

# Foton 96

Wiosna  
2007

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI ✕ UNIwersYTET JAGIELLOŃSKI  
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



Gekon na suficie  
Rezonans magnetyczny  
Fizyka karwingu  
Ogniwo Volty  
Ekspres do kawy

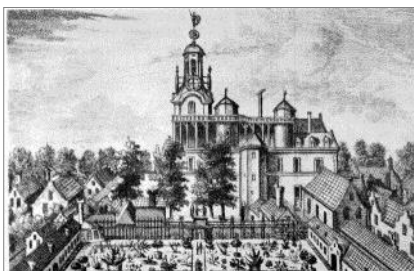
## Johannes Diderik van der Waals (1837–1923)



Jako nauczyciel fizyki w gimnazjum –  
w owych czasach był to często początek  
kariery naukowej i akademickiej



Jako profesor fizyki na  
uniwersytecie w Lejdzie



Lejda z okresu studiów Christiaana  
Huygensa 1645–1647

Uniwersytet w Lejdzie to najstarsza uczelnia w Holandii, ufundowana w 1575 roku przez Wilhelma I Orańskiego, zwanego Milczącym, w dowód uznania za wytrwałość podczas, trwającego rok, hiszpańskiego oblężenia. Godnym podkreślenia jest fakt, iż tę formę wdzięczności wybrali sami mieszkańcy Lejdy. Wybitni uczeni uniwersytetu to: Willebrord Snellius, Heike Kamerlingh Onnes, J.D. van der Waals, Hendrik Antoon Lorentz, Willem de Sitter



Lejda oczami japońskiego fizyka teoretyka  
Ryogo Kubo



## Obrona przed hochsztaplerstwem naukowym

Nie łatwo jest być dobrym redaktorem, dobrym nauczycielem. Nie sposób znać się na wszystkim. Jak rozstrzygać, co poprawne, a co nie? W końcu i tak trzeba zaufać jakimś autorytetom. Łatwiej jest, gdy się samemu sporo wie, gdy się posiada pewne rzemiosło i posiada intuicję pozwalającą odróżnić błędne rozumowanie od poprawnego, naukę od pseudonauki. Uczniom jest jeszcze trudniej. Ufają słowu drukowanemu i Internetowi, zwłaszcza, gdy wiadomości poparte są autorytetami z tytułami profesorskimi. Uczniowie nie posiadają narzędzi pozwalających odróżnić prawdę naukową od fałszu. Ta bezbronność uczniów ujawniła się w czasie przeglądania prac nadesłanych na konkurs „Fizyczne ścieżki”. Codzienna prasa donosi co jakiś czas o kolejnych rewelacjach naukowych, które brzmią fascynująco i są przyjmowane na wiarę. Młodzi fizycy postanowili pospieszyć z pomocą zdezorientowanym czytelnikom. W tym samym Internecie, pełnym naukowych nonsensów, można dzięki nim znaleźć informacje demaskujące rozmaite pseudo-odkrycia, nierzetelnych dziennikarzy i często utytułowanych hochsztaplerów. My też otwieramy w *Fotonie* rubrykę, „czego nie czytać”, w co nie wierzyć, ostrzegającą przed takimi doniesieniami, przed kiepskimi książkami.

Jednak najlepszą szczepionką przeciwko przyjmowaniu bzdury za prawdę, jest, jak to pisał Marian Smoluchowski, zapoznanie uczniów z rzetelną metodą naukową. Solidna analiza samodzielnie wykonanych doświadczeń da więcej niż opisowe zapoznanie się po łebkach z wieloma działami fizyki. **Ilościowe** rozwiązanie w trudzie paru zagadnień (tych nie lubianych przez uczniów zadań) jest wprost bezcenne dla nauki krytycznego myślenia. Żmudnie nabyta wiedza pozwoli nie tylko delektować się rozumieniem przyklejania się łapek gekona do szyby, czemu narta sama skręca, czy diagnozowania chorób za pomocą rezonansu magnetycznego, lecz także pozwoli nie dać się nabrać na przykład na lipne filtry do wody czy pseudoteorie o dobrych i złych kryształach wody.

Z.G-M



## Contents

Editorial: Against deception in popularization of science <i>Zofia Gołqb-Meyer</i> .....	1
Bio-nano-technology of Gecko feet <i>Piotr Pierański</i> .....	4
Magnetic resonance tomography <i>Jadwiga Tritt-Goc</i> .....	12
Why was carving invented? <i>Grażyna Siemieniec-Oziębło</i> .....	26
At the tongue tip of Volta <i>Grzegorz Karwasz, Andrzej Karbowski</i> .....	34
Thomas Young's contribution to the discussion on nature of light <i>Bronisława Średniawa</i> .....	36
Physics in mathematics <i>Waldemar Gorzkowski</i> .....	44
Remarks on state exams in physics and astronomy in 2006 <i>Jadwiga Salach</i> .....	52
Problems. Noises from the cave (4) – Elliptic orbits <i>Adam Smólski</i> .....	53
Experiments. Plastic card on the water surface <i>Dagmara Sokółowska</i> .....	58
How does it work? Coffee Maker <i>Dagmara Sokółowska</i> .....	60
From young physicist's blog: Scientists predict catastrophe <i>Anna Ochab-Marcinek</i> .....	62
What to read .....	66
Reading in English. Gecko tape .....	70
Physics in the Internet .....	71
Hands-on Experiments' Garden in Kraków <i>Marek Gołqb</i> .....	72
Van der Waals in Philately <i>Jerzy Bartke</i> .....	75
Announcement .....	76
Seminar: Problems in didactics of physics – Wrocław	
GIREP Conference 2007	
Polish Physicists Convention 2007	
International Summer School for Young Physicists	
First Step to Nobel Prize in Physics	
Editorial News.....	81



## Spis treści

Obrona przed hochsztaplerstwem naukowym <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Spacer po suficie, czyli bio-nano-technologie łapek gekona <i>Piotr Pierański</i> .....	4
Tomografia magnetyczno-rezonansowa <i>Jadwiga Tritt-Goc</i> .....	12
Dlaczego wymyślono karwing? <i>Grażyna Siemieniec-Oziębło</i> .....	26
Na końcu języka (Volty) <i>Grzegorz Karwasz, Andrzej Karbowski</i> .....	34
Thomas Young i jego wkład do dyskusji nad naturą światła <i>Bronisława Średniawa</i> .....	36
Fizyka w matematyce <i>Waldemar Gorzkowski</i> .....	44
Uwagi na temat egzaminu maturalnego z fizyki i astronomii (maj 2006) <i>Jadwiga Salach</i> .....	52
Kącik zadań. Odgłosy z jaskini (4) – Orbity eliptyczne <i>Adam Smólski</i> .....	53
Kącik doświadczalny. Karta na wodzie <i>Dagmara Sokołowska</i> .....	58
Jak to działa? Ekspres do kawy <i>Dagmara Sokołowska</i> .....	60
Z bloga młodego fizyka: Naukowcy ostrzegają przed katastrofą <i>Anna Ochab-Marcinek</i> .....	62
Co czytać.....	66
Carolin Abraham <i>Niezwykłe dzieje mózgu Einsteina</i>	
Albert Einstein <i>Zapiski autobiograficzne</i>	
Jadwiga Tritt-Goc <i>Wprowadzenie do tomografii magnetyczno-rezonansowej</i>	
Paweł Strzelecki <i>Krótkie wprowadzenie do równań różniczkowych cząstkowych</i>	
Czytamy po angielsku. Gecko tape .....	70
Fizyka w Internecie .....	71
Ogród Doświadczeń im. Stanisława Lema w Krakowie <i>Marek Gołąb</i> .....	72
Van der Waals w filatelistyce <i>Jerzy Bartke</i> .....	75
Komunikaty.....	76
Seminaria środowiskowe „Problemy dydaktyki fizyki” – Wrocław	
Konferencja GIREP-u	
Zjazd Fizyków Polskich	
Międzynarodowa Szkoła Letnia dla Młodych Fizyków	
First Step to Nobel Prize in Physics	
Komunikaty Redakcji.....	81



## Spacer po suficie, czyli bio-nano-technologia łapek gekona

*Piotr Pierański  
Politechnika Poznańska*

### 1. Obserwacja i wynikające z niej pytanie

Któż z nas nie zna widoku muchy spacerującej po suficie. Tak przyzwyczailiśmy się do tego widoku, iż wydaje się nam to zupełnie naturalne. Nie zadajemy sobie oczywistego pytania: jak ona to robi? Pytanie to jednak pojawia się, gdy zamiast muchy, jak mi się to zdarzyło pewnego ciepłego wieczoru w Kalabrii, zobaczymy na suficie spacerującą jaszczurkę.



Rys. 1. Gekon spacerujący po suficie kalabryjskiego domu (zdjęcie autora)

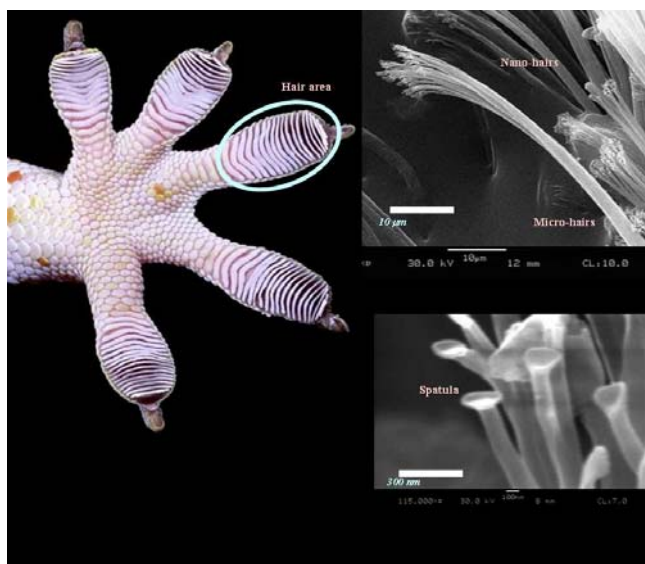
Co jest do licha? Jak ona to robi? Zdumienie, towarzyszące widokowi zwierzątka o rozmiarach sporej parówki, biegającego sobie po suficie z tą zwinnością, jaka cechuje jaszczurki, skłoniło mnie do zrobienia kilku zdjęć. Na jednym z nich, patrz rys. 1., zauważyłem coś ciekawego. Zakończone czymś w rodzaju kłapek paluszki jednej z łapek były na tym zdjęciu wygięte w dół, odstając od powierzchni sufitu. Kłapki innych paluszków przylegały do niej ciasno. Czy to przypadek? Czy to wyginanie paluszków ma jakąś specjalną funkcję w sufitowym spacerze?

Po powrocie do Polski rozpocząłem poszukiwania. Oczywiście, skorzystałem z sieci internetowej – najwspanialszego źródła informacji, jakie mamy dziś do swej dyspozycji, bez względu na to, czy mieszkamy w dużym mieście, czy

w małej wsi. Po paru godzinach wiedziałem już, że to nie ja pierwszy zadałem sobie sformułowane wyżej pytania, że od dawna zadają je sobie biolodzy, że znają już na nie odpowiedź, i że ta odpowiedź znajduje się na terenie fizyki. Postaram się opowiedzieć, czego się dowiedziałem.

## 2. Bio-nano-technologie łapek gekona

Po pierwsze, okazuje się, że gekony (*Gekko gekko*), bo taka jest poprawna nazwa tych biegających po sufitach jaszczurek, są w stanie czynić to i wtedy, gdy jest on wykonany z gładkiego szkła. Przypuszczenie, że gekony chwytają się powierzchni wykorzystując jej nierówności i szczelinki, w które wciskałyby jakieś haczyki umieszczone na swych łapkach, okazuje się więc błędne. Przyczyna, dla której ich łapki przyczepiają się do niej, musi więc być inna.



Rys. 2. Morfologia paluszków gekona. Ich rozplaszczone końce pokryte są rządkami włosków o rozmiarach mikrometrowych. Te mikro-włoski rozszczepione są na swych końcach w miotełki nano-włosków zakończonych nano-szpatułkami

(Źródło rysunku: [http://www.andrew.cmu.edu/user/gshah/gecko\\_foot.jpg](http://www.andrew.cmu.edu/user/gshah/gecko_foot.jpg))

Obejrzenie łapek gekona pod mikroskopem (elektronowym) ujawnia, patrz rys. 2, że istotnie nie ma na nich żadnych haczyków, są za to rządkami mikroskopijnych włosków rozszczepionych dodatkowo na swych końcach w miotełki włosków jeszcze drobniejszych, o rozmiarach nanoskopowych, zakończonych płaskimi nano-szpatułkami. Każda miotełka składa się z 100–1000 nano-włosków.

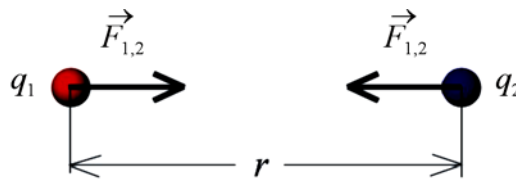


Jaka jest ich rola? Bardzo prosta: zwiększenie powierzchni przylegania. Zastanówmy się chwilę. Dlaczego niby włoski miałyby zapewniać dobre przyleganie łapek? Zróbmy samodzielnie proste doświadczenie. Weźmy do ręki szczoteczke do zębów i przyłóżmy ją do powierzchni stołu nie jej włoskami, ale odwrotną, gładką stroną główki, w której są one umocowane. Mimo pozorów, przyleganie nie będzie dobre, bo ani powierzchnia stołu, ani powierzchnia plastiku, z którego wykonana jest główka szczoteczki, nie są płaskie. W efekcie kontakt między nimi ograniczony jest do niewielu punktów. Sytuacja zmienia się radykalnie, gdy przyciśniemy szczoteczke do stołu stroną pokrytą włoskami. Statyczne przyciśnięcie pionowe szczoteczki nie jest jednak najlepszym rozwiązaniem, bowiem włoski nie są równej długości i szczoteczka oprze się o stół tylko niektórymi z nich, tymi najdłuższymi. Znacznie lepsze przyleganie uzyskamy, gdy po przyciśnięciu szczoteczki przesuniemy ją nieco w kierunku równoległym do powierzchni stołu. Przyciskane do stołu dłuższe włoski wygną się nieco, w efekcie i te krótsze wejdą w kontakt ze stołem. Tak właśnie czyni gekon, gdy przykładą swe paluszki do powierzchni sufitu.

No dobrze, wiemy już, co robi gekon, by zwiększyć liczbę punktów styku swych łapek z sufitem, ale to nie wyjaśnia sprawy, bowiem bez odpowiedzi pozostaje inne kluczowe pytanie: dlaczego w ogóle dotykające powierzchni sufitu nano-włoski przyklejają się do niej? Przecież nie są pokryte żadnym klejem – zbadanie powierzchni, po której się przeszły, ujawnia, że pozostaje ona sucha, bez śladu jakiegokolwiek kleju. Odpowiedzi na to pytanie udziela fizyka atomowa: **siłą odpowiedzialną za przyklejanie się włosków jest jedna z sił, które określane są mianem sił van der Waalsa.** Poniżej postaram się wyjaśnić jej pochodzenie i własności.

### 3. Siła Londona – jedna z sił van der Waalsa

Wszyscy dobrze wiemy, iż ładunki różnoimienne przyciągają się, zaś te równoimienne, odpychają. Jeśli rozważmy dwa ładunki punktowe,  $q_1 = q$  i  $q_2 = -q$ , znajdujące się w odległości  $r$ ,



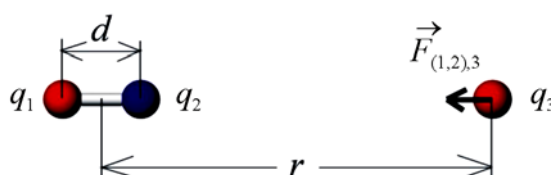
to siła oddziaływania między nimi, dana będzie znanym wzorem:

$$F_{1,2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2} \propto \frac{q^2}{r^2}.$$



Zwróćmy uwagę na zależność tej siły od odległości  $r$  między oddziaływującymi ładunkami, siła jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu tej odległości. Przypomnijmy też, o czym trzeba będzie pamiętać czytając dalsze rozważania, że zależność ta ma taki sam charakter w przypadku ładunków o symetrii sferycznej. Odległość  $r$  jest wtedy odległością pomiędzy środkami rozważanych sfer lub kul.

Umieścimy teraz ładunki  $q_1$  i  $q_2$  w małej odległości  $d$  od siebie i dodajmy trzeci ładunek,  $q_3 = q$ , umieszczając go na prostej łączącej ładunki  $q_1$  i  $q_2$  w odległości  $r \gg d$  od środka łączącego je odcinka.



Obliczmy siłę działającą na ładunek  $q_3$ . Ładunek ten jest odpychany przez mający ten sam znak ładunek  $q_1$  i jednocześnie przyciągany przez ładunek  $q_2$ . Siły te jednak nie równoważą się, bowiem odległości pomiędzy ładunkami  $q_3$  i  $q_1$  oraz  $q_3$  i  $q_2$  nie są identyczne: pierwsza z nich wynosi  $r + d/2$ , druga zaś  $r - d/2$ . Przeprowadźmy prosty rachunek.

Siła jaką ładunek  $q_1$  odpycha ładunek  $q_3$  wynosi:

$$F_{1,3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{\left(r + \frac{d}{2}\right)^2},$$

i jest mniejsza od siły, z jaką ładunek  $q_2$  go przyciąga:

$$F_{2,3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{\left(r - \frac{d}{2}\right)^2}.$$

Siła wypadkowa, z jaką ładunki  $q_1$  i  $q_2$  działają na ładunek  $q_3$ , jest więc siłą przyciągającą i wynosi:

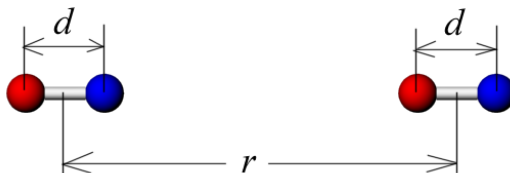
$$F_{(1,2),3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{\left(r - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{\left(r + \frac{d}{2}\right)^2}$$

Dla  $r \gg d$ , wyrażenia, które od siebie odejmujemy, różnią się niewiele. Okazuje się, że z dobrym przybliżeniem różnica ta dana jest wzorem:

$$F_{(1,2),3} \approx \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{q^2 d}{r^3} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{(qd)q}{r^3} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\mu q}{r^3}.$$

Wielkość  $\mu = qd$ , która pojawiła się w liczniku tego wyrażenia, nazywana jest **momentem dipolowym** pary ładunków  $q_1 = -q$  i  $q_2 = q$ , między którymi odległość  $d$  została ustalona. Jeśli spojrzymy na mianownik uzyskanego wyrażenia, zauważymy, że siła, z jaką dipol utworzony przez ładunki  $q_1$  i  $q_2$  działa na ładunek  $q_3$ , jest odwrotnie proporcjonalna do trzeciej potęgi odległości między nimi.

Przeprowadzony w podobny sposób rachunek wykazuje, że jeśli zamiast pojedynczego ładunku  $q_3$  zbliżyć do dipola, utworzonego przez ładunki  $q_1$  i  $q_2$ , drugi dipol, utworzony przez ładunki,  $q_3 = q$  i  $q_4 = -q$ , umieszczone podobnie, jak ładunki  $q_1$  i  $q_2$  w odległości  $d$  od siebie,



to siła oddziaływania pomiędzy tą parą dipoli wyniesie:

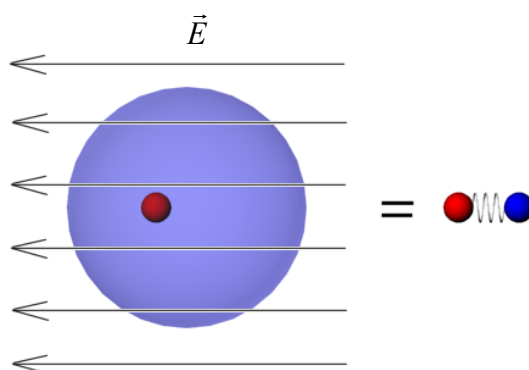
$$F_{(1,2),(3,4)} \approx \frac{3}{2\pi\epsilon_0} \frac{\mu^2}{r^4},$$

a więc okaże się odwrotnie proporcjonalna od czwartej potęgi odległości pomiędzy nimi. Jeśli oddziałujące dipole nie są identyczne, a więc na przykład odległość pomiędzy ładunkami  $q_3$  i  $q_4$  jest różna od odległości pomiędzy ładunkami  $q_1$  i  $q_2$ , to w liczniku powyższego wyrażenia pojawi się nie kwadrat momentu dipolowego, ale iloczyn momentów dipolowych poszczególnych par ładunków:

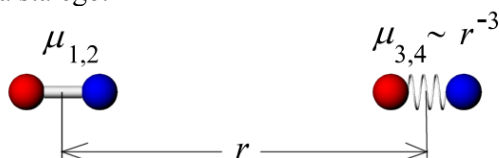
$$F_{(1,2),(3,4)} \approx \frac{3}{2\pi\epsilon_0} \frac{\mu_{(1,2)}\mu_{(3,4)}}{r^4}. \quad (*)$$

Istotne w przeprowadzonych wyżej rozważaniach jest, że oba dipole są dipolami stałymi, tzn. odległość pomiędzy tworzącymi je ładunkami jest stała. Tak jednak być nie musi, i tak nie jest, gdy rozsuniecie pary ładunków tworzących dipol następuje pod wpływem pola elektrycznego, w którym parę tę umieszczono. Z sytuacją taką mamy do czynienia, gdy obojętny atom, na przykład argonu, umieścimy w polu elektrycznym. Z punktu widzenia elektrodynamiki, atom taki jest układem dwóch ładunków: dodatniego, niemal punktowego, bowiem umieszczonego w małym jądrze, i ujemnego, rozmytych w sferyczną chmurę,

krażących wokół jądra elektronów. Środek sfery ładunku ujemnego pokrywa się z miejscem, w którym umieszczone jest jądro i struktura taka oglądana z zewnątrz jest elektrycznie obojętna. Jeśli jednak włożymy ją w pole elektryczne  $\vec{E}$ , ładunki ulegną przesunięciu i centrum ładunku ujemnego przestanie pokrywać się z centrum ładunku dodatniego: powstanie dipol indukowany, którego moment jest proporcjonalny do natężenia pola elektrycznego, w którym został umieszczony.



Załóżmy, że pole to wytwarzane jest przez inny, stały dipol elektryczny. Przeprowadzone wyżej rozważania wykazały, że pole to jest odwrotnie proporcjonalne do trzeciej potęgi odległości, w efekcie więc moment dipolowy dipola indukowanego będzie również odwrotnie proporcjonalny do trzeciej potęgi jego odległości od dipola stałego.



Mając w pamięci przeprowadzone wyżej rozważania, zastanówmy się nad zależnością siły oddziaływania pomiędzy dipolem stałym i indukowanym od odległości pomiędzy nimi. Spójrzmy na wyrażenie (\*) przyjmując, że moment dipolowy  $\mu_{(1,2)}$  jest stały, ale moment dipolowy  $\mu_{(3,4)}$  jest indukowany przez pole pierwszego dipola – moment  $\mu_{(3,4)}$  będzie więc proporcjonalny do odwrotności trzeciej potęgi odległości. W liczniku wyrażenia (\*) pojawia się odwrotność trzeciej potęgi odległości. Jeśli uwzględnimy mianownik, w którym odległość znajduje się w czwartej potędze, dojdziemy do końcowego wniosku, że **siła, z jaką dipol stały przyciąga drugi, indukowany przez niego dipol, jest odwrotnie proporcjonalna do siódmej potęgi odległości!** Tak silna zależność od odległości powoduje, że by siła ta była mierzalna, dipole te muszą znaleźć naprawdę bardzo blisko siebie.

Siła, której pochodzenie i zależność od odległości opisaliśmy wyżej, pojawia się zawsze, gdy jakieś atomy albo cząsteczki znajdują się blisko siebie. W najbardziej czystej postaci pojawia się, gdy inne oddziaływania między nimi są bardzo słabe. Z sytuacją taką mamy do czynienia w przypadku gazów szlachetnych, np. argonu. Atomy te, gdy znajdują się w swym pobliżu, przyciągają się siłą odwrotnie proporcjonalną do siódmej potęgi odległości.

