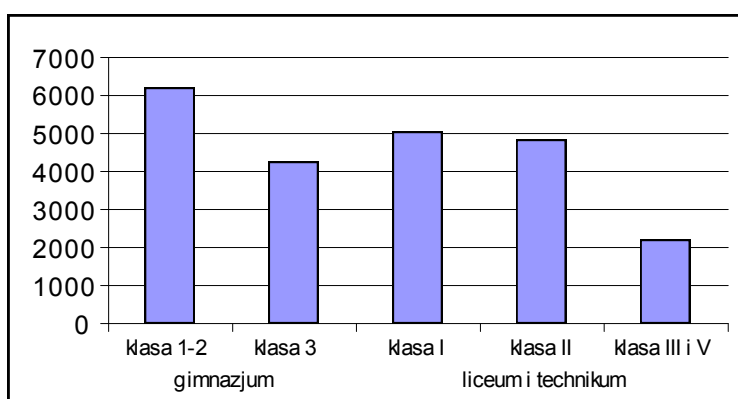
## KOMUNIKAT

### Lwiątko 2005 – sprawozdanie

*Adam Smólski*

*Fizyka w Szkole*

Konkurs odbył się 4 kwietnia. W stosunku do zeszłego roku nastąpił znaczący wzrost liczby uczestników. Zgłoszonych zostało ponad 22000 uczniów z prawie 1200 szkół:



Rekordowo z jednej szkoły zgłoszono 165 uczniów, z 22 po jednym – mediana liczby zgłoszonych wyniosła 13 osób. Warto wspomnieć, że wśród zgłoszonych szkół była także jedna z polskich szkół we Lwowie.

#### **Wyniki**

A oto najlepsze rezultaty:

##### Klasa 1–2 gimnazjum

1. Mateusz Jończyk
2. Paulina Gańczorz
2. Maciej Grzegorzka
4. Joanna Brzezińska
4. Patryk Pjanka
4. Maciej Śmigielski
7. Patryk Drobiński

7. Jacek Musiał
9. Jakub Oćwieja
10. Miłosz Pacholczyk

Średnia dla uczestników z klas 1–2 gimnazjum wyniosła 49,7 pkt. (w zeszłym roku 64,2 pkt.)

#### Klasa 3 gimnazjum

1. Marcin Dohnalik
1. Konrad Sklorz
3. Joanna Bogdanowicz
4. Aleksander Kubica
5. Radosław Burny
6. Gabriel Bartoszek
6. Łukasz Czempiel
8. Piotr Szyperski
9. Damian Leśniak
10. Michał Wojciechowski

Zwracamy uwagę na nazwiska na czołowych miejscach – pojawiły się już na liście zwycięzców w zeszłym roku. Szczególne gratulacje należą się Marcinowi Dohnalikowi z Krakowa, który już drugi raz był w swojej kategorii najlepszy. Średnia dla uczestników z klasy 3 gimnazjum wyniosła 48,5 pkt. (w zeszłym roku 49,3 pkt.).

#### Klasa I liceum i technikum

1. Jan Fuerst
2. Szymon Jędrzejewski
2. Bartosz Rajs
4. Krzysztof Wójcik
5. Konrad Misa
5. Oskar Kopczyński
7. Maciej Machulec
8. Sebastian Górecki
9. Karol Daszkiewicz
9. Grzegorz Sobczak
9. Krzysztof Wesołowski

Średnia dla uczestników z klasy I liceum i technikum wyniosła 45,8 pkt. (w zeszłym roku 47,9 pkt.)

Klasa II liceum i technikum

1. Paweł Głosz
2. Miłosz Góralczyk
3. Wojciech Ekert
3. Paweł Sierszeń
5. Adam Ratajczak
5. Juliusz Stasiewicz
7. Łukasz Dulny
8. Przemysław Piotrowski
8. Bartłomiej Chalfen
10. Tomasz Badowski

Średnia dla uczestników z klasy II liceum i technikum wyniosła 39,2 pkt. (w zeszłym roku 46,0 pkt.).

Klasa III i V liceum i technikum

1. Tomasz Łakota
2. Mateusz Brzeszcz
2. Sebastian Chojniak
4. Mateusz Kakareko
4. Piotr Nayar
4. Marcin Kołodziej
7. Maciej Hermanowicz
8. Marcela Batkiewicz
9. Jakub Konopko
10. Stanisław Woźniak

Średnia dla uczestników z klasy III i V liceum i technikum wyniosła 47,8 pkt. (w zeszłym roku, dla IV klas liceum, 47,4 pkt.).

Pełne dane o laureatach opublikowane są w *Fizyce w Szkole* Nr 4, 2005, str. 32.

Konkurs okazał się nadmiernie trudny, wbrew naszym wcześniejszym zamiarom i deklaracjom. Musimy się tutaj przyznać do niewielkiego jeszcze doświadczenia w komponowaniu zestawów. Poza tym postawiliśmy bardzo silnie na to, żeby zadania były niebanalne, inteligentne. To najczęściej oznacza, że okazują się bardzo trudne. Tak czy siak, prosimy o jeszcze jedną szansę, obiecując tym razem już na pewno poprawę w przyszłym roku.



## 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 2005/2006 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 znaleźć na stronie internetowej:

**<http://www.if.uj.edu.pl/Foton/>**

---

**28 IX 2005** – mgr Anna Grygiel, *Obchody Roku Fizyki w Dąbrowie Tarnowskiej* (z pokazami)

---

**Uczestnictwo w wykładach wyłącznie po zgłoszeniu telefonicznym:  
663 55 63 bądź 663 56 77, lub za pośrednictwem e-mail: [foton@if.uj.edu.pl](mailto:foton@if.uj.edu.pl)**



Przed szkole Fizyki, Zakopane 2005  
Dyskusja w kularach – Profesor K. Fiałkowski z młodzieżą

# Przykłady fraktali

Marek Berezowski