Pojawia się jednak pytanie, które pominęliśmy rozważając oddziaływanie pomiędzy dipolem stałym i indukowanym: a skąd bierze się ten dipol stały? Przecież izolowany atom gazu szlachetnego nie jest dipolem. Odpowiedź brzmi: istotnie, izolowany atom nie jest dipolem, gdy oglądamy jego średni kształt w czasach rzędu sekundy, ale, gdy czas ten skrócimy do femtosekund, może wyglądać jak dipol. W tak krótkich odcinkach czasu atom traci wskutek fluktuacji kwantowych sferyczną symetrię swej chmury elektronowej i środki jego ładunków ujemnych i dodatnich ulegają spontanicznym rozsunięciu. Dipole utworzone w taki sposób nazywane są dipolami fluktuacyjnymi. Jak widzimy, pełna teoria opisanej przez nas siły pojawia się dopiero na gruncie mechaniki kwantowej. Twórcą tej teorii był Fritz London. Siła, o której mówimy, nazywana jest więc siłą Londona. To jedna z sił van der Waalsa, bo tak nazywane są wszystkie siły międzycząsteczkowe odwrotnie proporcjonalne do siódmej potęgi odległości. Siła Londona jest wśród nich wyjątkowa, bowiem obecna jest zawsze, bez względu na to, jaki charakter mają oddziałujące cząsteczki. To tylko jej istnienie może wyjaśnić przyciąganie dwóch atomów gazu szlachetnego. A że atomy gazów, które ulegają skropleniu, a więc i gazów szlachetnych, muszą się przyciągać, pierwszy zrozumiał van der Waals zastanawiając się nad mikroskopowymi przyczynami prawdziwości równania stanu, które odkrył. Równanie to, zwane równaniem van der Waalsa, opisuje, w przeciwieństwie do równania stanu gazu idealnego, również proces skraplania i fazę ciekłą. Gazy nie ulegałyby skropleniu, gdyby ich cząsteczki nie przyciągały się. Mówiąc dokładniej, gdyby siły, które między nimi działają, były wyłącznie odpychające, przechodziłyby przy wzroście ciśnienia bezpośrednio do fazy stałej. Pojawienie się fazy ciekłej to bezpośredni dowód na istnienie sił przyciągania. To właśnie zrozumiał van der Waals.

#### **4. Gekon w laboratorium**

Wróćmy do gekona. Ciekawe, jak wielka jest siła, z jaką łapki gekona przylegają do powierzchni, po której biega? Naukowcy badający przyleganie łapek gekona do różnych powierzchni wykonali doświadczenie, w którym jeden wypreparowany mikro-włosek został przyciśnięty swą nano-szczoteczką do powierzchni (wykonujący doświadczenie pamiętali, by, jak to czyni gekon, po przyciśnięciu szczoteczki do powierzchni miernika, lekko ją po niej przesunąć). Następnie, ciągnąc za włoszek, zmierzono siłę potrzebną do jego oderwania. Siła ta wyniosła około 200  $\mu\text{N}$ . Niewiele, ale jeśli siłę tę pomnożyć przez liczbę

nano-włosek znajdujących się na wszystkich paluszkach gekona, a liczba ta jest rzędu 2 milionów, otrzymamy imponującą wartość 400 N. Teoretycznie rzecz biorąc, gekon mógłby więc mieć masę 40 kg i dalej wisiałby sobie na suficie. Oczywiście, to tylko teoria. Nie wszystkie nano-włoski, którymi dysponuje gekon, wchodzi w kontakt z powierzchnią. Liczba tych, które to czynią, jest jednak zawsze wystarczająca, by gekon, którego masa nie przekracza 200 g, mógł swobodnie biegać po suficie, robiąc na nim gimnastyczne ewolucje, nawet wisząc przyczepiony do niej jedną tylko nogą.

Pozostaje odpowiedź na pytanie, które sobie zadałem, dostrzegając na wykonanym w Kalabrii zdjęciu wygięte w dół paluszki gekona. Po co on je, do licha, wygina? Odpowiedzi możemy się domyśleć sami bawiąc się taśmą klejącą. Zastanówmy się: jak ją odrywamy od powierzchni, do której się przykleiła? Ano, chwytamy za koniec i odciągamy go od powierzchni – taśma odkleja się kawałek po kawałku. Gekon ma ten sam problem. Przyklejony paluszek tak silnie przylega do powierzchni, że trudno jest go oderwać w całości. Wyginając swe paluszki, gekon odkleja je od powierzchni sufitu kawałek po kawałku. Zaczyna, oczywiście, od końca.

### 3. Dalsza lektura i wnioski praktyczne

Czytelników zainteresowanych szczegółami odsyłam do pracy K. Autumn, Y.A. Liang, M. Sitti, A.M. Peattie, W.R. Hansen, S. Sponberg, T. Kenny, R. Fearing, J.N. Israelachvili, R.J. Full *Evidence for van der Waals attachment by gecko foot-hairs inspires design of synthetic adhesive*. PNAS **99**, 12252 (2002). Interesujące jest rozszyfrowanie naukowych specjalności autorów tej pracy. Kellar Autumn jest biologiem, Ronald Fearing jest inżynierem elektrykiem, Jacob Israelachvili i Thomas Kenny są fizykami. Jak widać, dokonanie ciekawego odkrycia wymaga niekiedy współpracy naukowców o różnych specjalnościach. Opisanymi wyżej badaniami zainteresowali się inżynierowie-praktycy dochodząc do wniosku, że można je zastosować w praktyce wytwarzając suchą taśmę klejącą, której powierzchnia, zamiast kleju, pokryta byłaby nano-włoskami. Pomysł sprawdzono. Działa.



## Tomografia magnetyczno-rezonansowa<sup>1</sup>

Jadwiga Tritt-Goc

Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Poznań

### Wstęp

Od połowy lat osiemdziesiątych XX w. rezonans magnetyczny najczęściej kojarzony jest z medycyną, za sprawą tomografów, które trafiły do szpitali. Użytkowane dzięki nim obrazy tomograficzne różnych części ciała ludzkiego stanowią cenne narzędzie diagnostyczne w rękach lekarzy. Metoda tomografii magnetyczno-rezonansowej (TMR), zwana również tomografią rezonansu magnetycznego albo obrazowaniem metodą rezonansu magnetycznego (MRI, od angielskiej nazwy *magnetic resonance imaging*), jest już rutynowo stosowana na świecie i coraz częściej także w Polsce, jako nieinwazyjna metoda diagnostyczna [1–7]. Obecnie w naszym kraju zainstalowanych jest ponad sto tego typu tomografów.

Idea obrazowania metodą rezonansu magnetycznego sięga roku 1973, kiedy to niezależnie od siebie Paul Lauterbur [8] i Peter Mansfield [9] pokazali możliwość wykorzystania gradientów pola magnetycznego do odróżnienia sygnałów jądrowego rezonansu magnetycznego pochodzących z różnych miejsc badanej próbki. Dzięki temu możliwe stało się uzyskiwanie dwuwymiarowych lub trójwymiarowych obrazów tomograficznych badanej próbki w dowolnym przekroju. Od roku 1973 do dnia dzisiejszego obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego ciągle się rozwija. Metoda ta już nie tylko służy do obrazowania anatomii narządów, ale także do tworzenia obrazów przepływu krwi w tętnicach i żyłach bez użycia środków kontrastowych i promieniowania jonizującego, a także pozwala na lokalizację obszaru mózgu odpowiedzialnego za konkretną czynność, np. mówienie, słuchanie, oglądanie obrazów, rozwiązywanie problemów matematycznych itp. Pierwsza z tych metod zwana jest angiografią magnetyczno-rezonansową (MRA) [10, 11], a druga – funkcjonalną tomografią magnetyczno-rezonansową (fMRI) [12, 13]. Ciągłe ulepszanie samej techniki otrzymywania obrazów tomograficznych, a także ich opracowań komputerowych, prowadzi do uzyskiwania obrazów o coraz lepszej rozdzielczości przestrzennej (obecnie nawet  $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ ), lepszym stosunku sygnału do szumu i w coraz krótszym czasie. Dzięki temu obecnie tomografia MRI nie tylko jest powszechnie stosowaną metodą diagnostyczną w szpitalach, ale też

---

<sup>1</sup> Na podstawie wykładu wygłoszonego podczas XXXVIII Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie (wrzesień 2005) na sesji „Fizyka fazy skondensowanej”. Obszerniejszy tekst zamieszczony jest w *Postępiech Fizyki* 57/2006, zeszyt 4, str. 157.

jako tzw. mikrotomografia stała się bardzo przydatnym narzędziem w naukowych badaniach podstawowych. Najlepszym zaś dowodem ogromnej roli, jaką TMR odgrywa w życiu współczesnego człowieka, jest przyznanie jej twórcom, Lauterburowi i Mansfieldowi, Nagrody Nobla z medycyny w 2003 r.

### Podstawowe wiadomości o jądrowym rezonansie magnetycznym

Tomografia magnetyczno-rezonansowa opiera się na zjawisku jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR, ang. *nuclear magnetic resonance*), odkrytym w roku 1945 przez dwa niezależne zespoły badawcze: Blocha i Purcella [14, 15]. Wielkością fizyczną wykorzystywaną w NMR-ze jest spin i związany z nim jądrowy moment magnetyczny, zwany tu dalej momentem magnetycznym. Momenty magnetyczne jąder oddziałują z polem magnetycznym i właśnie to oddziaływanie stanowi istotę zjawiska NMR oraz dostarcza informacji o badanej próbce. Do obserwacji rezonansu wykorzystuje się dwa rodzaje pola magnetycznego: pole stałe o indukcji  $\mathbf{B}_0$  i zmienne pole  $\mathbf{B}_1$  o częstotliwości radiowej. Źródłem pola  $\mathbf{B}_0$  są magnesy, obecnie głównie nadprzewodnikowe, natomiast pole  $\mathbf{B}_1$  jest wytwarzane przez generator o częstotliwości radiowej zasilający cewkę indukcyjną będącą elementem obwodu rezonansowego. Aktualna technologia umożliwia konstrukcję magnesów nadprzewodnikowych, które wytwarzają pola o indukcji przekraczającej 20 tesli. Pole  $\mathbf{B}_1$  jest znacznie słabsze, rzędu  $10^{-5}$  T.

W stałym polu o indukcji  $\mathbf{B}_0$  spiny jądrowe i związane z nimi momenty magnetyczne  $\boldsymbol{\mu}$  wykonują precesję z częstotnością  $\omega_0$ , zwana częstotnością Larmora:

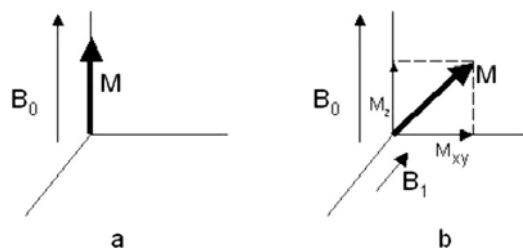
$$\omega_0 = \gamma B_0. \quad (1)$$

We wzorze (1)  $\gamma$  oznacza współczynnik giromagnetyczny, wielkość charakterystyczną dla danego jądra. W celu zaobserwowania NMR należy umieścić próbkę w dodatkowym, zmiennym polu  $\mathbf{B}_1$ , czyli – inaczej mówiąc – poddać próbkę działaniu fali elektromagnetycznej o częstotliwości radiowej. Gdy częstota tej fali jest równa lub prawie równa częstotliwości precesji momentów magnetycznych, określonej wzorem (1), występuje absorpcja promieniowania przez układ spinów badanej próbki. Efektem tej absorpcji jest właśnie sygnał NMR [16–18], którego amplituda jest proporcjonalna do wypadkowej magnetyzacji  $\mathbf{M}$ :

$$\mathbf{M} = \sum_{i=1}^N \frac{\boldsymbol{\mu}_i}{V}, \quad (2)$$

gdzie  $N$  oznacza liczbę spinów w badanej próbce, a  $V$  – jej objętość. Położenie magnetyzacji w stałym polu magnetycznym i pod wpływem impulsu pola o częstotliwości radiowej przedstawia rys. 1.





Rys. 1. Wypadkowa magnetyzacja  $M$ : a) w warunkach równowagi termodynamicznej skierowana jest wzdłuż kierunku stałego pola magnetycznego  $B_0$ , b) pod wpływem impulsu pola  $B_1$  następuje wychylenie magnetyzacji z położenia równowagowego i pojawiają się składowe magnetyzacji: podłużna  $M_z$  i poprzeczna  $M_{xy}$

Do obserwacji rezonansu można stosować metodę fali ciągłej albo – używane obecnie znacznie częściej – metody impulsowe. W metodzie fali ciągłej pole magnetyczne jest zmieniane liniowo wokół indukcji rezonansowej  $B_0$ , a pole  $B_1$  o częstotliwości radiowej działa na próbkę przez cały czas obserwacji. W metodach impulsowych pole magnetyczne jest stałe, a pole  $B_1$  ma postać impulsów. Najpowszechniej stosuje się impuls  $90^\circ$ , który obraca wypadkową magnetyzację o kąt prosty na płaszczyznę  $xy$  układu laboratoryjnego, lub impuls  $180^\circ$ , obracający magnetyzację o kąt półpełny na oś  $-z$ . W warunkach równowagi termodynamicznej (przed działaniem impulsu pola o częstotliwości radiowej, wywołującego rezonans) wypadkowa magnetyzacja skierowana jest wzdłuż osi  $z$  układu laboratoryjnego, który ma swój środek w izocentrum magnezu  $(x,y,z) = (0,0,0)$ . Wzdłuż tej osi działa również pole  $B_0$ .

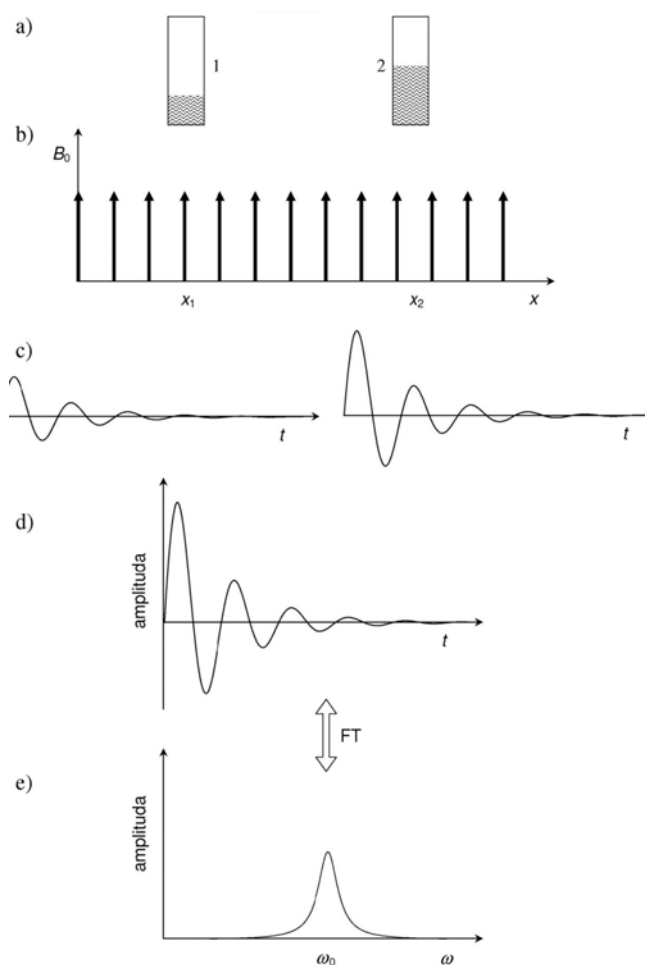
W klasycznej metodzie NMR rejestrowany sygnał rezonansowy pochodzi od wszystkich spinów jądrowych znajdujących się w badanej próbce, pobudzonych impulsem pola o częstotliwości radiowej. Najłatwiej rezonans obserwuje się dla jąder atomu wodoru, czyli protonów. W metodzie TMR, dzięki stosowaniu gradientów pola magnetycznego, rejestrowany sygnał rezonansowy pochodzi od spinów jądrowych znajdujących się w różnych miejscach badanej próbki. Dzięki temu uzyskujemy przestrzennie selektywne informacje o parametrach charakteryzujących próbkę.

### Doświadczenie Lauterburya

Ideę obrazowania metodą rezonansu magnetycznego chyba najlepiej przedstawić omawiając doświadczenie podobne do wykonanego w 1972 r. przez Lauterburya, który wykorzystał gradienty pola magnetycznego do odróżnienia sygnałów NMR pochodzących od dwóch próbek z wodą i otrzymał pierwszy dwuwymiarowy obraz tomograficzny tych próbek [8].

Przedmiotem modelowego doświadczenia są dwie próbki z wodą (rys. 2a), oznaczone odpowiednio 1 oraz 2, a rezonans jądrowy obserwujemy dla protonów. Objętość wody w próbce nr 2 jest dwukrotnie większa niż w pro-

bówce nr 1. Probówki, umieszczone w stałym, jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $\mathbf{B}_0$ , zajmują odpowiednio położenia  $x_1$  oraz  $x_2$  na osi  $x$ . Amplitudę  $\mathbf{B}_0$  wzdłuż tej osi przedstawiono na rys. 2b za pomocą wektorów.



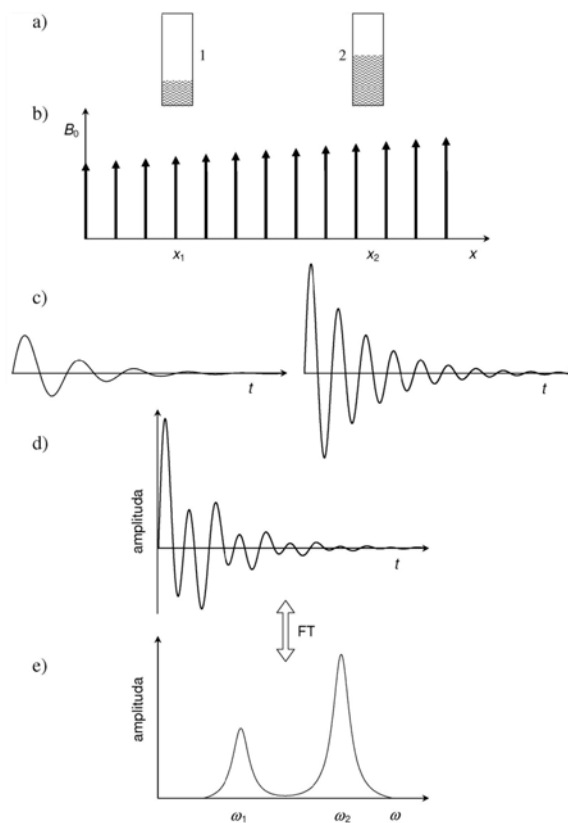
Rys. 2. Doświadczenie Lauterbura w stałym polu magnetycznym  $\mathbf{B}_0$ : a) probówki z wodą o różnym położeniu na osi  $x$ ; b) stałe pole magnetyczne  $\mathbf{B}_0$ ; c) sygnały NMR – krzywe FID dla obydwu próbek; d) obserwowany sygnał FID – interferogram sygnałów z obu próbek; e) transformata Fouriera (widmo NMR) wypadkowego sygnału FID

Zgodnie ze wzorem (1), częstotści  $\omega_1$  oraz  $\omega_2$  precesji protonów w obydwu próbkach są identyczne ( $\omega_1 = \omega_2 = \omega_0$ ), bo obydwie próbki, niezależnie od położenia, znajdują się w takim samym polu  $\mathbf{B}_0$ , a  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$  dla protonów. Odpowiedzią protonów na działanie impulsu pola  $\mathbf{B}_1$  o częstotści radiowej, spełniającego warunek rezonansu, jest sygnał rezonansowy, który nosi nazwę krzywej

indukcji swobodnej (FID, od ang. *free induction decay*). Na rysunku 2c przedstawiono sygnały FID emitowane przez badane próbki. Obydwa charakteryzują się tą samą częstotliwością, ale różną amplitudą. W próbce nr 2 znajduje się większa ilość wody, zatem podczas działania impulsu pola  $B_1$  próbka ta pochłania więcej promieniowania elektromagnetycznego i tym samym emituje większą ilość energii (wytwarza większe napięcie w cewce odbiorczej), czego wynikiem jest krzywa indukcji o większej amplitudzie. Amplituda sygnału FID zawiera więc informacje o liczbie spinów (w omawianym doświadczeniu – protonów) w badanej próbce. W realnym doświadczeniu obserwujemy krzywą FID, która jest superpozycją sygnałów rezonansowych emitowanych ze wszystkich położów wzdłuż osi  $x$ , w omawianym doświadczeniu –  $x_1$  oraz  $x_2$  (rys. 2d). Poddając tę krzywą transformacji Fouriera, otrzymujemy widmo rezonansu jądrowego

Dla omawianego przypadku jest ono złożone z jednego maksimum rezonansowego, którego położenie odpowiada częstotliwości  $\omega_0$  precesji protonów w polu  $B_0$ . Klasyczne doświadczenie NMR nie pozwala więc odróżnić sygnałów rezonansowych pochodzących od dwóch próbek z wodą. Podobnie wyglądałaby sytuacja dla większej liczby badanych próbek, pod warunkiem, że wszystkie znajdowałyby się w jednorodnym polu  $B_0$ .

Uzyskanie oddzielnych sygnałów rezonansowych pochodzących od każdej badanej próbki lub z różnych miejsc danej próbki jest możliwe dzięki **odpowiedniej modyfikacji statycznego pola magnetycznego**. W celu zrozumienia na czym polega ta modyfikacja, powtórzmy omówione doświadczenie, zmieniając trochę warunki jego przeprowadzenia. Próbki nr 1 i 2 umieszczone są teraz – jak mówimy w żargonie – w polu magnetycznym o liniowym gradiencie (rys. 3a) wytworzonym za pomocą specjalnych cewek, tzw. cewek gradientowych (rys. 3b). Dzięki takiej modyfikacji wartość indukcji  $B_0$  w punkcie  $x_1$  jest mniejsza niż w punkcie  $x_2$ , a to oznacza, że protony w  $x_1$  wykonują precesję z częstotliwością Larmora mniejszą niż w  $x_2$ . Emitowane przez próbki sygnały przedstawiono na rys. 3c. Sygnały mają różną amplitudę, jak na rys. 2c, ale też i różną częstotliwość. Częstotliwość sygnału pochodzącego od próbki nr 1 jest mniejsza od częstotliwości sygnału z próbki nr 2, bo  $B_0(x_1) < B_0(x_2)$ . W ten sposób częstotliwość sygnału rezonansowego staje się związana z położeniem próbki na osi  $x$ . Znajomość częstotliwości oznacza informację o miejscu, z którego pochodzi sygnał rezonansowy. Podobnie jak w doświadczeniu przedstawionym na rys. 2, amplituda sygnału FID zawiera informacje o gęstości spinów w badanych próbkach. Rzeczywista krzywa indukcji swobodnej (rys. 3d) jest superpozycją sygnałów FID z rys. 3c. Transformacja Fouriera tej krzywej prowadzi do widma przedstawionego na rys. 3e. Tak więc zastosowanie gradientu pola magnetycznego umożliwia uzyskanie oddzielnych widm rezonansowych dla dwóch próbek z wodą, umieszczonych w tym samym magniesie wytwarzającym pole o stałym kierunku. Omówione doświadczenie pokazuje ideę otrzymywania obrazów tomograficznych dowolnych obiektów zawierających spiny jądrowe.



Rys. 3. Doświadczenie Lauterbura w polu magnetycznym  $B_0$  modyfikowanym przez gradient: a) probówki z wodą; b) zmiana  $B_0$  na skutek działania gradientu wzdłuż osi  $x$ ; c) sygnały NMR – krzywe FID dla obydwu próbek; d) obserwowany sygnał FID – interferogram sygnałów z obu próbek; e) transformata Fouriera (widmo NMR) wypadkowego sygnału FID

### Powstawanie obrazu tomograficznego

W obrazowaniu metodą rezonansu magnetycznego badaną wielkością jest magnetyzacja jądrowa w jednostkowej objętości badanej próbki (tzw. woksela). Celem metody jest rejestracja sygnałów NMR z tych elementów objętości, a realizacja metody polega na modyfikacji pola  $B_0$  za pomocą pól magnetycznych wytwarzanych przez cewki gradientowe. W ten sposób wprowadza się zależność częstości rezonansowej spinów jądrowych od ich położenia. Do wytwarzania pożądanego zmiany pola  $B_0$  wzdłuż określonego kierunku służą cewki gradientowe. Zwykle jest to układ trzech wzajemnie prostopadłych cewek, każda dla jednego z kierunków  $x$ ,  $y$  lub  $z$ . Zgodnie z ogólnie przyjętą umową, pole  $B_0$  działa wzdłuż osi  $z$  tego układu, a słabe pole  $B_1$  o częstości radiowej przykładamy prostopadle do pola  $B_0$ . W takim przypadku wypadkowe pole statyczne działające na próbkę w kierunku  $z$  ma wartość

$$\mathbf{B} = B_0 + \mathbf{G} \cdot \mathbf{r}, \quad (3)$$

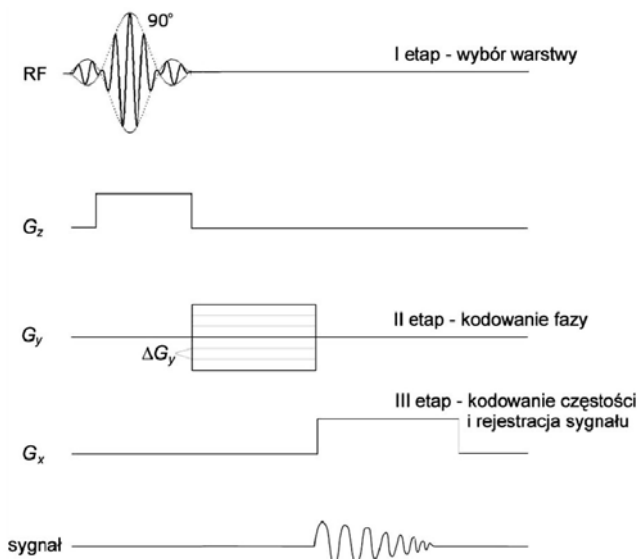
gdzie wektor  $\mathbf{r}$  charakteryzuje określone miejsce w objętości próbki, a  $\mathbf{G} = [G_x, G_y, G_z]$  jest gradientem modyfikującym pole  $\mathbf{B}_0$ . W standardowym doświadczeniu TMR składowe gradientu pola magnetycznego są stałe, a jego maksymalna wartość nie przekracza  $0,01 B_0$ . W obecności gradientów pola, częstość rezonansowa wykonujących precesję momentów magnetycznych zależy od położenia w próbce, a wzór Larmora (1) przyjmuje postać

$$\omega(x,y,z) = (B_0 + G_x x + G_y y + G_z z). \quad (4)$$

Wzór (4) opisujący liniową zależność częstości od położenia jest podstawą tomografii magnetyczno-rezonansowej. Jest on prawdziwy tylko wtedy, gdy układ współrzędnych gradientowych jest równoległy do układu laboratoryjnego  $(x,y,z)$ , w którym wzdłuż osi  $z$  działa pole  $\mathbf{B}_0$ .

Jeśli do obrazowania badanego obiektu wykorzystamy tylko gradient w jednym kierunku, to uzyskamy obraz jednowymiarowy, tzn. profil będący rzutem gęstości spinów na kierunek, w którym przyłożony został gradient. Profil odzwierciedla kształt badanego obiektu. Aby uzyskać tomograficzny obraz dwu- lub trójwymiarowy, gradienty  $\mathbf{B}_0$  należy przyłożyć odpowiednio w dwóch lub trzech kierunkach.

Na rysunku 4 przedstawiono uproszczony diagram sekwencji impulsów do dwuwymiarowego obrazowania tomograficznego z wykorzystaniem transformacji Fouriera.



Rys. 4. Sekwencja impulsów wykorzystywana do uzyskania dwuwymiarowego obrazu tomograficznego

Zachowanie się układu spinów w badanej próbce pod wpływem działania impulsów w przedstawionej sekwencji jest następujące.

*I etap: wybór warstwy*

Uzyskiwany w metodzie TMR obraz tomograficzny przedstawia najczęściej nie całą badaną próbkę, ale tylko pewną jej warstwę. W celu wybrania tej warstwy, układ spinów jądrowych poddajemy równoczesnemu działaniu impulsu pola o częstotliwości radiowej i gradientu  $\mathbf{B}_0$ . Gradient działa wzdłuż osi prostopadłej do warstwy, którą chcemy wybrać z badanej próbki. Jeżeli np. próbkę umieścimy w cewce wytwarzającej pole i warstwa, którą chcemy obrazować, jest prostopadła do osi  $z$  układu laboratoryjnego związanego z magnesem, to gradient należy przyłożyć wzdłuż osi  $z$ . Jest to tzw. gradient wyboru warstwy, często oznaczany symbolem  $G_z$ . Gradient  $G_z$  wprowadza liniową zależność częstości precesji spinów od ich położenia wzdłuż osi  $z$  w całej badanej próbce. Działający na próbkę, równocześnie z gradientem  $G_z$ , impuls pola  $\mathbf{B}_1$  nie jest monochromatyczny – jego widmo zawiera pewien przedział częstości rozłożony symetrycznie wokół częstości rezonansowej  $\omega_0$ . Impuls pola  $\mathbf{B}_1$  wywoła rezonans tylko dla tych spinów położonych wzdłuż osi  $z$  (wzdłuż tej osi działa gradient  $G_z$ ), których częstości Larmora wywołane gradientem pola  $\mathbf{B}_0$  odpowiadają częstościom występującym w widmie częstości impulsu. Mimo że gradient wprowadza zależność częstości od położenia wzdłuż osi  $z$  w całej próbce, to dzięki temu, że przykładowy impuls  $\mathbf{B}_1$  ma określoną szerokość widmową, momenty magnetyczne spinów jądrowych zostają wychylone z położenia równowagi tylko w określonej warstwie badanej próbki.

Grubość warstwy wybranej wskutek równoczesnego działania na próbkę gradientu  $G_z$  i impulsu pola o częstotliwości radiowej określa wzór

$$d = \frac{\Delta\omega}{\gamma G_z}, \quad (5)$$

gdzie  $\Delta\omega$  oznacza szerokość widmową impulsu radiowego. Po dokonaniu wyboru obrazowanej warstwy, impuls  $\mathbf{B}_1$  i gradient zostają wyłączone.

Następnym celem jest uzyskanie informacji o obrazie wybranej warstwy – o wartości amplitudy i fazie sygnału rezonansu jądrowego, pochodzącego z różnych miejsc w warstwie. Do uzyskania tej informacji wykorzystuje się dwa procesy, zwane odpowiednio procesem kodowania fazy i procesem kodowania częstości, które polegają na przyłożeniu gradientów wzdłuż kierunków głównych obrazowanej warstwy.

*II etap: kodowanie fazy*

Spiny jądrowe w obrazowanej warstwie zostają poddane działaniu gradientu o określonej wartości, który powoduje systematyczną zmianę fazy rejestrowanego sygnału NMR. To właśnie w fazie sygnału zachowywane są informacje

o położeniu pikseli (najmniejszych elementów obrazowanej warstwy w przestrzeni dwuwymiarowej) wzdłuż kierunku działania gradientu (proces kodowania fazy). Przyjęto umowę, że ów gradient kodowania fazy  $G_y$ , przykłada się wzdłuż osi  $y$  układu współrzędnych  $x,y,z$ , który ma swój środek w izocentrum magnesu  $(x,y,z) = (0,0,0)$ . Przypomnijmy, że wzdłuż osi  $z$  tego układu działa gradient wyboru warstwy  $G_z$  i że jest to kierunek pola  $B_0$ . Kierunki główne warstwy pokrywają się z kierunkami  $x,y$  tego układu. Gradient kodowania fazy  $G_y$  (rys. 4) wprowadza zależność fazy  $\phi_y$  wektora magnetyzacji poprzecznej (tzn. składowej magnetyzacji wychylonej z położenia równoległego do kierunku statycznego pola  $B_0$  wskutek działania impulsu pola o częstotliwości radiowej) od położenia w kierunku głównym  $y$  obrazowanej warstwy:

$$\phi_y = (B_0 + yG_y)t_y, \quad (6)$$

gdzie  $t_y$  oznacza czas trwania (działania) gradientu  $G_y$ . Zmianę fazy można uzyskać zmieniając czas działania gradientu  $G_y$ , przy stałej jego amplitudzie, albo – tak jak w sekwencji impulsów pokazanej na rys. 4 (ang. *spin-warp*) – zmieniając amplitudę gradientu  $G_y$  w równych odstępach, od maksimum do minimum. Rozdzielczość obrazu tomograficznego w kierunku osi  $y$  określa wzór

$$\Delta y = \frac{F_y}{N_y} = \frac{\pi}{\gamma G_y t_y}, \quad (7)$$

gdzie  $N_y$  jest liczbą różnych wartości przyłożonego gradientu  $G_y$ , a pole widzenia  $F_y$  zależy od rozmiaru próbki w kierunku osi  $y$ .

Po zadziałaniu gradientu  $G_y$  i jego wyłączeniu następuje realizacja III etapu sekwencji przedstawionej na rys. 4 – etapu kodowania częstotliwości i rejestracji sygnału NMR.

### *III etap: kodowanie częstotliwości i rejestracja sygnału NMR*

Gradient przykładany wzdłuż drugiego kierunku głównego  $x$  obrazowanej warstwy wprowadza zależność częstotliwości precesji momentów magnetycznych od położenia w tym kierunku, zgodnie ze wzorem

$$\omega_x = (B_0 + xG_x), \quad (8)$$

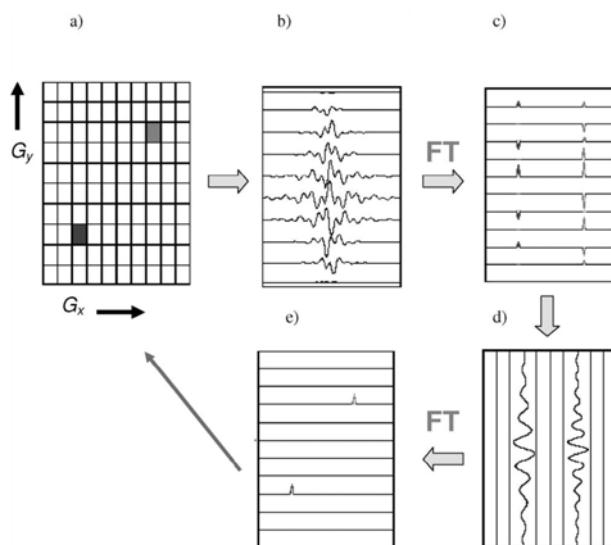
i nosi nazwę gradientu kodowania częstotliwości  $G_x$  lub gradientu odczytu, ponieważ podczas jego działania następuje rejestracja sygnału rezonansu jądrowego. Rozdzielczość obrazu tomograficznego w kierunku osi  $x$  określa wzór

$$\Delta x = \frac{F_x}{N_x} = \frac{1}{\gamma G_x t}, \quad (9)$$



gdzie  $N_x$  oznacza liczbę próbkowanych punktów krzywej indukcji swobodnej (albo echa spinowego),  $t$  – czas próbkowania sygnału, a pole widzenia  $F_x$  zależy od rozmiaru próbki w kierunku osi  $x$ .

Sekwencja impulsów przedstawiona na rys. 4 i opisana powyżej jest powtarzana zazwyczaj 128, 256 albo 512 razy. Czas między powtórzeniami sekwencji to tzw. czas repetycji  $T_R$ . Przy każdym powtórzeniu sekwencji zmienia się amplituda gradientu kodowania fazy  $G_y$ , natomiast amplituda gradientu kodowania częstości  $G_x$  ma wartość stałą. Uzyskane sygnały NMR, np. krzywe FID albo sygnały echa spinowego, poddaje się następnie podwójnej transformacji Fouriera: najpierw w kierunku kodowania częstości (kierunek  $x$ ), a potem w kierunku kodowania fazy (kierunek  $y$ ). W celu opisu tej procedury rozważmy obrazowaną warstwę, dla prostoty przyjmując, że tylko w dwóch pikselach tej warstwy znajdują się protony, których momenty magnetyczne dają wkład do wypadkowej magnetyzacji w danym pikselu (rys. 5a). Dla każdej wartości gradientu  $G_y$  rejestruje się podczas działania gradientu  $G_x$  sygnał echa spinowego, który dla omawianego przypadku dwóch pikseli jest interferogramem złożonym z dwóch częstości (rys. 5b).



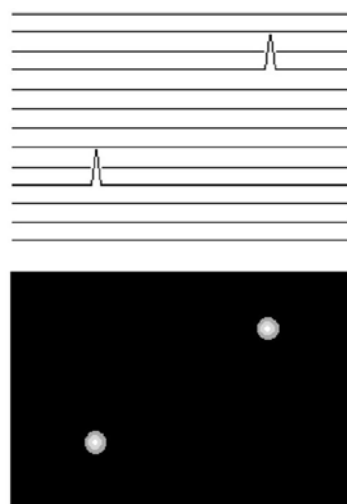
Rys. 5. Schemat powstawania obrazu tomograficznego

Na tym samym rysunku można również dostrzec dwie częstości oscylacji w kierunku kodowania fazy. Dane w domenie czasowej i fazowej nazywane są często danymi nieprzetworzonymi. Są one identyczne, jeśli chodzi o częstość, czyli w domenie czasowej (oś  $x$ ), ale różnią się fazą (oś  $y$ ). Dane te poddaje się najpierw transformacji Fouriera w kierunku kodowania częstości. Otrzymuje się dwie serie maksimów o częstościach odpowiadających położeniu pikseli ze

spinami na osi  $x$  (rys. 5c). Ich amplituda oscyluje w kierunku kodowania fazy, co widać lepiej, gdy zmienimy kierunek patrzenia na wyniki (rys. 5d). Następnie dokonujemy transformacji Fouriera w kierunku kodowania fazy i otrzymujemy dwa maksima, których położenia odpowiadają położeniom dwóch pikseli ze spinami w obrazowanej warstwie (rys. 5e).

Wyniki podwójnej transformacji Fouriera są przedstawiane jako obraz tomograficzny poprzez zamianę natężenia maksimów rezonansowych na intensywność pikseli w obrazie (rys. 6), który najczęściej jest wyświetlany z 256 odcieniami szarości. Sygnałowi o maksymalnej amplitudzie przypisuje się liczbę 255 (biel), o minimalnej – liczbę 0 (czerni), a wszelkie inne wartości amplitudy sygnału są zawarte między stopniami 0 a 255.

W celu uzyskania trójwymiarowego obrazu tomograficznego należy w sekwencji przedstawionej na rys. 4 zamiast gradientu wyboru warstwy przyłożyć gradient kodowania fazy również w kierunku osi  $z$ .



Rys. 6. Obraz tomograficzny powstaje w wyniku zamiany w odpowiedni sposób amplitudy sygnałów NMR rejestrowanych dla poszczególnych pikseli obrazowanej warstwy (lub całej badanej próbki) na odcienie szarości

### Czy diagnostyka TMR jest bezpieczna dla człowieka?

W tomografii rezonansu magnetycznego wykorzystuje się stałe pole magnetyczne, pole o częstotliwości radiowej i pola gradientowe. Wszystkie te pola mogą niekorzystnie wpływać na człowieka poddanego ich działaniu podczas obrazowania. W silnych polach magnetycznych następuje porządkowanie się białek i lipidów w błonach komórkowych, a to może prowadzić do zakłóceń naturalnych funkcji tkanek. Głównym skutkiem działania pola o częstotliwości radiowej jest nagrzewanie się tkanek. Natomiast składowa zmienna pola magnetycznego indukuje w przewodnikach, a więc i w ciele człowieka prądy, co prowadzi do polaryzacji błon. Poza zjawiskami natury elektrycznej, zmienne pole magnetyczne wywołuje deformacje mechaniczne, które są przyczyną znanych od dawna efektów odczuwanych przez pacjentów jako wrażenia optyczne.

Mimo potencjalnych negatywnych skutków działania pól magnetycznych na człowieka uważa się, że metoda TMR jest metodą bezpieczną i nieinwazyjną. Wyznaczono bowiem ściśle określone graniczne wartości pól dopuszczalne w diagnostyce szpitalnej. Są one nieco różne w Europie i Stanach Zjednoczonych, jak pokazuje tabela 1. W ostatnich latach w USA dopuszczono do wykorzystania w badaniach klinicznych magnesy wytwarzające stałe pola magnetyczne o indukcji nawet 8 T. Ze wzrostem  $B_0$  rośnie stosunek sygnału do szumu, co jest bardzo istotne w stosowaniu metody MRA oraz fMRI.

Tabela 1. Dozwolone wartości pól w tomografii rezonansu magnetycznego wykorzystywanej w diagnostyce szpitalnej

Typ pola, wielkość fizyczna	W. Brytania <sup>a</sup>	USA <sup>b</sup>
Statyczne pole magnetyczne, indukcja $B_0$	4,0 T	8,0 T
Szybkość zmian pola magnetycznego $dB_0/dt$	20 T/s (czas narastania > 3 ms)	niesprawiająca bólu, dyskomfortu i podrażnienia
Pochłonięta energia pola o częstotliwości radiowej	2,0 W/kg (całe ciało, w czasie > 30 min)	4,0 W/kg (całe ciało, w czasie $\geq$ 15 min)

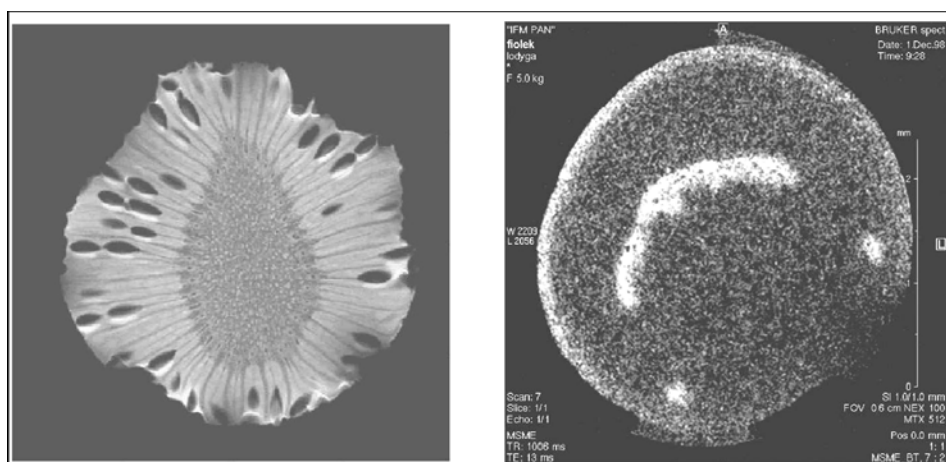
<sup>a</sup> Dane z 2002 r. zatwierdzone przez Narodową Radę Ochrony Radiologicznej

<sup>b</sup> Dane z 2003 r. zatwierdzone przez Departament Żywności i Leków

### Przykładowe obrazy tomograficzne

Pracownia Mikroobrazowania NMR Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu wyposażona jest w spektrometr jądrowego rezonansu magnetycznego AVANCE firmy Bruker z układem cewek gradientowych i głowicą do mikroobrazowania. Tym samym spektrometr jest tomografem, dzięki któremu możemy uzyskiwać obrazy, stosując metodę TMR. Magnes nadprzewodnikowy wytwarza stałe pole magnetyczne o indukcji 7,1 T. Częstość precesji protonów w tym polu wynosi 300 MHz. Głowica do mikroobrazowania ma wymienne cewki nadawczo-odbiorcze o średnicy 5, 10, 15 oraz 25 mm. Maksymalna wartość gradientów wynosi 1 T/m. Tomograf jest sterowany przez stację graficzną Silicon Graphics wyposażoną w specjalistyczne programy XWIN-NMR 2.6 i Para Vision 2.1. Ten ostatni umożliwia uzyskiwanie obrazów tomograficznych przy użyciu standardowych sekwencji impulsów, np. echa spinowego czy gradientowego, jak też sekwencji impulsów służących do obrazowania ciał stałych metodą SPI (ang. *single point imaging*).

Na rysunku 7 przedstawiono obrazy tomograficzne, w przekroju poprzecznym, owocu kiwi i łądzy fiołka afrykańskiego. W obydwu przypadkach obrazowano warstwę o grubości 2 mm, a rozdzielczość w płaszczyźnie wynosiła: dla kiwi  $49 \mu\text{m} \times 49 \mu\text{m}$ , a dla łądzy fiołka  $11 \mu\text{m} \times 11 \mu\text{m}$ . Rozdzielczość ta była wystarczająca do odtworzenia wnętrza badanych obiektów, np. pestek w owocu kiwi czy „kanałów wodnych” w łądzy fiołka, a nawet jego struktury komórkowej. Stosowano sekwencję impulsów przedstawioną na rys. 4. Podsumowując, można powiedzieć, że tomograf rezonansu magnetycznego to taki szczególny aparat fotograficzny do uzyskiwania obrazów wnętrza badanych obiektów w sposób nieinwazyjny, bez konieczności ich specjalnego przygotowania.



Rys. 7. Obrazy tomograficzne owocu kiwi (z lewej, zob. też ilustrację na okładce) i łądzy fiołka afrykańskiego, uzyskane przy zastosowaniu sekwencji impulsów przedstawionej na rys. 4 z rozdzielczością równą  $49 \mu\text{m} \times 49 \mu\text{m}$  dla kiwi,  $11 \mu\text{m} \times 11 \mu\text{m}$  dla łądzy fiołka

#### Literatura

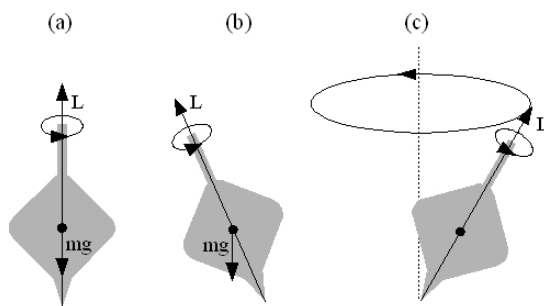
- [1] P.T. Callaghan, *Principles of Nuclear Magnetic Resonance Microscopy* (Oxford Science Publications, New York 1991).
- [2] J.W. Hennel, T. Kryst-Widzowska, *Na czym polega tomografia magnetyczno-rezonansowa? Zasada i przykłady zastosowań w medycynie* (Wyd. Instytutu Fizyki Jądrowej, Kraków 1995).
- [3] J.W. Hennel, *Podstawy teoretyczne tomografii magnetyczno-rezonansowej* (Wyd. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1999).
- [4] B. Gonet, *Obrazowanie magnetyczno-rezonansowe* (Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 1997).
- [5] J. Walecki, A. Ziemiański, *Rezonans magnetyczny i tomografia komputerowa w praktyce klinicznej* (Springer-PWN, Warszawa 1997).
- [6] B. Blümich, *NMR Imaging of Materials* (Oxford Science Publications, New York 2000).
- [7] J. Tritt-Goc, *Wprowadzenie do tomografii magnetyczno-rezonansowej* (Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań 2003).

- [8] P.C. Lauterbur, *Nature* **242**, 190 (1973).
- [9] P. Mansfield, P.K. Grannell, *J. Phys. C: Solid State Phys.* **6**, L422 (1973).
- [10] H. Jara, B.C. Yu, S.D. Caruthers, *Magnetic Res. Med.* **41**, 575 (1999).
- [11] M. Stuber, R.M. Botnar, P.G. Danias, *J. Am. Coll. Cardiol.* **34**, 524 (1999).
- [12] P.C. van Zijl i in., *Nat. Med.* **4**, 159 (1998).
- [13] T. Yamano, *Phys. Rev. A* **63**, 46 (2001).
- [14] F. Bloch, *Phys. Rev.* **70**, 460 (1946).
- [15] E.M. Purcell, H.C. Torrey, R.V. Pound, *Phys. Rev.* **69**, 37 (1946).
- [16] A. Abragam, *Principle of Nuclear Magnetism* (Oxford Science Publications, New York 1961).
- [17] C.P. Slichter, *Principle of Magnetic Resonance* (Harper and Row Publishers, New York 1963).
- [18] J.W. Hennel, *Wstęp do teorii magnetycznego rezonansu jądrowego*, wyd. II, Wydawnictwo Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie, Kraków 1997.

Przykłady obrazowania różnych części ciała zamieszczamy na tylnej stronie okładki.

#### Precesja

Wirujące wokół własnej osi ciało posiada kręt, czyli moment pędu  $\vec{L}$  skierowany zgodnie z osią obrotu. Zgodnie z zasadą zachowania momentu pędu, wektor  $\vec{L}$  nie ulega zmianie dopóki na ciało nie działa moment siły, posiadający składową prostopadłą do wektora momentu pędu. Jeśli ciało zostanie poddane działaniu takiego prostopadłego momentu siły, to wówczas oś obrotu zaczyna wykonywać ruch zwany **precesją**. W czasie precesji, wektor krętu, zachowując swoją wartość, zakreśla powierzchnię boczną stożka o wierzchołku w punkcie podparcia.



Rys. (a) bąk wirujący pionowo – moment siły ciężkości względem punktu podparcia jest równy zero, (b) bąk wirujący z osią odchyloną od pionu – moment siły ciężkości jest różny od zera i skierowany prostopadle do płaszczyzny rysunku, (c) ruch precesyjny wektora momentu pędu – oś obrotu zakreśla powierzchnię boczną stożka



## Dlaczego wymyślono karwing?

*Grażyna Siemieniec-Oziębło  
Obserwatorium Astronomiczne UJ*

W przypadku karwingu trudno powiedzieć, że potrzeba była matką wynalazku. Technika klasyczna (równoległa) bardzo dobrze sprawdzała się przez ostatnie kilkadziesiąt lat zarówno w narciarstwie sportowym jak i rekreacyjnym.

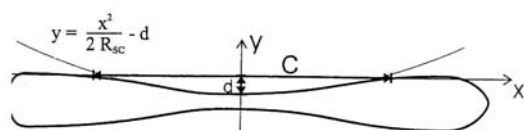
Bodźcem rozwoju w zakresie technik narciarskich stał się popularny wśród młodzieży snowboard. Atrakcyjność tej techniki, pomijając względy ideologiczne, związana jest z ciasnymi, ciętymi skrętami, którym towarzyszą radykalnie duże pochylenia. Dostarczyło to pomysłu na modyfikację techniki narciarskiej polegającej, podobnie jak w snowboardzie, na jeździe na krawędziach nart. Skręt karwingowy (cięty) „wycinany” jest przez krawędzie nart.

W skali kilku lat technika ta zyskała wielu zwolenników. Można chyba stwierdzić, że wprowadzenie jej ma charakter procesu ewolucyjnego. Niezbyt pospiesznego (przez pewne środowiska narciarskie, a zwłaszcza przez FIS, przyjęta wręcz z dużymi oporami), ale którego walory sprowadzają się głównie do łatwego przystosowania techniki zarówno w narciarstwie amatorskim jak i sportowym. Równoczesne z samą zmianą techniki skrętu było wdrożenie do masowego użycia zmienionych konstrukcyjnie nart.

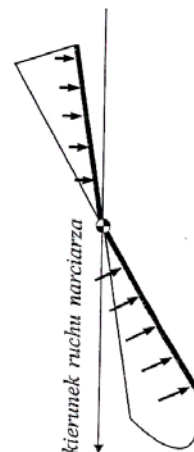
### **Narty, które same skręcają**

Modernizacja nart polegała na zmianie zarówno ich geometrii, technologii jak i materiału używanego do konstrukcji. Dzięki tym zmianom narty karwingowe posiadają charakterystyczne cechy, które pozwalają im skręcać samoistnie. Decyduje o tym linia boczna narty oraz jej podłużna i poprzeczna sztywność.

Tradycyjne narty miały prawie prostoliniowy kształt krawędzi. Krawędzie nart karwingowych charakteryzują się tzw. taliowaniem (rys. 1). Rozmiar ich boczno wycięcia to najważniejszy parametr konstrukcyjny. Jego głębokość określa promień wycięcia, typowo rzędu kilkunastu metrów (np. narty przeznaczone do slalomu mają promień w zakresie 11–14 m). Taka geometria umożliwia ustawienie wygiętej narty na krawędzi. Za jej podłużne ugięcie odpowiada, zmniejszona w stosunku do narty klasycznej, sztywność. Pozwala to łatwiej ją wyginać, dopasowując do planowanego promienia skrętu (rys. 2 i 7). Z kolei zdecydowanie zwiększona sztywność poprzeczna decyduje o skutecznym wciśnięciu narty w śnieg na całej długości krawędzi, tj. udaremnia wypłaszczenie tyłów lub dziobów nart.



Rys. 1. Widok narty z góry



Rys. 2. Siła reakcji śniegu działająca na ugiętą, zakrawędziowaną nartę

Dodatkowo, długość nart karwingowych jest mniejsza od ich klasycznych odpowiedników. To również pomaga w utrzymaniu cylindrycznej powierzchni zakrawędziowanych ślizgów.

#### Co wywołuje skręt?

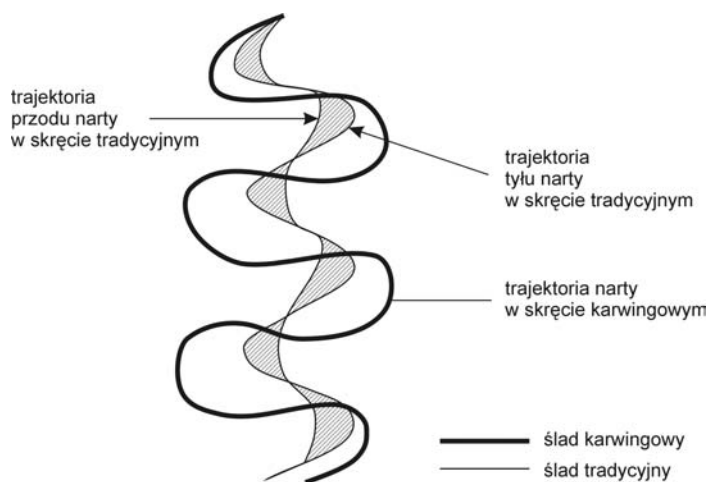
Skręty na nartach wykonujemy wykorzystując moment sił zewnętrznych działających na nartę. Powodem jest siła reakcji śniegu (opór boczny), która jest prostopadła do krawędzi nart. To ona – a ściślej, jej składowa prostopadła do kierunku pędu – umożliwia zmianę kierunku ruchu

W tradycyjnej technice, wywołanie skrętu na płaskich odciążonych nartach następuje w wyniku impulsu rotacyjnego. Niezerowy moment siły wywołany pochyleniem do przodu z jednoczesnym „pchnięciem” tyłów nart na zewnątrz skrętu pociąga za sobą obrót narty. Sytuacja jest nieco inna w przypadku skrętu karwingowego. Skręcenie nart związane z pojawieniem się momentu sił wywołane jest samą geometrią nart. Narta ułożona na wygiętej w łuk krawędzi (rys. 2) odczuwa mniejszy opór ślizgając się wzdłuż linii kontaktu ze śniegiem niż wzdłuż swojej osi. W wyciętym rowku inicjuje skręt. Ten wymuszony ruch po łuku przypomina ruch kulki po cylindrycznej powierzchni szklanki. Podobnie jak powierzchnia walca na kulkę, śnieg wywiera siłę reakcji na nartę powodując zmianę jej kierunku. W tym sensie mówimy, że narta samoistnie skręca.

Te wszystkie cechy powodują, że zakrawędziwana narta w trakcie ruchu do przodu sama skręca. Rysunek 2 schematycznie pokazuje boczną linię (linia pogrubiona to wygięta krawędź) zakrawędziwanej narty. Śnieg wywiera większą siłę reakcji (prostopadle do krawędzi) na przednią część narty niż na tylną, co powoduje, że narta obraca się wokół swojego środka ciężkości podczas ru-



chu w przód. Im linia boczna ma mniejszy promień wycięcia, tym samosterowność narty jest większa. Impuls skrętny wywołany ugiętą i zakrawędziowaną nartą inicjuje skręt karwingowy. W porównaniu ze skrętem klasycznym, którego istotnym elementem jest zepchnięcie-ślizg płasko ustawionych tyłów nart na zewnątrz skrętu, skręt cięty odbywa się z definicji bez ześlizgu. Linia kontaktu narty z ziemią rysuje łuk okręgu. Oznacza to, że każdy punkt krawędzi narty przechodzi przez to samo miejsce, tj. śledzi tę samą trajektorię. Natomiast w technice tradycyjnej przód narty ma trajektorię ciaśniejszą niż tył. Tutaj, w każdej chwili promień skrętu korygowany jest przez rotacyjny ruch pięt prowadzący do ześlizgu. Różnice w obu typach śladów dobrze widać na rys. 3.



Rys. 3. Porównanie śladów skrętu karwingowego i ślizgowego

Reasumując, modernizacja nart umożliwiła nie tylko skuteczne krawędziowanie i w konsekwencji samoprowadzenie nart, ale również ich dużą sprężystość i zwrotność. Z praktycznego punktu widzenia, jasne stają się powody, dla których karwing staje się dominującą techniką narciarską, redukując jednocześnie czas wykonania skrętu (brak ześlizgu) jak i wyraźnie dynamizując jazdę (oddana energia sprężystości nart). W konsekwencji odpowiada za łatwość i skuteczność wykonanego skrętu.

### Fizyka karwingu

Skąd bierze się ta łatwość ciętego skrętu i co determinuje fakt, że nowa technika jest bardziej korzystna zarówno w edukacji i umasowieniu dyscypliny jak i sportowych osiągnięciach zawodników? Tu wyjaśnienia dostarcza elementarna fizyka.

Poniżej przedstawimy schemat rachunku prowadzącego do wyrażenia pokazującego zależność między podstawowymi zmiennymi „opisującymi” narciar-

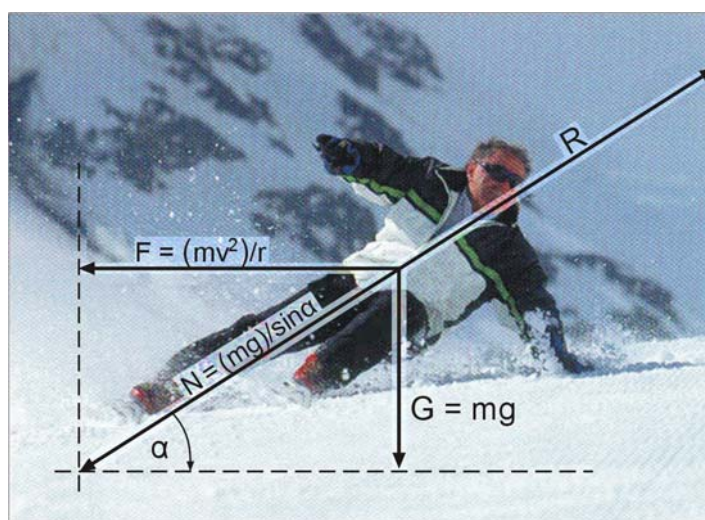
ski skręt. Do opisu poruszającego się po łuku narciarza użyjemy bardzo prostego modelu statycznego. Zanedbujemy tym samym zarówno opór aerodynamiczny jak i siły dynamicznego tarcia wzdłuż trajektorii ruchu. Rozważmy zatem siły, które działają na narciarza w skręcie, zapewniając mu stabilność. Dla uproszczenia, ograniczymy się do płaszczyzny prostopadłej do toru ruchu, tj. zakładamy, że trajektoria narciarza jest horyzontalna. Zgodnie z rys. 4, w układzie związanym z poruszającym się narciarzem, wypadkowa siła  $N$  (będąca sumą siły odśrodkowej  $F$  i grawitacyjnej  $G$ ) równoważona jest siłą reakcji  $R$  podłoża. Wartości tych sił to odpowiednio

$$F = mv^2/r$$

$$G = mg$$

$$N = mg/\sin\alpha$$

$R$  – siła reakcji



Rys. 4. Siły działające na narciarza

gdzie  $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $r$  – promień skrętu,  $v$  – prędkość narciarza, a  $\alpha$  to jego kąt pochylenia określony stosunkiem siły odśrodkowej do ciężaru ( $F/G = \operatorname{ctg}\alpha$ ). Wynika stąd zależność

$$\frac{v^2}{r} \operatorname{tg}\alpha = g = \operatorname{const}, \quad (1)$$

która wiąże wszystkie parametry skrętu. Można więc powiedzieć, że kąt pochylenia narciarza  $\alpha$  jest w ogólności funkcją dwu zmiennych: jego prędkości i promienia skrętu  $r$ . Jedyne w przypadku jazdy na krawędziach nart możliwa okazuje się redukcja ilości zmiennych w tym wyrażeniu. Poniżej pokażemy, dlaczego tak jest. Idea polega na tym, że właśnie w tym przypadku możliwe staje się wyrażenie promienia skrętu przez kąt zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  i parametr charakteryzujący geometrię nart. Promień skrętu przestanie więc być zmienną niezależną.

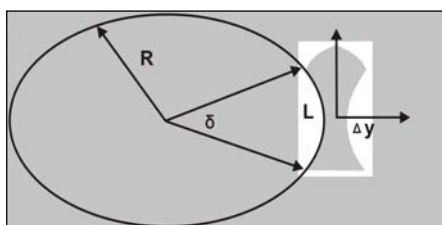
Aby zakrawędziowana narta nie ześlizgiwała się, siła wypadkowa jaką do niej przykładamy musi być prostopadła do ślizgu. Wynika z tego (patrz rys. 4

i 6), że jedynie w przypadku jazdy na krawędziach, kąty pochylenia narciarza  $\alpha$  i zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  (między ślizgiem a podłożem) pozostają w prostym związku:

$$\alpha_{kr} = 90 - \alpha .$$

Możliwość redukcji ilości parametrów w relacji (1) pokażemy w trzech krokach.

1. Najpierw wyrażamy wycięcie boczne narty  $\Delta y$  przez długość krawędzi  $L$  i jej promień krzywizny  $R$ . Wzory w ramce i rys. 5 pokazują jak  $\Delta y$  wyraża się przez parametry charakteryzujące geometrię nart.



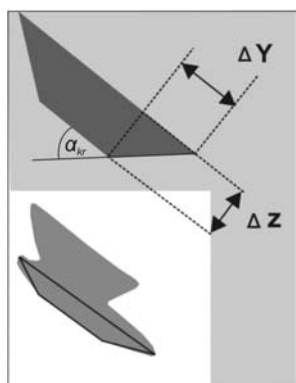
$$\begin{aligned} R\delta &= L \\ \Delta y &= R(1 - \cos(\delta/2)) \approx R\delta^2/8 = L^2/8R \end{aligned}$$

Rys. 5. Opis geometrii płasko leżącej narty

2. Następnie wiążemy ugięcie narty w skřęcie z promieniem skřętu.

Aby krawędź narty na całej swojej długości kontaktowała się ze śniegiem, narta musi się ugiąć. Ugięcie to rośnie wraz z kątem zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$ , rys. 7. Analogicznie jak powyżej wyrażaliśmy wycięcie boczne  $\Delta y$  (taliowanie) narty płaskiej przez inne wielkości geometryczne, wiążemy teraz ugięcie narty  $\Delta z$  z pewnym promieniem charakterystycznym  $R_{flex}$  (rys. 8 i 9). Ugięcie  $\Delta z$  przedstawione na rys. 6 i 9 wynosi (wzór przy rys. 9)

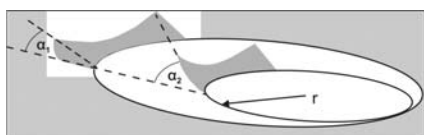
$$\Delta z = L^2 / (8R_{flex}) .$$



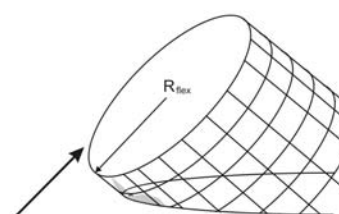
$$\begin{aligned} \frac{\Delta z}{\Delta y} &= \operatorname{tg} \alpha_{kr} \\ R_{flex} &= R / \operatorname{tg} \alpha_{kr} \end{aligned}$$

Rys. 6. Widok z przodu ugiętej narty (porównaj, widok z boku, rys. 9)

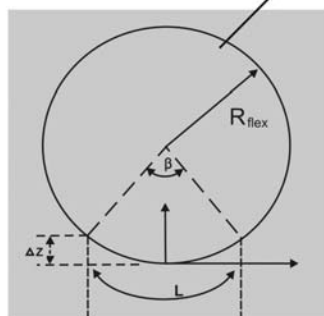
Zależy ono od kąta  $\alpha_{kr}$  (rys. 7), który jest miarą obrotu między układem odniesienia zdefiniowanego przez nartę płaską, a układem związanym z nartą ugiętą. Zgodnie z rys. 8, nartę ugiętą dobrze modeluje wirtualny cylinder o promieniu  $R_{flex}$  i osi równoległej do poprzecznej osi narty OY (rys. 1). Przecięcie tego cylindra z podłożem wyznacza elipsę, rys. 10, o półosiach  $a$ ,  $b$ .



Rys. 7. Kąt zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  a ugięcie narty i promień skrętu



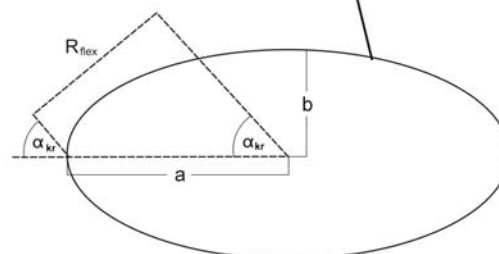
Rys. 8. Przecięcie wirtualnego cylindra zawierającego powierzchnię narty z podłożem



Rys. 9. Opis geometrii narty ugiętej – poprzeczny przekrój cylindra

$$\Delta z = R_{flex} \beta^2 / 8$$

$$L = R_{flex} \beta$$



Rys. 10. Przecięcie cylindra (rys. 8) z podłożem wyznacza elipsę o osiach  $2a$ ,  $2b$

$$a = \frac{R_{flex}}{\sin \alpha_{kr}}$$

$$b = R_{flex}$$

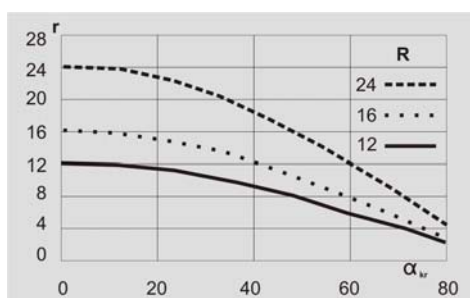
Narta znajduje się zawsze w jej wierzchołku, wycinając łuk o promieniu równym promieniowi krzywizny elipsy  $r = b^2/a$ . Wzory w ramce powyżej pozwalają zatem wyrazić promień skrętu

$$r = \frac{b^2}{a} = R_{flex} \sin \alpha_{kr}$$

3. Ostatni krok to powiązanie parametrów nart z promieniem skrętu. W tym celu wystarczy wyliczyć ugięcie narty i następnie zgodnie z rys. 5, 6, 9 wyeliminować  $R_{flex}$ . W konsekwencji dostajemy ostatecznie promień skrętu wyrażony przez geometrię nart i kąt  $\alpha_{kr}$ .

$$r = R \cos \alpha_{kr}$$

Wyrażenie jest zilustrowane poniżej.



Rys. 11. Promień skrętu w funkcji kąta zakrawędziowania  $\alpha_{kr}$  dla nart o różnym promieniu wycięcia  $R$

### Co z tego wynika?

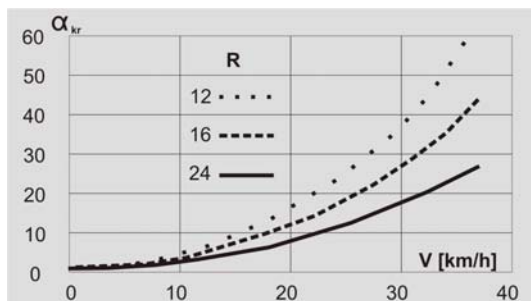
Kilka interesujących wniosków:

- uzyskanie na wybranych nartach odpowiedniego promienia skrętu zależy (w modelu czystego karwingu) wyłącznie od kąta zakrawędziowania nart; promienie te stają się ciaśniejsze dla nart o większym taliowaniu.
- Wzór (1) przyjmuje teraz postać

$$\frac{v^2}{R \sin \alpha_{kr}} = g \quad (2)$$

i dla danej prędkości narciarza dopuszcza precyzyjnie określoną wartość zakrawędziowania. Rys. 12 pokazuje jak ten kąt zależy od prędkości narciarza dla trzech nart o różnym taliowaniu. W szczególności graniczna prędkość przejazdu skrętu przy nierealistycznie dużych pochyleniach wynosi

$$v_{\max} \cong (Rg)^{1/2}$$



Rys. 12. Uzyskiwany kąt zakrawędziowania w funkcji prędkości dla nart o różnym promieniu  $R$

- Prezentowana wyżej idealizacja powinna być zastąpiona modelem bardziej rzeczywistym, uwzględniającym przede wszystkim nachylenie stoku  $\varphi$ . Pomijając tutaj nieco bardziej żmudny rachunek przedstawimy jedynie uogólniony odpowiednik wzoru (2)

$$v^2 = gR \cos \varphi \sin \alpha_{kr}$$

Podobnie jak w przypadku horyzontalnego przybliżenia skrętu, powyższy wzór pokazuje zależność prędkości od zakrawędziowania na stoku o stałym nachyleniu.

### Konkluzje

Powyższa dyskusja miała na celu wyprowadzenie podstawowej relacji opisującej skręt cięty. Wiąże ona prędkość i pochylenie narciarza z promieniem wykonywanej przez niego trajektorii.

- Stосуje się jedynie w przypadku jazdy idealnym karwingiem. A zatem wymaga szczególnych warunków zewnętrznych. W praktyce bliskich tym, jakie mamy w trakcie zawodów slalomowych, czyli płaskie i twarde podłoże, sztywne poprzecznie narty i zawodnicza technika pozbawiona ześlizgu.
- Względna prostota tej techniki wynika z faktu, że omawiany związek jest relacją o zredukowanej liczbie parametrów. Oznacza to, że prędkość narciarza jest funkcją wyłącznie jego pochylenia/zakrawędziowania. Użytkiwane w slalomie prędkości osiągają zgodnie z wykresem wartości  $\sim 50$  km/h.

Opis karwingu w kategoriach eksperymentu fizycznego pozwala wprawdzie zrozumieć przyczyny jego popularności, nie ułatwia nam jednak opanowania trudności zasadniczej – braku ... fizycznego przygotowania. Poza dobrym sprzętem, zwłaszcza ten deficyt wymaga specjalnej troski. Duże pochylenia to przede wszystkim duże przeciążenia dla mięśni, których skutki odczuwamy.

### Literatura

- [1] U. Jentschura, F. Farbach, *Physics of Skiing*, 2004, arXiv: physics/0310086.
- [2] K. Rybarczyk, *Carving a fizyka*, 2001/2002, Program Nauczania Nowoczesnego Narciarstwa NTN, Stowarzyszenie SPORT XXI.
- [3] Z. Stanisławski, *Narty 2*, Wydawnictwo „Dla Szkoły”, Wilkowice 2005.



## Na końcu języka (Volty)

Grzegorz Karwasz, Andrzej Karbowski

Zakład Dydaktyki Fizyki

Instytut Fizyki UMK w Toruniu

Jak Volta mierzył napięcie (czyli po angielsku *voltage*)? [1]. Chyba nie w woltach i nie woltomierzem? A jak „Galvani przykładał napięcie do żabich udek”? (cytat z ostatniego numeru jednego z polskich czasopism popularnonaukowych). Z prostownika sieciowego czy z baterii?

Wbrew zakorzenionym poglądom, pierwsze ogniwo Volty nie składało się ani ze stosiku par monet, ani z szeregu szklanek. Pierwszym ogniwem, a zarazem miernikiem napięcia, był język Volty, na którym kładł dwie monety. Kiedy na końcu języka kładł monetę cynową, a w głębi srebrną, czuł smak „kwaśny”, kiedy zaś monety układał na odwrót – smak „zasadowy”<sup>1</sup>.

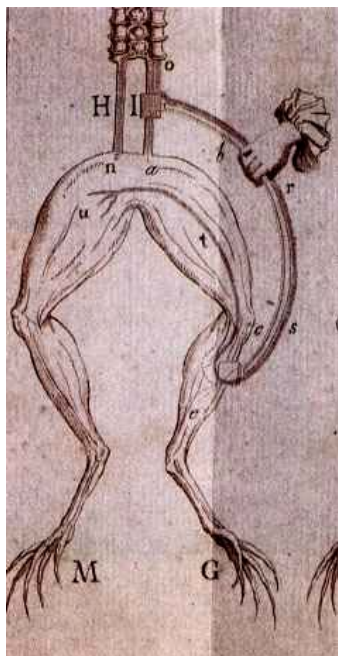
Kwaśny smak poczujesz również przykładając do języka monetę miedzianą wpiętą w stalowy spinacz lub stalowe ostrze cyrkla w aluminiowym uchwycie itp.

Genialność wynalazku Volty polega na przemiennym stosowaniu różnych złączy metal-metal (rys. 1): raz bezpośrednio, raz przez elektrolit. A udka Galvaniego to też nie przypadkowy kawałek żaby na talerzu, ale celowo przygotowane kończyny dolne z dopiero co zabitej żaby i z wypreparowanymi nerwami (zob. rys. 2). Galvani badał, czy nerwy żaby są źródłem elektryczności. W jednym z doświadczeń nad wpływem pogody (wyładowań atmosferycznych) na „elektryczność zwierzęcą”, udka żaby zaczepione na miedzianych haczykach wisały na żelaznej balustradzie. Przypadkowe zamknięcie obwodu przez dotknięcie drutem drugiego końca nerwu powodowało skurcz mięśnia (jak wiemy, potencjały czynnościowe są rzędu 100 mV).

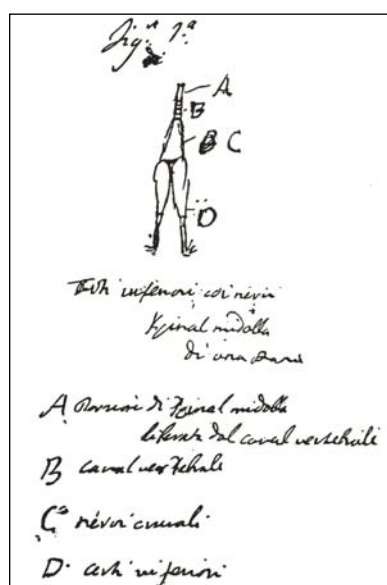
Czyli, pierwszym ogniwem voltaicznym był język, a pierwszym miliwoltomierzem włókna nerwowe, na wpół jeszcze żywe.

Na końcu języka mieliśmy właśnie te dwie uwagi.

<sup>1</sup> Smak kwaśny jest związany z obecnością jonów  $H^+$ , o ile więc na końcu języka znajduje się moneta cynowa (potencjał elektrochemiczny reakcji  $Sn^{2+} + 2e \leftrightarrow Sn$  wynosi  $-0,14$  V), czyli elektroda ujemna ogniwa „galwanicznego”, w jej pobliżu jest więcej jonów  $H^+$  niż przy drugiej, srebrnej elektrodzie (potencjał elektrochemiczny reakcji  $Ag^+ + e \leftrightarrow Ag$  wynosi  $+0,8$  V). Smak „zasadowy” jest trudniejszy do skojarzenia z określoną substancją chemiczną, jako że sody prawie się dziś w kuchni już nie używa.



Rys. 1. Schemat doświadczenia Volty ilustrujący połączenie dwóch różnych metali do nerwów i mięśnia żaby [2]



Rys. 2. Oryginalny szkic Galvaniego z 1782 roku [3]

Kończyny dolne z nerwami oraz rdzeń kręgowy żaby:

A – rdzeń kręgowy

B – kanał nerwowy

C – nerw kulszowy

D – kończyny dolne

Galvaniego można uważać również za odkrywcę fal elektromagnetycznych. W doświadczeniu z 21 stycznia 1781 roku zaobserwował, że wypreparowane mięśnie żaby leżące na stole kurczą się w momencie, kiedy w maszynie elektrostatycznej stojącej w pobliżu przeskakuje iskra elektryczna. Efekt był obserwowany, gdy w kręgosłup żaby wbity był metalowy haczyk i kiedy haczyka tego dotykał (za pomocą skalpela) asystent Galvaniego. Efekt znikał, kiedy skalpel trzymany był za izolujący uchwyt.

#### Literatura

[1] Podstawą powyższego tekstu jest opracowanie Lucio Fregonese, *VOLTA: teorie ed esperimenti di un fisico naturale*, Le Scienze, I grandi della scienza, n. 11, November 1999,

[2] Poz. lit. [1], str. 88, źródło: Museo per la storia dell Università di Pavia, *Dziela zebrane Volty*, pod red. Vincenzo Antinori.

[3] Poz. lit. [1], str. 75, źródło: Academia delle Scienze di Bologna.





## Thomas Young i jego wkład do dyskusji nad naturą światła

Bronisława Średniawa

bronias1@op.pl

### Thomas Young, krótki rys biograficzny

Thomas Young urodził się w roku 1773 w południowej Anglii. Był niezwykle mądrym dzieckiem – mając dwa lata czytał biegle, jako sześciolatek rozpoczął naukę łaciny, a w wieku 16 lat posługiwał się kilkunastoma językami starożytnymi i współczesnymi europejskimi oraz językami Wschodu. Młody Young znał podstawy matematyki i rozwijał zainteresowania fizyką, czytał wybitne dzieła naukowe (między innymi Newtona i Lavoisiera), sam budował aparaturę optyczną, na przykład mikroskop i teleskop.



Mimo że uczęszczał do szkół i miał prywatnych nauczycieli, to w gruncie rzeczy był samoukiem i ten sposób zdobywania wiedzy cenił najwyżej. Jego wybitne zdolności szły w parze z niezwykle pracowitością. Po latach wspominał, że jako dziecko w lecie wstawał godzinę wcześniej niż rówieśnicy, a w zimie kładł się spać dwie godziny później, by się uczyć. W całym życiu nie spędził ani jednego dnia beczynnie.

O wyborze zawodu lekarza zdecydowały namowy wuja, znanego w Londynie doktora Brocklesby'ego, który podziwiał jego osiągnięcia językowe, namawiał do dalszej działalności na polu translatorskim, ale równocześnie przestrzegał, zresztą skutecznie, przed wpadnięciem w nadmierny zachwyt nad sobą. Young studiował medycynę w Londynie, Edynburgu, Getyndze i Cambridge. Będąc na studiach w Getyndze, dla rozrywki stał się świetnym gimnastykiem i jeźdźcem. Z goryczą przyznawał, że dzięki temu był znany wśród braci studenckiej lepiej niż z powodu nieprzeciętnych osiągnięć językowych. W 1800 roku rozpoczął praktykę lekarską w Londynie. Od tego czasu również uczęszczał regularnie na spotkania w *Royal Institution*, gdzie w rok później Count Rumford (1753–1814) zatrudnił go jako profesora (z pensją 300 funtów rocznie). Young pozostał na tej posadzie przez dwa lata, prowadząc wykłady popularne. Były one zagmatwane, szczegółowe i techniczne, dlatego raczej nie najlepsze dla nieprofesjonalnej publiczności.

### Teoria widzenia

Z początkiem lat dziewięćdziesiątych XVIII wieku głoszono, że w akomodacji oka może brać udział zmiana kształtu rogówki, gałki ocznej lub soczewki oka. Co więcej, stwierdzenia o roli rogówki i kształtu gałki ocznej w akomodacji,

poparte wynikami prowadzonych przez siebie badań doświadczalnych, wspólnie publikowały uznane autorytety w tej dziedzinie, między innymi Everard Home (1756–1832), wzięty chirurg i członek *Royal Society*. Young przypuszczał jednak, że te poglądy są niesłuszne, i podejrzewał, że soczewka oka składa się z włókien mięśniowych, a impulsy nerwowe powodują zmianę długości włókien, tak że soczewka może stawać się bardziej lub mniej wypukła. W serii doświadczeń przeprowadzonych na oku wołu potwierdził możliwość występowania zmian kształtu soczewki, koniecznych do ostrego widzenia z bliska i z daleka. Young przeanalizował optykę oka i aby obalić nieprawdziwe teorie o zmianie kształtu rogówki i gałki ocznej, policzył, jakim zmianom musiałyby ulegać, by zapewnić ostrość widzenia przedmiotów bliskich i dalekich. Następnie eksperymentalnie udowodnił, że rogówka i gałka oczna takich zmian kształtu nie doznają. W ten sposób wykazał, że nie biorą one udziału w akomodacji. Badał również własną wadę wzroku – astygmatyzm. Badania te również potwierdzały poprzednie wnioski o zmianach kształtu soczewki w oku. Interesował się też teorią postrzegania barw, daltonizmem – zasugerował, że istnieją trzy kolory podstawowe: czerwony, żółty i niebieski. Już w pierwszej fazie prac nad teorią widzenia został doceniony do tego stopnia, że w wieku 21 lat wyróżniono go członkostwem *Royal Society*.

### **Światło to cząstki czy fale? – przegląd zjawisk optycznych znanych na przełomie XVIII i XIX wieku**

Od niepamiętnych czasów ludzie zastanawiali się, czym jest światło. Poglądy o dwojakim charakterze światła, falowym i korpuskularnym, zrodziły się w spekulacjach naukowych starożytnych Greków.

Zapewne jedno z najdawniejszych spostrzeżeń człowieka dotyczyło tego, że światło biegnie po liniach prostych i nie ugina się na przeszkodach. Od dawna również wiedziano, że dźwięk jest falą i ulega ugięciu, gdy natrafi na swej drodze na jakiś obiekt – dlatego chociażby muzykę można słyszeć, nie widząc jej źródła. Jednak taka prawidłowość w odniesieniu do światła byłaby trudna do przyjęcia na tamtym wczesnym etapie obserwacji i wiedzy. Zatem stwierdzenie rozchodzenia się światła po prostej drodze sugerowało jego charakter korpuskularny. Inny znany od bardzo dawna fakt, prawo odbicia, łatwo tłumaczono na bazie obu poglądów na naturę światła. Prawo załamania światła na granicy dwóch ośrodków było opisywane już przez starożytnych, jednak ujęcie go w prostej matematycznej formie, za pomocą sinusów kątów padania i załamania, nastąpiło dopiero w latach dwudziestych XVII wieku. Tłumaczenie tej prawidłowości na gruncie teorii korpuskularnej prowadziło do wniosku, jakoby prędkość światła w ośrodku gęściejszym (np. wodzie) była większa niż w rzadszym (np. powietrzu). Rozumowanie oparte na charakterze falowym prowadziło do przeciwnej konkluzji, a mianowicie, że światło biegnie szybciej w ośrodku rzadszym niż w gęściejszym. W tamtych czasach nie potrafiono jednak zmie-

rzyć prędkości światła w różnych ośrodkach przezroczystych (dopiero Foucault stwierdził doświadczalnie w 1850 roku, że prędkość światła w powietrzu jest większa niż w wodzie). Zatem pytanie o naturę światła pozostawało na razie otwarte. Niebagatelnym osiągnięciem było wyznaczenie przez Olausu Rømera (1644–1710) w 1676 roku wartości prędkości światła. Stwierdzenie, że światło ma skończoną prędkość, zwolennicy teorii falowej skomentowali tak, że prędkość fali w danym ośrodku może być stała. Aby jednak wzbudzić podejrzenia wobec konkurencyjnej teorii korpuskularnej, poddawali w wątpliwość, by w pewnym ośrodku wszystkie cząstki światła miały się poruszać z taką samą prędkością. Co więcej, załamaniu światła towarzyszy odbicie. Na podstawie falowego charakteru twierdzono, że część energii fali odbija się, reszta przechodzi dalej. Na podstawie teorii emisyjnej sam Izaak Newton (1642–1727) absolutnie poważnie pisał, że niektóre cząstki światła *fit to easy transition* (łatwo przechodzą), a inne *fit to easy reflection* (łatwo odbijają się).

Druga połowa XVII wieku przyniosła kolejne obserwacje, które zwolennicy obydwu teorii starali się wyjaśniać na swój sposób. Robert Hooke (1635–1703) w książce *Micrographia* (1665) opisał tęcze kolory – według jego słów „kolory fantastyczne” – które pojawiają się przy odbiciu światła od cienkich warstewek. Zjawisko to możemy obserwować na rozlanych plamach benzyny na ulicy lub na puszczanych przez dzieci bańkach mydlanych. Hooke stwierdził, że pojawiające się kolory zależą od grubości warstewki.

W 1665 roku opublikowano odkrycie dyfrakcji światła, dokonane przez Francesco Grimaldiego (zm. 1663), który obserwując cienie małych przedmiotów oraz światło przechodzące obok ostrych krawędzi, zauważył, że światło ulega ugięciu.

Erazmus Bartolin (zm. 1698) w 1670 roku odkrył zjawisko polaryzacji światła w trakcie doświadczeń ze szpatem islandzkim. Pomimo, że już od tego momentu prowadzono badania i próby wyjaśnienia zjawiska oraz obserwowanych prawidłowości (między innymi tymi zagadnieniami zajmował się Christiaan Huygens (1629–1695)), to dopiero w półtora wieku po pierwszej obserwacji promieni zwyczajnego i nadzwyczajnego w szpacie islandzkim rozwój optyki zaferował wytłumaczenie polaryzacji światła.

Newton zajmował się optyką dokładnie i szeroko, wykonywał i opisywał wiele doświadczeń, notował skrupulatnie wyniki pomiarów, komentował i wysnuwał wnioski. Widząc zalety i niedoskonałości poglądów falowego i korpuskularnego na charakter światła, ostatecznie opowiedział się za naturą korpuskularną. Współcześnie z Newtonem, Christiaan Huygens i Robert Hooke stali na stanowisku, że światło ma charakter falowy. Można przy okazji zauważyć, że *Optyka* (1704) Newtona doczekała się wydania dopiero po śmierci Hooke'a. Kilkanaście lat później ukazały się jeszcze książki druga i trzecia. W następnym stuleciu tylko nieliczni, a pośród nich Leonhard Euler (1707–1783) opowiadali się za poglądem falowym na naturę światła, natomiast zdecydowana większość

świata nauki – głównie z powodu autorytetu, jakim cieszył się Newton – popierała pogląd korpuskularny na naturę światła, nawet mocniej niż on sam sto lat wcześniej.

### **Prace Younga nad teorią falową światła**

W 1800 roku ukazała się praca Younga *Sound and Light*. Dalsze swoje osiągnięcia w dziedzinie odkrywania i dowodzenia falowego charakteru światła Young przedstawił podczas dwóch wykładów *Bakerian Lectures* w *Royal Society* w latach 1801 i 1803. W 1802 roku sformułował zasadę interferencyjną. Każde z tych wystąpień ukazało się nieco później w formie pisemnej, w *Philosophical Transactions*. Po kilku latach Young zebrał i częściowo przedredagował te wykłady, które opublikował pod wspólnym tytułem *Lectures on Natural Philosophy* (Wykłady z fizyki) (1807). Właśnie mijają dwa wieki od tamtej chwili.

W pracy *Dźwięk i światło* autor oddał należny hołd Newtonowi, chociaż Young dalej zaznaczył, że jego rozważania mogą zmniejszyć ciężar krytyki wobec poglądu falowego. Wskazał też, jakie trudności występują w teorii Newtona. Wymienił stałość prędkości światła niezależnie od tego, co jest jego źródłem, równoczesność odbicia i załamania oraz kolory cienkich płytek. Przede wszystkim jednak przedstawił analogię pomiędzy światłem i dźwiękiem.

W tym czasie Young wdał się w polemikę z autorem *Optics* (1738) i *Harmonics, or Philosophy of Musical Sounds* (1749), doktorem Robertem Smithem, uznanym wówczas autorytetem naukowym, profesorem astronomii w Cambridge, fundatorem renomowanej nagrody matematycznej własnego imienia. Young z wielką finezją językową, ale też i z dorównującym jej brakiem delikatności, nie zostawił na autorze suchej nitki. W obronie autorytetu stanęli inni znani przedstawiciele establishmentu naukowego, między innymi John Gough (1757–1825), sławny z tego, że jako człowiek niewidomy, był wybitnym botanikiem i nauczycielem Johna Daltona (1766–1844), oraz John Robison (1739–1805) szkocki matematyk i fizyk, który wziął stronę Henry'ego Broughama<sup>1</sup>, zaatakowanego przez Younga za artykuł opublikowany w 1798 roku w *Philosophical Transactions*.

W 1801 roku w wykładzie zatytułowanym *On the Theory of Light and Colours* Young opowiadał się za istnieniem świetlnego eteru, który miałby być w wysokim stopniu rzadki i elastyczny, przenikał Wszechświat, a fale (podłużne) były wzbudzane w tym eterze, gdziekolwiek ciała się świeciły. Pisał, że postrzeganie różnych kolorów zależy od różnej długości drgań wzbudzonych przez światło na siatkówce oka. Ostatnia hipoteza zawierała sugestię, że światło w powietrzu biegnie z większą prędkością niż w przezroczystych ciałach sta-

---

<sup>1</sup> Henry Brougham (1778–1868) prawnik, polityk, wieloletni członek Izby Gmin, Lord Chancellor, obrońca niewolników i wreszcie odkrywca i miłośnik Cannes, który tę rybacką wioskę podniósł do rangi miejsca spotkań europejskiej śmietanki towarzyskiej.

łych i cieczech. Dalej nastąpiło rozwinięcie teorii falowej, opisane w serii „propozycji”, z których trzecia dotyczyła dyfrakcji światła, a w ósmej przedstawił takie stwierdzenie: „Gdy dwie fale, z różnych źródeł, zbiegną się, albo w dokładnie tym samym, albo w bardzo bliskim kierunku, ich wspólny wynik działania jest kombinacją ruchów należących do każdej z nich”. Zatem Young pierwszy sformułował zasadę interferencji fal dla światła, a tłumaczył ją na przykładzie fal w zbiornikach wodnych. Co więcej, opisał jeszcze obserwację obrazu interferencyjnego (do prążków czwartego rzędu), otrzymanego za pomocą światła słonecznego odbitego od szeregu równoległych rowków naciętych na płytce szklanej. Kolejnym osiągnięciem było wyliczenie długości fal świetlnych dla 7 kolorów z widma widzialnego z danych pomiarowych Newtona, z rozmieszczeń pierścieni Newtona; były to pierwsze w historii obliczone wartości długości fal świetlnych. Young również wyjaśniał jakościowo, jak powstaje kolorowe światło po przejściu przez cienkie warstwy, a także całkowite wewnętrzne odbicie oraz tworzenie kolorów przy ugięciu światła. Wywody te podsumował wnioskiem o falowej naturze światła.

W lipcu 1802 roku nadał pełne brzmienie zasadzie interferencji światła: „Kiedykolwiek dwie porcje tego samego światła dochodzą do oka po przebyciu różnych dróg, albo dla tego samego, albo bardzo zbliżonego kierunku, to staje się ono najbardziej intensywne, gdy różnica ich dróg jest dowolną wielokrotnością pewnej długości, a najmniej intensywne w stanie pośrednim interferujących ze sobą porcji światła, a ta długość jest inna dla światła o różnych kolorach”.

W 1803 roku na wykładzie *Bakerian Lecture* pod tytułem *Experiments and Calculations Relative to Physical Optics* przede wszystkim opisał doświadczenie, w którym w świetle wiązki światła słonecznego przepuszczonego przez dziurkę zrobioną igłą w przesłonie, obserwował cień paska papieru o szerokości  $1/30$  cala (0,8 mm) w różnych odległościach od niego. Zaobserwował na ekranie obraz interferencyjny: kolorowe prążki interferencyjne oddzielone były od siebie ciemniejszym cieniem, jednakże zawsze w środku cienia paska papieru pojawiał się biały prążek. Następnie wyliczył długości fal światła z danych doświadczalnych swoich i Newtona. Wyniki zgodziły się w granicach 13%. Young badał też zjawisko tęczy. Zauważył zgodność swoich obserwacji z obserwacjami Newtona, w szczególności, że im gęściejszy ośrodek, tym mniejsze odległości między prążkami. Jednak wynikało stąd, że światło wędruje szybciej w ośrodku rzadszym niż w ośrodku o większej gęstości, zatem świadczyło na korzyść charakteru falowego światła.

W 1803 roku wspomniany Henry Brougham opublikował, zresztą anonimowo, trzy polemiki przeciwko Youngowi i jego teorii. Artykuły te bardzo zaszkodziły powszechnemu przyjęciu teorii falowej światła i zdruzgotały opinię Younga jako uczonego. Ton tych artykułów wiązał się zapewne jeszcze z atakiem Younga (sprzed kilku lat) na wywody Broughama. Young wtedy również nawet nie wymieniał obiektu swojej krytyki z nazwiska, cierpkie słowa tyczyły

się nie tylko meritum sprawy, ale też autor nie powstrzymywał się od zwykłej złośliwości. To właśnie spowodowało, że Brougham stał się zaciekle wrogiem wielkiego zwolennika teorii falowej światła i tylko czekał na okazję, aby „odpłaci pięknym za nadobne”.

Jednakże pomimo sformułowania zasady interferencji i wyliczenia długości fal świetlnych dla poszczególnych kolorów przez Younga, współcześni mogli mieć wątpliwości co do przyjęcia poglądów na naturę światła z powodu braku przedstawienia zmatematyzowanej teorii falowej światła, na której powstanie trzeba było poczekać jeszcze kilkanaście lat.

W roku 1807 Young wydał swoje prace z lat 1800–1803, nieco zmienione przez kilka lat przemyśleń, i do tej wersji dołączył opis swojego sławnego doświadczenia interferencji światła na dwóch szczelinach, będącego koronnym dowodem na falową naturę światła oraz piękną ilustracją zjawiska dyfrakcji i interferencji fal. Na podstawie tego eksperymentu wyliczył również długości fal świetlnych, które wynosiły  $1/36\ 000$  cala ( $0,71\ \mu\text{m}$ ) dla czerwieni i  $1/60\ 000$  cala ( $0,42\ \mu\text{m}$ ) dla skrajnego fioletu.

W drugim dziesięcioleciu XIX wieku nastąpiła seria odkryć w dziedzinie polaryzacji światła. Odkryto między innymi polaryzację światła przy odbiciu, polaryzację chromatyczną i kołową. Przy tym stanie wiedzy Young w **1817 roku** zasugerował, że fala światła może posiadać niewielką składową poprzeczną oprócz składowej podłużnej.

Podsumowując dokonania Younga na tym polu, trzeba stwierdzić, że bezsprzecznie wznosił fundamenty dla teorii falowej światła.

### Dalsze życie Younga

W 1803 roku Young, po rezygnacji z posady w *Royal Institution*, powrócił do zawodu lekarza. Wiosną, jesienią i zimą pracował w Londynie, a w lecie – w Worthing, modnej miejscowości nad kanałem La Manche, dokąd udawała się stołeczna socjeta na wypoczynek. Praktykę lekarską kontynuował do 1814 roku, jednakże nie odniósł większego sukcesu, gdyż w kontaktach zawodowych był zbyt chłodny i pewny siebie, by wzbudzać zaufanie chorych. Inaczej w życiu prywatnym: nigdy się nie wywyższał i okazywał dobry charakter. W 1804 roku poślubił Elizę Maxwell, szkołką arystokratkę. Young lubił światowe rozrywki, muzykę, taniec, jazdę konną. Był towarzyski, lubił dyskusję z wyrafinowanym rozmówcą. Urodzony i wychowany w rodzinie kwakrów, już jako student opuścił tę wspólnotę wyznaniową. Był człowiekiem zamożnym, w roku 1797 zmarły wuj pozostawił mu dom z biblioteką i dziełami sztuki w Londynie wraz z bajeczną sumą 10 000 funtów.

Young piastował liczne urzędy, między innymi sekretarza w *Board of Longitude* (300 funtów rocznie), kierował pracami *Nautical Almanac* (100 funtów rocznie). Napisał, przeważnie anonimowo, dziesiątki artykułów o nauce, w tym ponad sześćdziesiąt do suplementu *Encyclopaedia Britannica*. Young jest rów-

niez autorem *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, monumentalnego dzieła w dwóch tomach, spisane na niemal 1500 stronach, zawierającego okazały indeks i bibliografię zestawioną z 20 000 (dwudziestu tysięcy!) pozycji. Autor ujął w tym dziele wiedzę fizyczną, na którą składały się: mechanika, hydrostatyka, hydrodynamika, nauka o materii, elektryczność, magnetyzm, a także wiedzę inżynierską o maszynach, pompach, silnikach parowych, następnie astronomię, wiadomości o meteorach, roślinach, zwierzętach i wiele innych. Napisane trudnym językiem dzieło raczej onieśmieliło zwykłego czytelnika niespotykaną erudycją autora. To on użył po raz pierwszy terminu „energia” w odniesieniu do iloczynu  $mv^2$ . Znany nam dziś moduł Younga pochodzi od jego modułu sprężystości, przeddefiniowanego na sposób współczesny w drugiej połowie XIX wieku. Zajmował się również teorią przyływów, ruchem wahadła i jeszcze wieloma innymi zagadnieniami. Nie można zapomnieć o tym, że to właśnie Young rozszyfrował pierwsze hieroglify na kamieniu z Rosetty<sup>2</sup>. Na łożu śmierci kończył jeszcze jedno swe dzieło – słownik egipski. Zmarł w wieku zaledwie 56 lat.

### **Epilog, czyli co dalej, optyko?**

Następnym milowym krokiem naprzód w optyce, który zapewnił falowej teorii światła należne miejsce w nauce, były badania Augustina Jeana Fresnela (1788–1827), francuskiego inżyniera trudniącego się głównie budową dróg, który optyką zajmował się niejako hobbystycznie, w przerwach w pracy. Przyczyna pierwszej z tych przerw była raczej nietypowa, spowodowała ją bowiem gotowość Fresnela do wsparcia rojalistów, gdy Bonaparte maszerował na Paryż w 1815 roku, w czasie „stu dni Napoleona”. Bonapartyści profilaktycznie zamknęli młodego budowniczego dróg w areszcie domowym, a dzięki przymusowemu urlopowi optyka stała się treścią życia Fresnela. Był on niezwykle sprawnym doświadczalnikiem i matematykiem, cechowały go równocześnie niezwykła pracowitość i poczucie obowiązku. Niestety, słabe zdrowie i praca na stanowisku inżyniera znacznie utrudniały mu badania naukowe, a przerwała je w 1824 roku zaawansowana gruźlica, która trzy lata później stała się powodem jego przedwczesnej śmierci w wieku 39 lat.

Fresnel połączył zasadę Huygensa z zasadą interferencji, formułując tzw. prawo Huygensa-Fresnela: „drgania fali świetlnej w każdym jej punkcie należy rozpatrywać jako sumę elementarnych fal, które byłyby wysłane w tej samej chwili przez wszystkie działające i izolowane części tej fali, rozpatrywanej w jakimkolwiek ze swoich poprzednich położań”. Na podstawie tej zasady, używając zaawansowanego aparatu matematycznego, Fresnel wyliczył natężenia prążków interferencyjnych. Ponadto w 1821 roku uznał, że światło jest falą

---

<sup>2</sup> Znalaziona w 1799 roku w delcie Nilu granitowa tablica z wrytym dwujęzycznym tekstem zapisanym w trzech wersjach: w języku egipskim alfabetem hieroglificznym i demotycznym oraz w języku greckim – eksponowana w British Museum w Londynie, wstęp bezpłatny.

poprzeczną. Doszedł do takiego przekonania po wnikliwej analizie i kilkuletnim namyśle nad wynikiem obserwacji dyfrakcji i interferencji światła spolaryzowanego równolegle i prostopadle względem siebie. Dla obserwatorów zadziwiające i niewytłumaczalne było, że wiązki światła spolaryzowanego w kierunkach prostopadłych do siebie nie interferowały. Ta właściwość – poprzeczność fali świetlnej – stała się kluczem do zrozumienia zjawisk związanych z polaryzacją światła. Niestety, to odkrycie miało też nieoczekiwany wpływ na prywatne życie Fresnela: spowodowało odsunięcie się od niego przyjaciela i protektora Dominika Arago (1786–1853), który zgoła nie dopuszczał takiej właściwości fal świetlnych.

Fresnel w ciągu 8 lat działalności naukowej stworzył podstawy optyki falowej. Jego obliczenia dotyczące zjawisk odbicia, załamania, dyfrakcji i interferencji oraz polaryzacji dawały wyniki zadziwiająco zgodne z eksperymentem<sup>3</sup>. Fresnel nie ukończył swych badań. Jego dzieło było uzupełniane i kontynuowane.

#### Literatura

- [1] A. Wood, *Thomas Young, Natural Philosopher (1773–1829)*, Cambridge 1954.
- [2] E.W. Morse, *Young Thomas*, w: *Dictionary of Scientific Biography tom XIV*, Charles Scribner's Sons, New York, 1976, s. 562–572.
- [3] G.A. Cox, *Thomas Young (1773–1829)*, Phys. Edu. vol. 8 (1973), 396.

#### Od Redakcji:

Redakcja poleca stosowne rozdziały *Historii fizyki* Andrzeja Kajetana Wróblewskiego, PWN. Znajdą w nich Państwo fascynujące cytaty z oryginalnych prac uczonych, fotokopie dzieł i ciekawe ilustracje.

---

<sup>3</sup> Tylko w kilku skomplikowanych przypadkach, jak na przykład dla eliptycznej polaryzacji powstałej przy odbiciu od metali doświadczenia nie potwierdziły jego wzorów.





## Fizyka w matematyce

Waldemar Gorzkowski<sup>1</sup>  
Instytut Fizyki PAN, Warszawa

### Wstęp

Rola matematyki w fizyce jest powszechnie znana i nie ma potrzeby, by o niej wspominać w oddzielnym artykule. Jest to bowiem codzienność. Bywają jednak sytuacje, gdy fizyka przychodzi z pomocą matematyce w rozwiązywaniu niektórych, wcale niełatwych problemów. W artykule tym podamy jeden z takich przykładów. Rzeczą będzie dotyczyła rozkładu prostokąta na kwadraty, a w szczególności na różne kwadraty. Problem ten to jeden z wielu tematów dotyczących teorii liczb i kombinatoryki i na pierwszy rzut oka trudno dopatrzeć się w nim związków z fizyką, a w szczególności z... prawami Kirchhoffa. Ale związek taki istnieje i przedstawimy go tutaj.

### Prawa Kirchhoffa w uproszczeniu

Prawa Kirchhoffa dla obwodów prądu stałego bez wewnętrznych sił elektromotorycznych dobrze znamy i nie jest naszym celem powielanie tu wiadomości podręcznikowych. Będziemy interesować się tu tylko uproszczoną ich wersją, gdy wszystkie oporniki w obwodzie mają oporność równą jednemu omowi. Napięcie będziemy wyrażać w voltach, a natężenia w amperach. Krótko mówiąc będziemy stosować układ SI. Dzięki temu będziemy opuszczać jednostki wszędzie tam, gdzie tylko nie będzie to prowadziło do nieporozumień. Będziemy też pomijać oznaczenia oporników na rysunkach przyjmując milcząco, że każdy odcinek od danego węzła do najbliższego węzła ma oporność równą jednemu omowi. Kierunki prądów uważane za dodatnie będziemy zaznaczać strzałkami (ujemnej wartości natężenia prądu będzie odpowiadał przepływ prądu w kierunku przeciwnym do strzałki). Przy takiej umowie prawa Kirchhoffa będą brzmiały następująco:

**I prawo:** *Suma prądów dochodzących do każdego węzła jest równa sumie prądów opuszczających ten węzeł* lub też następująco: *algebraiczna suma prądów dochodzących do każdego węzła jest równa zero*. Przez sumę algebraiczną rozumiemy sumę z uwzględnieniem znaku prądów (prądy wychodzące traktujemy jako prądy dochodzące, ale o ujemnym natężeniu). Akurat w przypadku tego prawa nic się nie zmieniło w stosunku do znanego Państwu sformułowania.

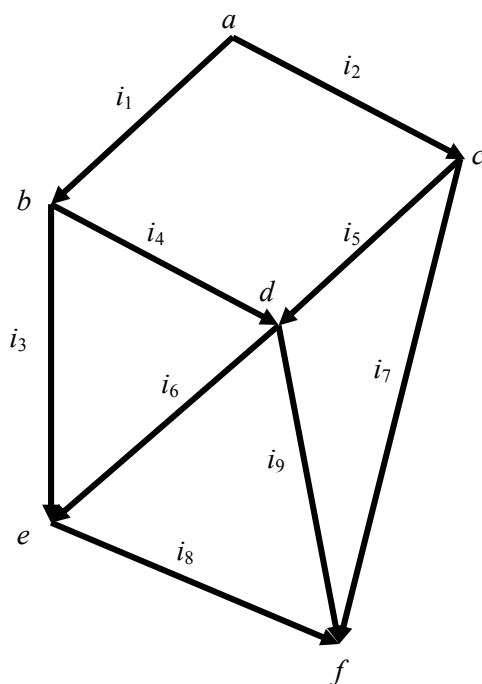
---

<sup>1</sup> Z autorem można kontaktować się za pomocą poczty elektronicznej: gorzk@ifpan.edu.pl

**II prawo:** *Algebraiczna suma prądów dla każdego oczka obwodu jest równa zeru.* Od tradycyjnego sformułowania prawo to różni się tym, że z góry uwzględniliśmy w nim fakt, że opór każdego odcinka obwodu od węzła do najbliższego węzła jest równy jedności. Oczywiście przy określonym kierunku obiegu oczka prądy płynące zgodnie z tym obiegiem uważamy za dodatnie, a przeciwnie – za ujemne. Oczywiście można to prawo sformułować i inaczej: *Algebraiczna suma prądów wzdłuż dowolnej zorientowanej drogi łączącej dwa węzły jest taka sama.*

### Pierwszy przykład

Rozważmy na początek obwód pokazany na rysunku 1, złożony z dziewięciu oporników. Niech prąd wpływa w węzle  $a$ , a wypływa w węzle  $f$ . Przyjmijmy oznaczenia natężeń prądów takie, jak pokazano na rysunku.



Rys. 1

Korzystając z praw Kirchhoffa możemy wypisać odpowiednie równania je wyrażające. Mamy:

Węzeł lub oczko	Równanie
<i>b</i>	$i_1 - i_3 - i_4 = 0$
<i>c</i>	$i_2 - i_5 - i_7 = 0$
<i>d</i>	$i_4 + i_5 - i_6 - i_9 = 0$
<i>e</i>	$i_3 + i_6 - i_8 = 0$
<i>acdba</i>	$i_2 + i_5 - i_4 - i_1 = 0$
<i>bdeb</i>	$i_4 + i_6 - i_3 = 0$
<i>cfdc</i>	$i_7 - i_9 - i_5 = 0$
<i>dfed</i>	$i_9 - i_8 - i_6 = 0$

Jak widać, równań wyrażających prawa Kirchhoffa jest osiem, podczas gdy nieznanych prądów jest dziewięć. Nie powinno nas to jednak dziwić. Jest bowiem oczywiste, że jeżeli  $i_1, i_2, \dots, i_9$  jest układem prądów mogących płynąć w układzie, to także układ prądów  $\alpha i_1, \alpha i_2, \dots, \alpha i_9$ , gdzie  $\alpha$  jest dowolną liczbą też ma tę właściwość. Mamy więc mniej równań niż niewiadomych i musimy się z tym pogodzić. Uznając jedno z natężeń, np.  $i_1$ , za znane, inne możemy już wyznaczyć. Rozwiązując układ ośmiu równań podany w tabelce dostajemy:

$$i_2 = \frac{6}{5}i_1; \quad i_3 = \frac{8}{15}i_1; \quad i_4 = \frac{7}{15}i_1; \quad i_5 = \frac{4}{15}i_1;$$

$$i_6 = \frac{1}{15}i_1; \quad i_7 = \frac{14}{15}i_1; \quad i_8 = \frac{3}{5}i_1; \quad i_9 = \frac{2}{3}i_1.$$

Zgodnie z uwagą poczynioną wyżej skorzystajmy z dowolności i przyjmijmy, że  $i_1 = 15$ . Wtedy otrzymamy rozwiązanie na natężenia prądów w postaci względnie pierwszych liczb naturalnych:

$$i_1 = 15; \quad i_2 = 18; \quad i_3 = 8; \quad i_4 = 7; \quad i_5 = 4; \quad i_6 = 1; \quad i_7 = 14; \quad i_8 = 9; \quad i_9 = 10.$$

Zgodnie z II prawem Kirchhoffa w wersji rozważanej w tym artykule, „napięcie”  $U$  między węzłami  $a$  i  $f$  nie zależy od drogi, jaką by się je połączyło. Dla rozważanego układu wynosi ono  $i_1 + i_3 + i_8 = 32$ .

Natomiast z I prawa Kirchhoffa wynika, że dla dowolnego przekroju obwodu linią prostopadłą do odcinka łączącego węzły  $a$  i  $f$  suma natężeń prądów przepływających przez ten przekrój musi być taka sama i równa natężeniu prądu wpływającego, wynoszącego w rozważanym przypadku  $I = i_1 + i_2 = 33$ .

Moc wydzielana w całym obwodzie jest równa  $M = UI$ , czyli równa się polu prostokąta o bokach  $U$  oraz  $I$ . W naszym przypadku jest to prostokąt  $32 \times 33$ . Ale moc ta jest równa łącznej mocy wydzielanej na jednostkowych oporach tworzących sieć, czyli jest równa sumie natężeń wszystkich prądów:

$$M = i_1^2 + i_2^2 + i_3^2 + i_4^2 + i_5^2 + i_6^2 + i_7^2 + i_8^2 + i_9^2 .$$

Łatwo sprawdzić, że

$$32 \times 33 = 1056 = 15^2 + 18^2 + 8^2 + 7^2 + 4^2 + 1^2 + 14^2 + 9^2 + 10^2$$

Widzimy więc, że pole prostokąta  $32 \times 33$  jest równe łącznemu polu dziewięciu kwadratów o bokach równych odpowiednio 15, 18, 8, 7, 4, 1, 14, 9, 10. Ale to nie wszystko. Mogłoby przecież tak być, że mimo, iż pole prostokąta równa się łącznemu polu wszystkich kwadratów, to prostokąt nie da się z tych mniejszych kwadratów złożyć (bez ich rozcinania na jeszcze mniejsze kawałki). Tak się jednak składa, że obwód elektryczny od razu podaje wskazówki, jak z kwadratów prostokąt złożyć.

Przypiszmy każdemu węzłowi pewien poziom. Zaczniemy od węzła  $a$  – rys. 1. Z węzła tego wychodzą dwa prądy. Zaznaczmy moc na nich wydzielaną za pomocą kwadratów o bokach  $i_1 = 15$  i  $i_2 = 18$ , dotykających górna krawędzią tego poziomu. Prąd  $i_1$  dochodzi do węzła  $b$ . Zaznaczmy więc poziom dolnego boku kwadratu odpowiadającego temu prądowi przez  $b$ . Podobnie, poziom odpowiadający dolnemu bokowi kwadratu odpowiadającego prądowi  $i_2$  zaznaczmy literką  $c$ . Prąd  $i_1$  rozwidla się na prądy  $i_3 = 8$  i  $i_4 = 7$ . Narysujmy więc po lewej stronie kwadraty o bokach 8 i 7, odpowiadające tym prądom itd. Postępując tak dalej znajdujemy rozkład prostokąta  $32 \times 33$  na kwadraty, pokazany na rys. 2. Układ elektryczny, który rozważaliśmy pozwolił nam nie tylko na wyznaczenie boków kwadratów składowych, ale i na wyznaczenie ich wzajemnego położenia w rozkładzie prostokąta na kwadraty.

### Reguła ogólna

Z przedstawionych tu rozważań widać pewną ogólną drogę postępowania:

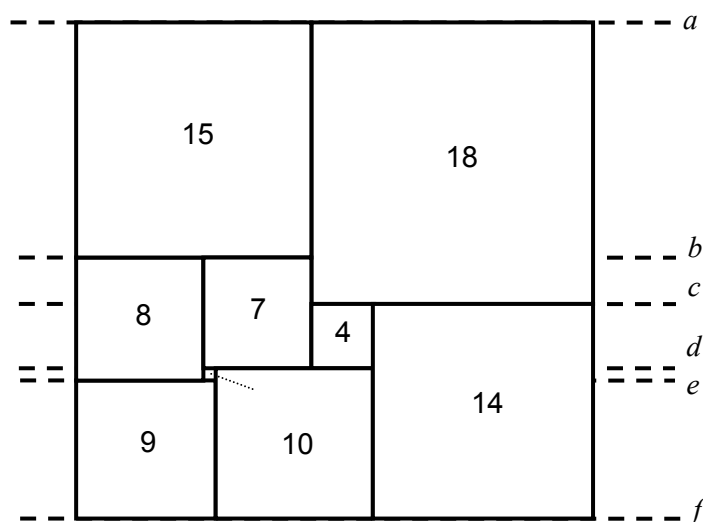
1. Weźmy dowolny płaski układ elektryczny zbudowany z oporów jednostkowych i ustalmy, którym węzłem prąd wpływa, a którym wypływa.
2. Znajdźmy natężenia prądów w układzie (liczba niewiadomych jest oczywiście równa liczbie oporników tworzących układ). Zawsze będziemy mieli tu pewną dowolność, gdyż liczba równań będzie mniejsza o jeden niż liczba niewiadomych (udowodnij to!).
3. Ponieważ równania wyrażające prawa Kirchhoffa są liniowe, więc rozwiązania będą wyrażały się liczbami wymiernymi mnożonymi przez jakąś stałą. Dobierzmy tę stałą tak, by wszystkie natężenia wyrażały się względnie pierwszymi liczbami naturalnymi.
4. Wyznaczmy „napięcie”, czyli sumę natężeń prądów od węzła, przez który prąd wpływa, do węzła, przez który prąd wypływa.
5. Wyznaczmy całkowite natężenie prądu wpływającego  $I$ .

6. Ze względu na to, że całkowita moc prądu wydzielana w układzie  $M = UI$  jest równa sumie mocy wydzielanych na poszczególnych opornikach, mamy:

$$UI = M = \sum_{\text{po wszystkich prądach}} i_k^2$$

Związek ten mówi, że pole prostokąta o bokach  $U$  i  $I$  jest równe sumie pól o bokach odpowiadających natężeniom prądów.

7. Konkretny rozkład prostokąta na kwadraty przeprowadzamy wg opisu podanego w pierwszym przykładzie – odpowiada on wykorzystaniu I prawa Kirchhoffa.



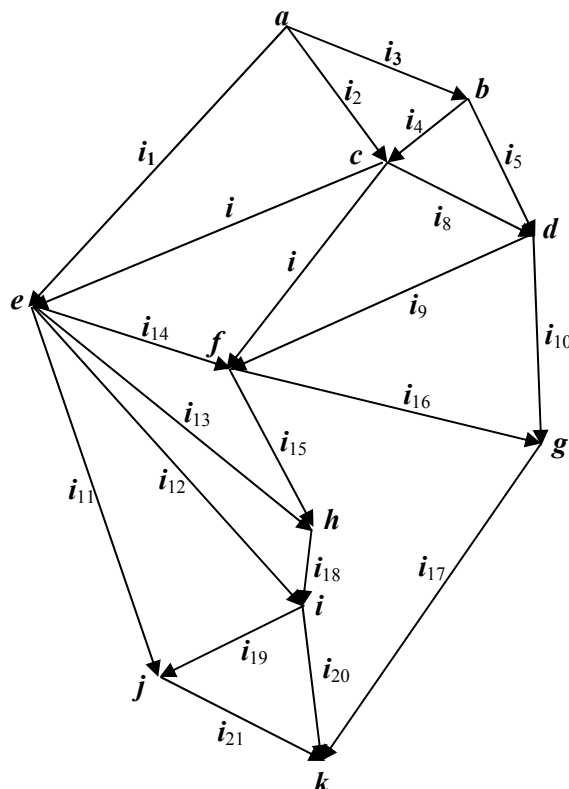
Rys. 2

Wykorzystanie obwodów elektrycznych do rozkładu prostokątów na kwadraty odkryto bardzo dawno temu, jeszcze w roku 1940. Niestety, praca [1], choć czasami cytowana wydaje się nie do zdobycia. W znanych mi bibliotekach jej nie ma. Nie jest też dostępna w Internecie. Na podstawie jej objętości (28 stron druku) można wnosić, że dowód reguł, które tutaj podaliśmy był dość skomplikowany. Potwierdzałoby to stwierdzenie: „Dowodów tych twierdzeń nie podamy, gdyż są zbyt złożone”, które odnosi się do tego wspomnianych tu reguł w książce [2]. Tymczasem w moim przekonaniu odwołanie się do mocy wydzielanej na jednostkowych opornikach i na całym obwodzie czyni te reguły zupełnie prostymi, a nawet trywialnymi.

Pewne komplikacje mogą się pojawić, gdy któreś z natężeń prądów okaże się ujemne. W takim razie można układ przebudować tak, by w odpowiedniej

gałęzi wybrać inny kierunek prądu za dodatni i poprzesuwać węzły tak, by wszystkie prądy płynęły tylko w „dół”. Nie będziemy jednak wchodzić tu w szczegóły, bo nie są one zbyt istotne.

### Drugi przykład

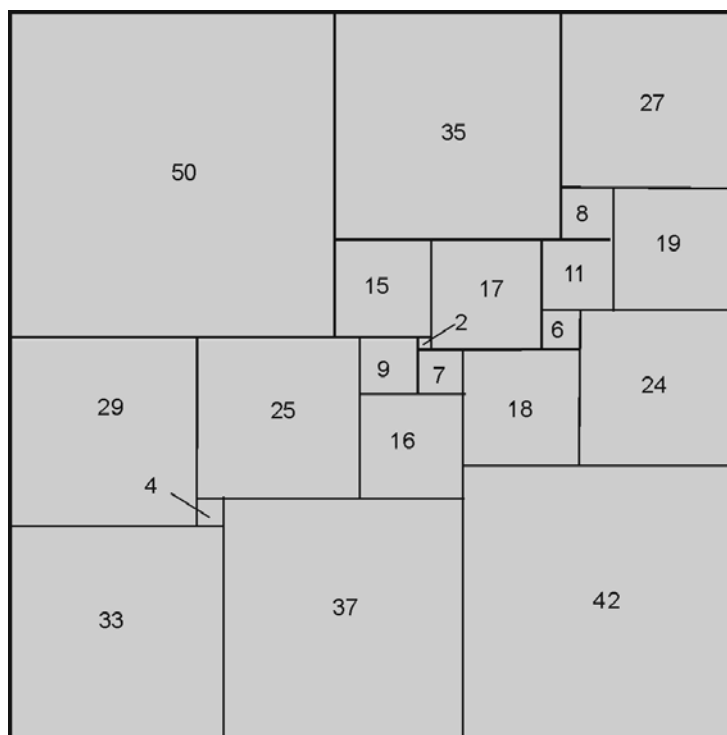


Rys. 3

Rozkład prostokąta na same różne kwadraty nazywa się rozkładem doskonałym. Jest oczywiste, że rozkłady niedoskonałe są mniej interesujące, wiele z nich to po prostu rozkłady trywialne.

Na początku rozpatrzyliśmy układ złożony z dziewięciu oporników. To nie był wybór przypadkowy. Okazuje się bowiem, a Czytelnik może sam to sprawdzić, że dla mniejszej liczby oporników wśród natężeń prądów zawsze znajdują się co najmniej dwa równe. Tak więc, nie ma rozkładów doskonałych prostokąta na mniej niż dziewięć kwadratów. Jeden z takich rozkładów doskonałych pokazuje rys. 2. Można jednak metodą prób i błędów przekonać się, że istnieje jeszcze jeden rozkład prostokąta na dziewięć kwadratów, nierównoważny roz-

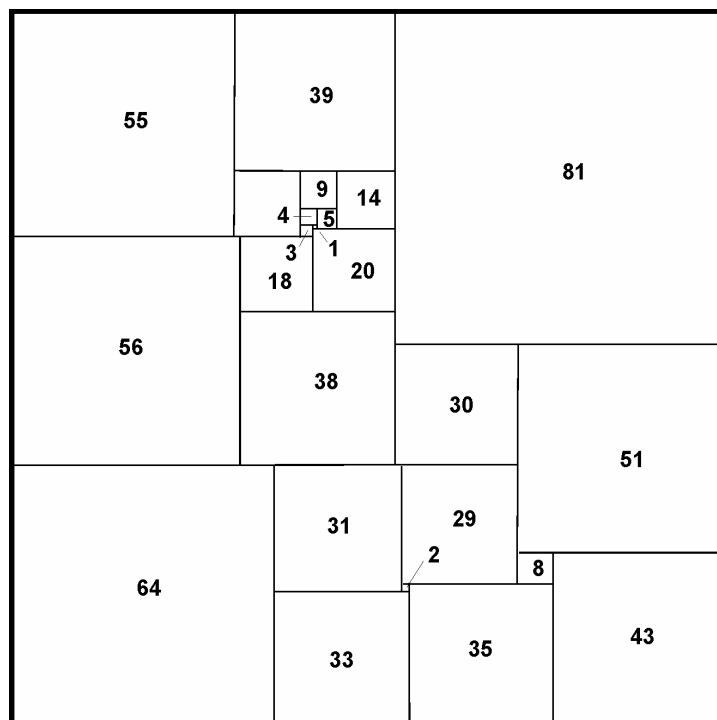
kładowi podanemu wyżej:  $6169 = 4209 = 2^2 + 5^2 + 7^2 + 9^2 + 16^2 + 25^2 + 28^2 + 33^2 + 36^2$ . Spróbuj jednak Czytelniku znaleźć go samemu!



Rys. 4

A czy kwadrat można rozciąć na same różne kwadraty o mniejszych bokach? Tak, można. Wystarczy rozważyć układ przedstawiony na rys. 3. Czytelnik może bez trudu przekonać się, że układ ten prowadzi do doskonałego rozkładu kwadratu na 21 kwadratów, pokazanego na rys. 4. Okazuje się, że mniej niż 21 kwadratów nie wystarczy do rozkładu kwadratu na różne kwadraty. Udowodnił to A.W.J. Duijvestijn, który potem opublikował katalog doskonałych rozkładów kwadratów o bokach równych od 21 do 25 [3, 4].

Jest oczywiste, że mając doskonały rozkład kwadratu lub prostokąta na kwadraty, można odtworzyć układ elektryczny, który do niego prowadzi. W „Kalejdoskopie Matematycznym” H. Steinhausa [5] podany jest rozkład kwadratu na 24 kwadraty – rys. 5. Spróbujcie narysować odpowiadający mu układ elektryczny i wykazać, że rzeczywiście odpowiada on temu rozkładowi!



Rys. 5

### Literatura

- [1] R.L. Brooks, C.A.B. Smith, A.H. Stone, W.T. Tutte, *The Dissection of Rectangles into Squares*, Duke Math. J., **7** (1940) 312–340.
- [2] B. Kordiemski, N. Rusalew, *Dziwy kwadratu*, PZWS, Warszawa 1956 (tłumaczenie z rosyjskiego), str. 109.
- [3] A.J.W. Duijvestijn, *Simple Perfect Squared Squares and  $2 \times 1$  Squared Rectangles of Orders 21–24*, Journal of Combinatorial Theory, Ser. **B**, vol. **59**, no. 1, September 1993, pp. 24–36.
- [4] C.J. Bouwkamp, A.J.W. Duijvestijn, *Catalog of Simple Perfect Squared Squares of Orders 21 through 25*, Eindhoven Univ. of Technology, Dept of Math., Report 92-WSK-03, Nov. 1992.
- [5] H. Steinhaus, *Kalejdoskop Matematyczny*, WSiP, Warszawa 1989 (wydanie czwarte).





## Uwagi na temat egzaminu maturalnego z fizyki i astronomii (maj 2006)

*Jadwiga Salach*

### Od Redakcji:

Artykuł zamieszczony w całości na stronie internetowej *Fotonu* [www.foton.z.pl](http://www.foton.z.pl) zawiera uwagi na temat zadań egzaminu maturalnego z fizyki 2006 z arkusza I, poziomu podstawowego (zadania 8, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19) oraz poziomu rozszerzonego, arkusza II (zadania 22, 23, 24, 26).

Autorka artykułu dokonuje analizy wymienionych wyżej zadań. Wypunktowuje zarówno drobne niedociągnięcia, nieprecyzyjne sformułowania, jak i niestety grubsze błędy, łącznie z sugerowaną fałszywą odpowiedzią.

Szczególnie polecamy artykuł tym z Państwa, którzy przygotowują uczniów do matury. Okazuje się, że do zadań należy podchodzić z ograniczonym zaufaniem. **Jest to ważny dla nauczycieli tekst.** Oprócz pomocy w merytorycznej dyskusji może posłużyć jako pomoc w udzielaniu uczniom wskazówek strategicznych.

Nie jest to tekst dla uczniów do samodzielnej pracy, dlatego uznaliśmy za stosowne umieszczenie go jedynie na stronie internetowej.

Z.G-M



## KĄCIK ZADAŃ

### Odgłosy z jaskini (4) – Orbity eliptyczne

Adam Smólski

I Społeczne LO w Warszawie

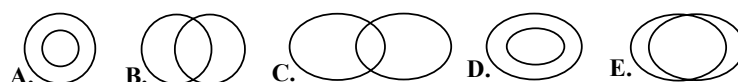
Nowym czytelnikom tej rubryki spieszę wyjaśnić, że „jaskinia” jest pracownią fizyczną w podziemiach szkoły na Bednarskiej w Warszawie, gdzie Polsko-Ukraiński Konkurs Fizyczny „Lwiątko” ma swoją siedzibę, biuro i magazyn. A „odgłosy”, za łaskawą zgodą Redakcji *Fotonu*, są zarówno relacją z konkursowej „kuchni”, jak i próbą rozwinięcia pewnych lwiańskich tematów, interesujących lub – przyznaję – kontrowersyjnych z punktu widzenia szkolnej fizyki. Tym razem będzie o orbitach eliptycznych w problemie Keplera.

\*\*\*

Ale zacznijmy od „kuchni”. Listę poprawnych odpowiedzi „Lwiątko” ogłaszamy na stronie internetowej Konkursu następnego dnia po zawodach. Jest zatem paręnaście godzin zwłoki, podczas których w „Księdze gości” na tejże stronie panuje spory ruch. Ten i ów liczy się, ile to punktów zdobędzie, a wszyscy nas popędzają. Wreszcie wywieszamy odpowiedzi i ruch na chwilę zamiera... po czym dopiero mamy co czytać! „Co to ma być!”, „Policzcie to jeszcze raz!”, „Dali zadania, których sami nie umieją rozwiązać!” itp. Cierpliwie przekonujemy, że odpowiedzi są, NIESTETY, dobre.

W 2006 roku taką właśnie konsternację wywołało zadanie 13 z zestawu dla klas III liceum:

Składniki pewnej gwiazdy podwójnej mają równe masy. Jak mogą wyglądać ich tory, narysowane w płaszczyźnie ich ruchu?

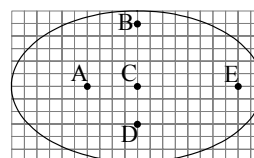


Poprawną odpowiedzią było C. Obie gwiazdy orbitują wokół wspólnego środka masy, który zatem musi być **wspólnym ogniskiem obu** eliptycznych orbit. To nie budziło wątpliwości, natomiast oponenti nie mogli uwierzyć, że sytuacja wygląda nie jak E, ale właśnie jak C. My oczywiście, szkicując sytuację C, przestrzegaliśmy geometrycznych reguł, określających położenie ogniska.

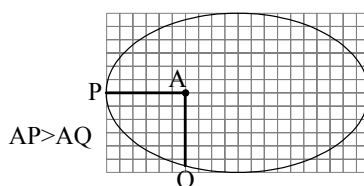
Skąd więc to niedowierzanie? Ano z zapatrzenia się w byle jakie ilustracje w podręcznikach i zbiorach zadań, gdzie położenie przyciągającego centrum wewnątrz orbity zaznaczane bywa w sposób rażąco błędny. Nie będę wskazywał palcem, ale kolegów nauczycieli zachęcam do przejrzania posiadanych książek szkolnych pod tym kątem. Można się niezłe ubawić...

Ktoś powie, że w ten sposób przerzuciliśmy winy autorów tych publikacji na Boga ducha winnych uczestników Konkursu. Ale temat nie był w „Lwiątku” nowy: w 2005 roku uczniowie 3. klasy gimnazjum i I klasy liceum otrzymali następujące zadanie:

Rysunek pokazuje eliptyczną orbitę planety wokół gwiazdy. W którym punkcie może być gwiazda?

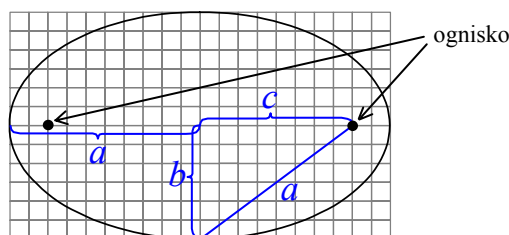


Poprawną odpowiedzią jest E. Bynajmniej nie oczekiwaliśmy znajomości ścisłych geometrycznych proporcji. Jedyne „sensowny” kontrkandydat, punkt A, jest ewidentnie niedobry z uwagi na odległość od punktów elipsy, która liczona chociażby pionowo w górę lub w dół byłaby mniejsza niż odległość od ewentualnego perycentrum z lewej:



Kto się zatem do „Lwiątko” przygotowywał w najbardziej odpowiedni sposób – ćwicząc na zestawach z ubiegłych lat – ten miał skąd się dowiedzieć, jak to z tym ogniskiem jest.

Uczniów liceum nie zawadzi oczywiście zaznajomić z dokładnymi proporcjami. Mianowicie, elipsa o półosiach  $a$  i  $b$  (przy  $a > b$ ) ma ogniska położone na dłuższej osi w odległości  $c = \sqrt{a^2 - b^2}$  od środka:



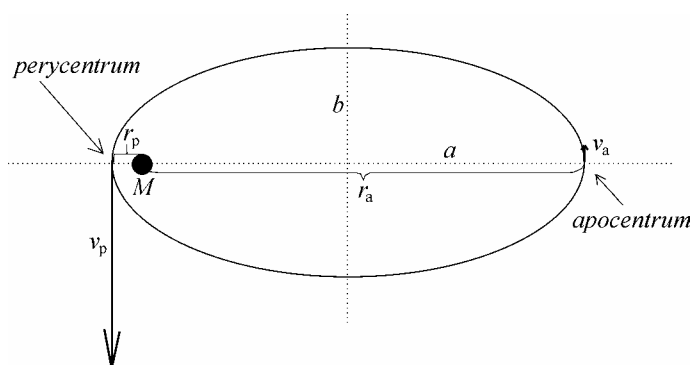
Miarą „spłaszczenia” elipsy jest tzw. mimośród  $e = \frac{c}{a}$ . W tablicach astronomicznych podaje się na ogół  $a$  i właśnie  $e$ .

Typowe licealne zadania „z grawitacji” formułowane są dla orbit kołowych. Najwyżej informujemy przy okazji III prawa Keplera, jak brzmi jego ogólna

wersja. Uczniowie nabierają przekonania, że orbity eliptyczne to jakaś wyższa, uniwersytecka szkoła jazdy, dla nich niedostępna. Tak być nie musi.

Chciałbym w dalszym ciągu tego artykułu pokazać, co sam staram się robić na ten temat na lekcjach z uczniami grupy rozszerzonej. Okazuje się to w praktyce całkiem przystępne.

Na początek stawiam pytanie, w którym z punktów – perycentrum, czy apocentrum – satelita ma większą prędkość. Uczniowie nie mają wątpliwości, że  $v_p > v_a$ , ale muszą to wyjaśnić. Uprzedzam, że oczekuję znalezienia aż czterech powodów i zdradzam „w zaufaniu”, że dwa z tych powodów to pewne zasady zachowania.



I tak:

- powód pierwszy to ten, że w obu punktach satelita zakreca pod działaniem siły grawitacji po zakreć o takiej samej krzywiznie, ale w apocentrum ta siła grawitacji jest mniejsza niż w perycentrum. Mniejsza siła dośrodkowa przy tym samym promieniu oznacza mniejszą prędkość.
- powód drugi to ten, że na łuku orbity pomiędzy apocentrum i perycentrum siła grawitacji tworzy z wektorem prędkości kąt ostry, zatem satelita jest przyspieszany, a w drodze powrotnej do apocentrum hamowany.
- powód trzeci to zasada zachowania energii:  $\frac{mv_p^2}{2} - \frac{GMm}{r_p} = \frac{mv_a^2}{2} - \frac{GMm}{r_a}$ ,  
gdzie  $M$  to masa centrum przyciągającego (duża na tyle, by można je było uznać za nieruchome w inercjalnym układzie odniesienia),  $m$  – masa satelity. Z  $r_p < r_a$  wynika  $v_p > v_a$ .
- powód czwarty to zasada zachowania momentu pędu:  $mv_p r_p = mv_a r_a$ .

Stąd już łatwo i konkretnie:  $\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} > 1$ .

O zasadzie zachowania momentu pędu warto powiedzieć wcześniej jako o źródle II prawa Keplera. Występująca w nim „prędkość połowa” to nic innego, jak moment pędu podzielony przez podwojoną masę satelity.

Następnie stawiam zadanie znalezienia wartości  $v_p, v_a$  przy danych  $M, a$  i  $e$ . I odrobinę wpuszczam uczniów w maliny. Bowiem pierwszym ich odruchem, na który im pozwalam, jest liczenie  $v_p, v_a$  z równań takich, jakie przyzwyczaili się stosować dla orbit kołowych:

$$\begin{cases} \frac{mv_a^2}{r_a} = \frac{GmM}{r_a^2} \\ \frac{mv_p^2}{r_p} = \frac{GmM}{r_p^2} \end{cases}$$

skąd tak jak dla orbit kołowych

$$v_a = \sqrt{\frac{GM}{r_a}}, \quad v_p = \sqrt{\frac{GM}{r_p}}.$$

Uczniowie się cieszą, że rozwiązali problem, na co zwracam im delikatnie uwagę, że obliczone wartości nie spełniają  $\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p}$ .

Po krótkiej zadumie trafiamy na właściwy trop:

$$\begin{cases} \frac{mv_a^2}{2} - \frac{GmM}{r_a} = \frac{mv_p^2}{2} - \frac{GmM}{r_p}, \\ mr_a v_a = mr_p v_p \end{cases},$$

skąd

$$v_a = \sqrt{2GM \frac{r_p}{r_a(r_a + r_p)}}, \quad v_p = \sqrt{2GM \frac{r_a}{r_p(r_a + r_p)}}.$$

Należy oczywiście wyjaśnić, co było źle w poprzednim podejściu.  $r_p$  i  $r_a$  to **nie są promienie krzywizny** orbity w rozważanych punktach (ewidentnie w obu miejscach jednakowe), zatem nie można ich wstawiać do wzoru na siłę dośrodkową.

Wstawiamy  $r_p$  i  $r_a$  wyrażone przez dużą półosią i mimośród:

$$r_a = a(1+e), \quad r_p = a(1-e),$$

(przy okazji zauważmy, że  $a = \frac{r_p + r_a}{2}$ ,  $b = \sqrt{r_p r_a}$ )

co daje 
$$v_a = \sqrt{\frac{GM}{a} \cdot \frac{1-e}{1+e}}, \quad v_p = \sqrt{\frac{GM}{a} \cdot \frac{1+e}{1-e}}.$$

Przy  $e = 0$  dostajemy znany wzór na prędkość dla orbity kołowej.

Jest to dobry moment, by policzyć całkowitą energię satelity na orbicie. Wychodzi, nawet nieco nieoczekiwanie prosto,  $-\frac{GMm}{2a}$ .

Ciągle jednak nie „dobraliśmy się” do okresu obiegu, a przecież celem miało być III prawo Keplera. Czas na chytry pomysł. Stała prędkość połowa to jak wspominaliśmy  $\frac{1}{2}v_p r_p$ , czyli  $\frac{1}{2}\sqrt{GMa(1-e^2)}$ . Z taką prędkością w czasie jednego okresu  $T$  zakreślane jest pole elipsy. Wzór na pole elipsy,  $\pi ab$ , uczniowie są w stanie odkryć sami, na zasadzie „spłaszczenia” koła w stosunku  $\frac{b}{a}$ .

A zatem

$$\frac{1}{2}\sqrt{GMa(1-e^2)} \cdot T = \pi a \cdot a \sqrt{1-e^2},$$

skąd

$$T = \frac{2\pi \cdot a^{3/2}}{\sqrt{GM}}$$

lub w wersji zwyczajowo stosowanej dla III prawa Keplera:

$$\frac{T^2}{a^3} = const.$$

Jeśli na lekcjach starczy czasu, można i warto utrwalić pokazane metody i wyniki za pomocą łatwych i trudniejszych zadań o orbitach eliptycznych. O tym może napiszę innym razem. Zacytuję tylko na koniec jedno naprawdę piękne zadanie z „Lwiątko 2005”, właśnie na zastosowanie III prawa Keplera w ogólnej wersji:

Wysyłamy sondę do badania atmosfery Słońca, wprowadzając ją na bardzo wydłużoną orbitę, której aphelium znajduje się w pobliżu Ziemi, a peryhelium – tuż za Słońcem.



Sonda doleci do Słońca po czasie równym w przybliżeniu (w latach)

- A.  $\frac{1}{8}$ ,      B.  $\frac{\sqrt{2}}{8}$ ,      C.  $\frac{1}{4}$ ,      D.  $\frac{\sqrt{2}}{4}$ ,      E.  $\frac{1}{2}$ .

Pozwolę sobie nie zdradzać rozwiązania. Wszystkie rozwiązania i tak są dostępne w wydawanych przez „Lwiątko” broszurkach, a uroda powyższego zadania silniej do czytelników przemówi, jeśli je sami rozwiążą. Do czego gorąco zachęcam.



## KĄCIK DOŚWIADCZALNY

### **Karta na wodzie**

*Dagmara Sokołowska*

*Instytut Fizyki UJ*

Proponujemy doświadczenie z serii „dla dużych i małych”. Młodszych (nawet dzieci ze szkoły podstawowej czy przedszkola) zachwyci iluzjonistyczna strona eksperymentu. Starszym można przedstawić szczegółowe wyjaśnienie zjawiska.

Należy przygotować dużą, płaską miskę z wodą (można także napęścić wodą umywalkę lub wannę), mydło w kostce oraz dowolną zużytą kartę plastikową – wystarczająco dobre będą karty telefoniczne, stare karty bankomatowe, dowolne plastikowe lub laminowane karty reklamowe (prosimy nie wykorzystywać aktualnych jeszcze kart kredytowych lub bakomatowych!).

W pierwszej części ćwiczenia kładziemy ostrożnie kartę na powierzchni wody w taki sposób, żeby nie zatonała. Jeżeli powierzchnia wody jest spokojna (nie tworzymy fal, wirów itp.), to karta pozostaje w spoczynku.

Następnie namydlamy jedną krawędź karty mydłem w kostce. Ważne jest, żeby na krawędzi karty znalazło się dużo mydła w stanie stałym. Jeżeli teraz ponownie ostrożnie ułożymy kartę na powierzchni wody, to mimo braku fal – karta zaczyna płynąć. Kierunek i zwrot przepływu są ściśle określone – od krawędzi namydlonej do przeciwległej nienamydlonej krawędzi karty.

\*\*\*

W doświadczeniu tym wykorzystano specyficzną łódkę, o dużym polu powierzchni w stosunku do grubości. Karta zbudowana jest z materiału, który ma większą gęstość, niż woda. Gdybyśmy ją zanurzyli w wodzie, z pewnością by utonała, bo siła wyporu byłaby mniejsza, niż siła grawitacji działająca na tę kartę. Dlaczego zatem delikatnie położona *na wodzie* (tak, aby jej nie zanurzyć gwałtownym ruchem ręki) nie tonie, ale unosi się na powierzchni? Przyczyna tkwi w występowaniu dodatkowej siły na powierzchni swobodnej cieczy – siły napięcia powierzchniowego.

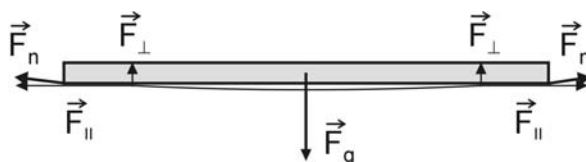
Na cząsteczki cieczy działają siły spójności, (czyli siły oddziaływania elektromagnetycznego) pochodzące od innych cząsteczek cieczy. W głębi cieczy siły te równoważą się, a zatem wypadkowa sił spójności jest równa zeru, natomiast tuż przy powierzchni cieczy wypadkowa sił spójności działających na cząsteczkę jest różna od zera i skierowana do wnętrza cieczy, prostopadle do jej powierzchni. Oznacza to, że istnieją siły, które potencjalnie mogłyby powodować przemieszczanie się cząsteczek wody z warstwy przypowierzchniowej

w głąb cieczy, gdyby nie fakt, że w głębi cieczy nie ma już na nie miejsca (ciecz jest nieściśliwa).

Siły napięcia powierzchniowego działające w warstwie powierzchniowej, dążą do zmniejszenia pola jej powierzchni, (czyli przyjęcia najbardziej optymalnego kształtu – kulistego dla kropli oraz płaskiego dla cieczy w naczyniu).

Płaska łódeczka położona na powierzchni cieczy nieco ją ugina, powodując zwiększenie pola powierzchni cieczy. Siły napięcia powierzchniowego, działając równoległe do zakrzywionej powierzchni powodują powstanie dodatkowej siły skierowanej pionowo w górę, której wartość jest wystarczająca dla zrównoważenia siły grawitacji działającej na płaską łódeczkę. Jednocześnie równoważą się poziome składowe siły napięcia powierzchniowego działające na powierzchnię łódeczki. Łódeczka swobodnie unosi się na wodzie.

Czynnikami zmniejszającymi napięcie powierzchniowe cieczy są na przykład detergenty (mydło, proszek do prania), zawierające substancje powierzchniowo czynne. Dodane do wody powodują zmniejszenie wartości sił napięcia powierzchniowego. Ta sama płaska łódeczka, której dno zostało z jednej strony namydlone doznaje wpływu działania różnych sił napięcia powierzchniowego: od strony namydlonej powstaje roztwór wody i mydła, a zatem siła napięcia powierzchniowego jest tam mniejsza, niż od strony nienamydlonej (patrz rysunek). Wypadkowa siła nada łódeczce przyspieszenie o zwrocie od namydlonej „rufy” do nienamydlonego „dziobu”. W trakcie tego ruchu działają na kartę także siły lepkości (oporu hydrodynamicznego cieczy), a poza tym ilość mydła na rufie stale się będzie zmniejszać, dlatego też łódka nie będzie wyraźnie przyspieszać. Łódka zatrzyma się po rozpuszczeniu się całego mydła z „rufy”.



Siły działające na płaską łódkę na powierzchni wody.  $\vec{F}_g$  – siła grawitacji,  $\vec{F}_n$  – siła napięcia powierzchniowego,  $\vec{F}_\perp, \vec{F}_\parallel$  – składowe siły  $\vec{F}_n$

(Doświadczenie to można znaleźć także w materiałach Wydawnictwa ZamKor – płyta CD „Doświadczenia Wojciecha Dindorfa – cz. 1”).





## JAK TO DZIAŁA?

### **Ekspres do kawy**

*Dagmara Sokołowska*

*Instytut Fizyki UJ*

Wiele osób nie wyobraża sobie poranka bez filiżanki kawy, inne – czekają niecierpliwie na swoją kawę popołudniową. Pijamy kawę rutynowo lub okazjonalnie. Mamy swoje sposoby na wydobywanie aromatu i tego jedynie przez nas docenianego, rozpoznawalnego smaku. Albo zgoła sięgamy po kawę, aby po prostu na chwilę oderwać się od pracy i orzeźwić umysł.

Jak świat stary – istnieją różne sposoby przygotowania porcji tego napoju. Pamiętam czasy tak zwanej „kawy po turecku”, która *de facto* nie ma wiele wspólnego z parzeniem kawy przez Turków, a raczej jest wynalazkiem polskim – ta „kawa po polsku”, jakby należało ją raczej nazywać, to kilka łyżeczek mielonej kawy zalanej szklanką wrzątku. Wraz z napływem taniego sprzętu AGD bardzo popularne stało się parzenie kawy w ekspresie. Najtańszy – ekspres przelewowy – składa się z niewielu elementów i opiera na bardzo prostej zasadzie działania.

Gdy zajrzemy od góry do wnętrza tego ekspresu (fot. 1), zobaczymy pojemnik na wodę z otworem w dnie, rurkę wewnętrzną umocowaną w dnie, pnącą się w górę, w stronę pokrywy z dziurkami umieszczonej bezpośrednio nad pojemnikiem na sypką kawę. W trakcie parzenia kawy z tego właśnie pojemnika spływa napar do dzbanka znajdującego się bezpośrednio pod nim. Dzbanek stoi na płycie grzejnej. Patrząc do wnętrza ekspresu od spodu (fot. 2), można zobaczyć rurkę zewnętrzną, która wychodzi z otworu w dnie pojemnika na wodę, okrąża płytę grzejną w tunelu rurki aluminiowej, a następnie wraca do dna pojemnika, gdzie łączy się z pierwszą rurką (wewnętrzną), która była widoczna wcześniej w samym pojemniku na wodę. Rurka zewnętrzna zaopatrzona jest w bardzo istotny zaworek zwrotny, dzięki któremu woda nie może się cofać do wnętrza pojemnika. Temperatura płyty grzejnej regulowana jest dzięki kontaktowi ze wspomnianą rurką aluminiową, która jest właściwą grzałką, zasilaną prądem elektrycznym.



Fot. 1



Fot. 2

Po wlaniu zimnej wody do pojemnika na wodę, dzięki ciśnieniu hydrostatycznemu i obecności otworu w dnie zostają wypełnione – cała rurka zewnętrzna oraz częściowo rurka wewnętrzna. Po włączeniu zasilania zaczyna nagrzewać się tunel aluminiowy a wraz z nim – woda w rurce pod dnem pojemnika. Gdy osiągnie ona temperaturę wrzenia, pojawiają się duże pęcherzyki pary wodnej, które opuszczają obszar tunelu aluminiowego i wypływają tą samą rurką ku górze – do rurki, znajdującej się w pojemniku na wodę (zawór w rurce zewnętrznej pozwala na jednoczesny dopływ zimnej wody do obszaru tunelu grzejnego). Ponieważ pęcherzyki są duże w stosunku do przekroju cienkiej rurki, wypychają one słupki wody znajdujące się ponad nimi – powstaje pompa wrzątku, transportująca wodę w obu rurkach, a przepływowi towarzyszy charakterystyczne gulgotanie. Woda wpływa do obszaru klapki z dziurkami, dzięki którym równomiernie wlewa się do pojemnika na sypką kawę, a następnie przesącza się przez warstwę kawy oraz filtr papierowy i wpływa do dzbanka, gdzie powstaje gorący napar.

W celu zabezpieczenia grzałek ekspresu przed przegrzaniem stosuje się ciastalowe czujniki temperaturowe. Pierwszy z nich, bezpośrednio połączony z grzałką odcina dopływ prądu do grzałki w momencie osiągnięcia przez nią pewnej granicznej temperatury (opór czujnika gwałtownie wzrasta). Gdy grzałka nieco ostygnie, opór czujnika gwałtownie maleje – przepływ prądu zostaje odblokowany, i tak wielokrotnie podczas parzenia kawy włączając i wyłączając dopływ prądu, czujnik reguluje temperaturę tunelu aluminiowego i płyty grzejnej. Dwa następne czujniki zabezpieczają ekspres w wypadku awarii pierwszego czujnika.

Ponieważ, jak mogliśmy zauważyć, w ekspresie przelewowym nie występują żadne ruchome części mechaniczne (w szczególności nie ma pompy mechanicznej), urządzenie to zwykle działa bezawaryjnie przez dłuższy czas.

Zamieszczone zdjęcia pochodzą ze strony internetowej [www.howstuffworks.com/](http://www.howstuffworks.com/)



## Z bloga młodego fizyka: Naukowcy ostrzegają przed katastrofą

Anna Ochab-Marcinek

Institut Fizyki UJ

„Tylko dwie rzeczy są nieskończone: wszechświat oraz ludzka głupota, choć nie jestem pewien co do tej pierwszej” – mawiał Albert Einstein. Internet i popularne dzienniki zdają się to potwierdzać. Są one dziś niezmiernym polem do popisu dla autorów wszelkich bredni. Nonsensy publikowane pod szyldem „Uczni odkryli...” są szczególnie ciekawe – ileż niewinnej radości dostarczają! Czytelników chcących zażyć niebanalnej rozrywki zapraszam pod adres <http://mlodyfizyk.blox.pl>. Wraz z grupą kolegów-naukowców stworzyliśmy tam blog „Będąc młodym fizykiem. Nonsensy z nauki polskiej i zagranicznej”. Gromadzimy w nim co śmieszniejsze pseudonaukowe idee publikowane w kraju i na świecie. W dziale dziennikarstwa naukowego najcenniejszą perłą kolekcji stanowi tekst redaktora Przemysława Średzińskiego wydrukowany w „Dzienniku” z 20 lutego 2007<sup>1</sup>.

Artykuł jest ze wszech miar rekordowy, albowiem już w samym tytule – *Niepokojące badania NASA. Naukowcy ostrzegają: Za pięć lat koniec świata* – znajdujemy trzy kłamstwa: ani niepokojące, ani nie ostrzegają, ani za pięć lat. Zresztą – im dalej w las, tym więcej drzew.

Pierwsze zdanie artykułu brzmi sensacyjnie: *Amerykańscy naukowcy biją na alarm – coś dziwnego dzieje się z polem magnetycznym naszej planety. Wygląda na to, że bieguny zaczęły gwałtownie zmieniać swoje położenie*. Ochłóśmy jednak. Dziennikarz spóźnił się z tą nowiną o ponad sto lat. W 1831 roku pierwsi badacze zlokalizowali północny biegun magnetyczny w okolicach pewnego przylądka na dalekiej północy Kanady. W roku 1904 wybrał się tam Roald Amundsen i stwierdził naocznie, że biegun przesunął się o 50 km. Kolejne badania wykonywane w ciągu całego XX wieku pokazały, że biegun przemieszcza się w dalszym ciągu i że dzieje się to coraz szybciej.

Autor wieszczy tymczasem: *To może skończyć się globalną katastrofą. Co się zdarzy? Z pewnością coś tak apokaliptycznego, że po orbicie krąży aż pięć sond, które NASA wysłała specjalnie po to, by obserwowały zorze polarne. Pracują od kilku dni*. Sondy rzeczywiście zostały wysłane, bynajmniej jednak nie po to, aby zapobiec jakiemuś kataklizmowi. Po prostu: „*Amerykianie chcą zbadać, jak przebiega zmiana natężenia ziemskiego pola magnetycznego i jaki to ma wpływ na przykład na fale radiowe w górnych warstwach atmosfery*” – wyjaśnia astrofizyk prof. Marek Demiański z Wydziału Fizyki Uniwersytetu War-

<sup>1</sup> Dostępny na stronie <http://www.dziennik.pl/> – wystarczy skorzystać z wyszukiwarki.

szawskiego. Jest to jedno z niewielu prawdziwych stwierdzeń zawartych w artykule. Istotnie, zmiany pola magnetycznego Ziemi mają wpływ zarówno na powstawanie zórz polarnych, jak na przesył fal radiowych. Silne jego zaburzenia wywołałyby prawdopodobnie zakłócenia w telekomunikacji, jednak o katastrofach nie może być mowy.

Zainteresowanie badaczy wzbudził fakt, że ostatnie zmiany pola magnetycznego Ziemi sprawiają, iż zorze polarne stały się intensywniejsze. Redaktor opisuje to nieco emocjonalnie: *Niby nic w tym dziwnego, ale okazało się, że zorze... zwariowały. Z uporządkowanych i wolno zmieniających kolor zmieniły się w błyskającego dzikiego potwora, rozbłyskującego całą paletą barw. Ziemskie pole magnetyczne gwałtownie zaczyna się zmieniać.* Autor artykułu bez trudu mógłby jednak sprawdzić w literaturze dostępnej w Internecie<sup>2</sup>, że zmienność ziemskiego pola magnetycznego jest czymś normalnym. Od XIX wieku jego natężenie osłabło o 10%, a jednak – co ciekawe – jest wciąż aż dwa razy większe niż średnia z ostatniego miliona lat.

**Następny akapit tekstu wstrząsa niesłychanie precyzyjną przepowiednią: *Północ zamieni się w południe.* Co to znaczy? Według jednej z teorii na temat przebiegunowania, w 2012 roku ziemskie bieguny zamienią się miejscami.** Powiedzmy sobie od razu: żadna naukowa teoria nie jest w stanie przewidzieć takich zjawisk z dokładnością co do roku. Naukowcy są zgodni, że zamiana biegunów magnetycznych Ziemi zdarzała się wielokrotnie w ciągu ostatniego miliarda lat, jest to jednak zjawisko nieprzewidywalne. Odstępy pomiędzy kolejnymi przebiegunowaniami są bardzo nieregularne: czasem wynosiły 10 tysięcy lat, kiedy indziej – dziesiątki milionów lat. Ostatnia zamiana biegunów magnetycznych Ziemi miała miejsce ok. 780 tysięcy lat temu.

*Miałoby to nastąpić po serii gwałtownych zaburzeń pola magnetycznego Słońca.* Magnetyzm Ziemi nie ma wiele wspólnego z aktywnością słoneczną. To prawda, że pole magnetyczne ponad naszą planetą jest odkształcane, niejako „zdmuchiwane” przez wiatr słoneczny, czyli strumienie naładowanych cząstek wylatujących ze Słońca. Jednak źródło pola magnetycznego Ziemi leży w niej samej. Wnętrze globu składa się z warstw: z zewnątrz stała powłoka, pod nią warstwa roztopionego żelaza, wreszcie stałe żelazne jądro. Pole magnetyczne pochodzi od tego właśnie przewodzącego elektryczność żelaznego oceanu, który znajduje się w ciągłym ruchu. Oddziaływanie przelewającego się, pełnego wirów płynnego materiału z wewnętrznym stałym jądrem wytwarza prąd elektryczny, który podtrzymuje pole magnetyczne Ziemi.

*Naukowcy nie mają wątpliwości – zamiana biegunów jest możliwa i Ziemia już to przechodziła. Można to potwierdzić, badając na przykład zastygnięta*

---

<sup>2</sup> Bardzo ciekawe popularnonaukowe omówienie badań nad zmianami pola magnetycznego Ziemi można znaleźć na stronach NASA, np. w artykule *Eart's inconstant magnetic field* [http://science.nasa.gov/headlines/y2003/29dec\\_magneticfield.htm](http://science.nasa.gov/headlines/y2003/29dec_magneticfield.htm) oraz pod znajdującymi się tam linkami.

lawę. Gdy taki materiał ochładzał się i twardniał, „zapamiętywał” kierunek pola magnetycznego. Dzięki temu po tysiącach lat naukowcy potrafią odtworzyć, jak biegło pole magnetyczne. Oto kolejne kilka zdań, które są akurat prawdziwe. Idźmy jednak dalej. Czeką nas najweselejszy fragment artykułu...

*Nie wiadomo co się stanie, jeśli bieguny gwałtownie zamienią się miejscami. Jeśli zajmie im to raptem kilka lub kilkanaście dni, może to skończyć się globalnym kataklizmem. Potężne tsunami zalewające całe kontynenty albo Warszawa w okolicach równika, palmy kokosowe za oknem oraz mieszkańcy Afryki, którzy musieliby się nauczyć żyć jak Eskimosi, w 40-stopniowym mrozie – tak wygląda czarny scenariusz.* Znane obecnie i nie budzące wątpliwości ślady w lawie wskazują na to, że na zamianę biegunów magnetycznych potrzeba czasu rzędu tysiąca lat. Lecz skąd w ogóle pomysł, że odwrócenie pola magnetycznego Ziemi mogłoby się skończyć kataklizmem? Najwyraźniej autor pomylił sobie bieguny magnetyczne z geograficznymi, po czym te z kolei pomylił z równikiem... Choć nawet gdyby bieguny geograficzne obróciły się o 90 stopni – jak prawdopodobnie wyobrażał sobie autor – to Warszawa w żaden sposób nie znalazłaby się w okolicach równika. A co z palmami wyrastającymi za naszym oknem w ciągu kilkunastu dni? Zaprawdę, niezbadane są ścieżki, którymi błądził umysł redaktora Średzińskiego podczas pisania artykułu. Wszystkim mającym do tej pory wątpliwości przypominam: bieguny geograficzne to punkty na powierzchni Ziemi, przez które przechodzi jej oś obrotu, bieguny magnetyczne są to zaś punkty na powierzchni Ziemi, w których jej pole magnetyczne jest skierowane pionowo w dół. Gdy przypomnimy sobie, że istnienie pola magnetycznego Ziemi jest związane z jej płynnym, będącym w stałym ruchu wnętrzem – przestaje być aż tak dziwne, że bieguny magnetyczne wędrują sobie i nie muszą ani leżeć dokładnie naprzeciwko siebie, ani pokrywać się z biegunami geograficznymi.

Jeśli już mowa o katastrofach – warto tu wspomnieć o problemie, który chętnie podchwytują dziennikarze. Otóż pole magnetyczne Ziemi chroni istniejące na niej życie od szkodliwego bombardowania naładowanymi cząstkami z kosmosu. Gdy zdano sobie sprawę, iż owo pole ulega zmianom, pojawiły się obawy, że jeśli ono osłabnie – np. podczas zamiany biegunów – to życie na Ziemi będzie w jakiś sposób zagrożone. Opinie naukowców są jednak uspokajające. Badania wykazały, że przypadki wielkich wymierań gatunków nie są w żaden sposób skorelowane ze zmianami pola magnetycznego w historii Ziemi. Co więcej, niedawne symulacje wykonane na superkomputerach sugerują, że nawet podczas przebiegunowania pole magnetyczne Ziemi nie „zgaśnie” – lecz będzie miało dość skomplikowany kształt, nie przypominający pola typowej sztabki magnezu<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Obszerniejsze objaśnienia można znaleźć na stronach popularyzacyjnych NASA: <http://www.gsfc.nasa.gov/scienceques2002/20030103.htm>

Wróćmy jednak do tsunami, palm i Eskimosów. Autor artykułu za jednym zamachem wkomponowuje w ten apokaliptyczny obraz słowa prof. Demiańskiego: „*Teoretycznie jest to możliwe. Aktywność Słońca jest dokładnie śledzona od 300 lat. To prawda, że stwierdzono czasowe wzrosty okresu aktywności naszej gwiazdy, jednak nigdy nie odstępowały one od normy*”. Jest to przykład skandalicznej nierzetelności dziennikarskiej. Wyraźnie widać, że astrofizyk z UW wypowiadał się na temat aktywności Słońca, a nie Ziemi. Tymczasem jego wypowiedź została nonszalancko wyrwana z kontekstu i wklejona jako podsumowanie dziennikarskich fantazji o globalnej katastrofie.

Co gorsza, wypowiedź poważnego naukowca sąsiaduje z niby-równoprawną „teorią” niejakiego Patryka Geryła, autora książki „*Proroctwo Orionu na rok 2012*”, który uważa, że *dokładnie za pięć lat nasza planeta gwałtownie się przebiegunuje. Powołuje się przy tym na zapiski starożytnych Majów, Egipcjan i Sumerów. Kalendarz Majów, plemienia uważanego za doskonałych astronomów, kończy się właśnie na roku 2012. Pojawia się nawet dokładna data – 21 grudnia. To wtedy ma dojść do kataklizmu, po którym Ziemia całkowicie zmieni swe oblicze. Według autora książki, Słońce co 11,5 tysiąca lat przeżywa stan hiperaktywności. Z zapisków starożytnych Majów wynika, że ostatni raz miało to miejsce blisko 10 tysięcy lat przed naszą erą. To cykliczne zjawisko ma się powtórzyć właśnie w 2012 roku. Gdyby rzeczywiście tak się stało, Ziemia zamieniłaby się w gigantyczną cewkę elektromagnetyczną. A wtedy bieguny mogą „przeskoczyć” z miejsca na miejsce. Co ciekawe, według geologów 11 tysięcy lat temu naszą planetę nawiedził wielki potop. Czyżby teraz miała nastąpić „powtórka z rozrywki”?* Cały ten akapit można określić jedynie nazwą: stek bzdur. Wymienione starożytne narody mogły się rzeczywiście pochwalić znacznymi osiągnięciami w astronomii – lecz były to sukcesy jedynie na miarę ich czasów. Wiedza o ruchach planet, przewidywanie zaćmień, opracowywanie wcale precyzyjnych kalendarzy – to i owszem. Jednak o magnetyzmie ziemskim Majowie, Egipcjanie i Sumerowie mieli równie małe pojęcie, co redaktor Średziński z „Dziennika”.

Przeglądając komentarze czytelników pod internetowym wydaniem artykułu, zreflektowałam się: Czy nasza kolekcja pseudonaukowej twórczości jest na pewno tylko wesołym hobby? Może się okazać, że dla wielu czytelników (a blog cieszy się dużą popularnością) jest ona czymś ważniejszym. Na stronie „Dziennika” pewna internautka napisała niezdarne, lecz prosto i od serca: *Naukowcy nigdy oficjalnie nie przyznają o zbliżającej się katastrofie!* – i nie była osamotniona w swych poglądach. Nasuwa się tu kinematograficzne skojarzenie: czyżbyśmy byli tymi naukowcami, którzy na filmach katastroficznych ostrzegają przed nadciągającym nieszczęściem? Jak na filmie zwracam się do szanownych Czytelników *Fotonu*: Jesteście nauczycielami. Tylko wy możecie uratować świat przed nowym pokoleniem ludzkiej głupoty. Powodzenia.



## CO CZYTAĆ

*Niezwykłe dzieje mózgu Einsteina*, Carolin Abraham, Wyd. MUZA S.A., Warszawa 2006.

O książce Carolin Abraham można by powiedzieć, że jest jeszcze jedną publikacją o najbardziej znanym, genialnym fizyku – nobliście – Albercie Einsteinie. Jednak książkę tę różni od wcześniej wydanych sposób podejścia do poruszanych zagadnień. Wydaje się, że autorka bardzo gruntownie przeanalizowała dostępną jej literaturę dotyczącą życia i pracy naukowej tego genialnego fizyka, a także dokonała próby analizy dostępnej jej literatury dotyczącej badań prowadzonych przez naukowców nad niezwykle skomplikowanym organem, jakim jest mózg. Przytoczyła wiele interesujących szczegółów z życia A. Einsteina. W obszernych przypisach wyjaśnia skąd pochodzą informacje zamieszczone przez nią w książce, powołuje się bądź to na literaturę przedmiotu, bądź też na rozmowy, jakie przeprowadziła z ludźmi, którzy mieli okazję zetknąć się z Einsteinem. Wiele uwagi poświęca autorka ostatniemu okresowi w życiu Einsteina – jego pobytowi w ośrodku naukowym w Princeton, a także okolicznościom jego śmierci.

Einstein wydał szczegółowe dyspozycje dotyczące losu swoich doczesnych szczątków. Jego ciało miało być poddane kremacji, a prochy rozsypane nad rzeką Delaware. Przed naprędce zorganizowaną uroczystością kremacji, doktor Thomas Harvey przeprowadził sekcję zwłok uczonego. Okoliczności wyjęcia mózgu Einsteina pozostają dość niejasne. Rodzina Einsteina nic o tym nie wiedziała i nie wyraziła na to zgody. Carolin Abraham ujawnia, że wiedział o tym główny wykonawca testamentu Einsteina, Otto Nathan. Mało tego, był obecny w prosektorium wtedy, gdy Harvey wyjmował mózg uczonego. Już po przeprowadzeniu sekcji, okulista, a zarazem przyjaciel Einsteina, dr Abrams otrzymał pozwolenie na zatrzymanie oczu tego wielkiego uczonego. Wszyscy, którzy znali zmarłego geniusza, zdawali sobie sprawę z tego, że nie pochwałali on kultu ludzkich szczątków. By życzeniem Einsteina, a przede wszystkim jego rodziny, stało się zadość, Harvey złożył obietnicę, że mózg Einsteina nie dostanie się w niepowołane ręce, a przede wszystkim, że zostanie wykorzystany wyłącznie do celów naukowych, a wyniki badań zostaną opublikowane wyłącznie w specjalistycznych czasopismach naukowych.

Biorąc pod uwagę fakt, że Harvey wiedział za mało o neuropatologii, by móc dokonać dogłębnej analizy mózgu geniusza, a w latach pięćdziesiątych XX wieku naukowcy w ogóle nie bardzo wiedzieli jak przeprowadzić tego typu badania, ten osobliwy eksponat laboratoryjny musiał czekać bardzo długo na moment, kiedy rozwój neurologii, genetyki i innych nauk medycznych pozwoli na dokonanie szczegółowej analizy tego najbardziej skomplikowanego organu ludzkiego.

Tak więc Harvey na wiele lat stał się strażnikiem mózgu zmarłego noblisty. I właśnie o tym, jak trudnego podjął się zadania, opowiada ta książka. Opowiada również o tym, jak w słojach po musztardzie, w roztworze z formaliny, ten niezwykle eksponat wędrował po Stanach Zjednoczonych i Kanadzie. Jego losy były nierozzerwalnie związane z burzliwymi losami Thomasa Harveya, aż do momentu, gdy 84-letni Harvey zdecydował się na oddanie swego bezcennego depozytu tam, „gdzie sprawa miała swój początek” – do szpitala w Princeton.

Książkę C. Abraham polecić można tym czytelnikom, których interesują pikantne szczegóły z życia wielkich ludzi, ciekawostki i sensacje.

Natomiast osobom chcącym pogłębić swoją wiedzę dotyczącą życia i pracy naukowej Alberta Einsteina, polecamy następujące publikacje:

- [1] Pais A.: *Pan Bóg jest wyrafinowany... Nauka i życie Alberta Einsteina*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001.
- [2] Pais A.: *Tu żył Albert Einstein*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1994.
- [3] Infeld L.: *Albert Einstein*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1979.
- [4] Einstein A.: *Zapiski autobiograficzne*, Wydawnictwo „Znak”, Kraków 1996.
- [5] *Einstein w cytatach* (zebr. A. Calaprine), Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.
- [6] Brian D.: *Albert Einstein. Nowe, udostępnione w ostatnich latach dokumenty z archiwum Einsteina*, Wyd. AMBER, Warszawa 1997.
- [7] Jerome F.: *Akta Einsteina. Tajna wojna FBI i J. Edgara Hoovera z największym naukowcem świata*, Wyd. AMBER, Warszawa 2003.
- [8] White M., Gribbin J.: *Einstein. Życie nauką*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
- [9] Highfield R., Carter P.: *Prywatne życie Alberta Einsteina*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1995.

Młodzież zachęcamy do zapoznania się z bardzo zabawną i ciekawą książeczką, w której Einstein, z figlarnym poczuciem humoru, odpowiada dzieciom na ich listy, a także ze wspomnieniami o Einsteinie, które są zapisem „życia na gorąco”, dokonanych przez przyjaciela A. Einsteina, Petera Bucky’ego:

1. *Panie Profesorze Einstein. Alberta Einsteina listy do i od dzieci* (pod red. A. Calaprice), „Świat Książki”, Warszawa 2005.



2. Bucky P.A., Weakland A.: *Fizyka, kobiety i skrzypce. Einstein prywatnie*, Wyd. „Iskry”, Warszawa 1996.

I jeszcze jedna, bardzo nietypowa, publikacja. Jej autorzy ukazują życie genialnego uczonego i wyjaśniają jego teorie w formie... komiksu:

Schwartz J., McGuinness M.: *Einstein dla początkujących*, Wydawnictwo „ALFA”, Warszawa 1989.

Wszystkie wymienione tytuły, a także wiele innych publikacji z bogatej literatury poświęconej Albertowi Einsteinowi, znaleźć można w Bibliotece Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Maria Pawłowska  
Biblioteka Instytutu Fizyki UJ

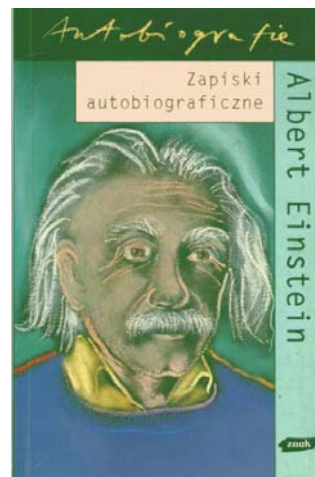
*Zapiski autobiograficzne*, Albert Einstein, „Znak”, Kraków 1996, tłum. Jacek Bieroń, wstęp Andrzej Staruszkiewicz.

Mała książeczka autorstwa samego Einsteina nosi tytuł nieco mylący *Zapiski autobiograficzne*. Sam Einstein pisze o *Zapiskach*, jak o swoim nekrologu: „...u człowieka takiego jak ja liczy się co on myśli i jak myśli, a nie co robi lub co go boli” (str. 24). *Zapiski* są raczej credo naukowym Einsteina, jego epistemologii, wyjaśnieniem rozwoju jego drogi naukowej. Są zapisem fascynującego myślenia geniusza. Warto choćby tylko uchylić rąbka tajemnicy powstawania wielkiej fizyki.

*Zapiski* nie mają zupełnie nic wspólnego z biografią Einsteina. Z *Zapisków* można się zorientować, jak trudne zadanie mają jego biografowie, którzy w lepszy lub gorszy (częściej) sposób opisują zmagania naukowe Einsteina i jego osiągnięcia. W tej mierze książki Paisa są najrzetelniejsze. Być może, choć to pesymistyczny punkt widzenia, jakoś tych zmagania nie ma większego znaczenia, bo czytelnicy i tak nic nie rozumieją i albo opuszczają te fragmenty w biografiach, albo je po prostu zapominają. Zostaje ogólne wrażenie, że Einstein zmagał się z bardzo trudnymi problemami i że znalazł rozwiązania rewolucyjne.

Gorąco polecamy lekturę *Zapisków autobiograficznych*, aczkolwiek czytelnikowi należy się przestroga – pełne zrozumienie tekstu wymaga wiedzy wykraczającej nieco ponad poziom przeciętnego liceum.

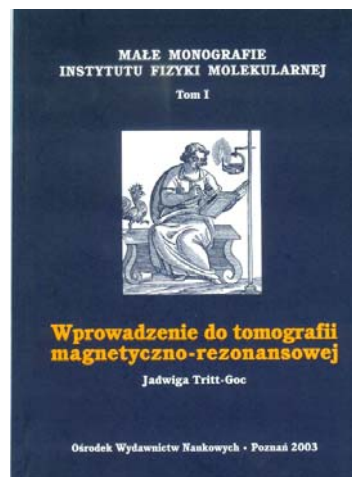
Z.G-M



## PODRĘCZNIKI

*Wprowadzenie do tomografii magnetyczno-rezonansowej*, „Małe monografie Instytutu Fizyki Molekularnej”, Tom I, Jadwiga Tritt-Goc, Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań 2003

Celem książki jest przedstawienie zasad obrazowania metodą rezonansu magnetycznego. Omówione są tu podstawy jądrowego rezonansu magnetycznego. Przedstawiony jest opis klasyczny i kwantowy zjawiska, powstawanie sygnałów rezonansowych oraz wprowadzone pojęcia czasów relaksacji. Idea tomografii magnetyczno-rezonansowej pokazana jest na przykładzie doświadczenia wykonanego przez Lauterbura. Zasady tworzenia obrazu tomograficznego omówione są na podstawie jednej z najczęściej stosowanych metod obrazowania, tzw. metody spin-warp. Wyjaśnione jest pojęcie rozdzielczości w trzech wymiarach oraz kontrastu stosowanego w tomografii. Przedstawiono przykłady wykorzystania tomografii magnetyczno-rezonansowej w badaniach prowadzonych w Pracowni Mikroobrazowania NMR w Instytucie Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu.



---

*Krótkie wprowadzenie do równań różniczkowych cząstkowych*, Paweł Strzelecki, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2006

Ten rzeczywiście niewielki podręcznik (format B5, 152 str.) czyta się z przyjemnością. Autor wyraźnie chce dotrzeć do Czytelnika a nie wykazać się tylko tym, „jaki to on jest mądry”. Podręcznik ten stanowi dobry przykład, że przybliżenie szerszemu gronu ładnych, ale i niełatwych problemów związanych z równaniami różniczkowymi cząstkowymi jest możliwe. Jest to w szczególności ważne dla tych wszystkich, którzy zajmują się, na przykład, numerycznym rozwiązywaniem zagadnień różniczkowych.

Podręcznik ten, zaopatrzony w przypisy z oznaczeniami i uzupełnieniami, z opisem elementarnych własności transformat fourierowskich, a także zadaniami oraz spisem literatury (głównie podręczników i monografii), nadaje się również bardzo dobrze do samodzielnego studiowania dla osób, które nie brały udziału w odpowiednich zajęciach akademickich.

Romuald Wit  
Instytut Fizyki UJ

CZYTAMY PO ANGIELSKU**Gecko tape will stick you to ceiling**

June 2003

NewScientist.com news service

Will Knight

<http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn3785>

A new material covered with nanoscopic hairs that mimic those found on geckos' feet could allow people to walk up to sheer surfaces and across ceilings, say researchers.

Andre Geim and colleagues at the UK's Manchester University say covering a person's hand with the material would be enough to let them stick to the ceiling. The tape could be detached from the surface by simply peeling it slowly away from one side.

„Spiderman is science fiction and will remain in comics”, Geim told **New Scientist**. „But hopefully 'gecko-man' will become less science fiction and more a reality in the near future”.

Geckos can climb even the most slippery surface with ease and hang from glass using a single toe. The secret behind this extraordinary climbing skill lies with millions of tiny keratin hairs – called setae – on the surface of each foot. An intermolecular phenomenon known as van der Waals force is exerted by each of these hairs. Although the force is individually miniscule, the millions of hairs collectively produce a powerful adhesive effect.

**Dictionary:**

**stick** – przyklejać

**sheer** – stromy

**detach** – odklejać

**miniscule** – maleńki

**collectively** – kolektywnie



## FIZYKA W INTERNECIE

<http://www.mzfch.boo.pl/>

Uczniowie Koła Młodych Przyrodników działającego w Zespole Szkół Ponadgimnazjalnych im. J. Nojego w Czarnkowie wykonują, filmują, a następnie umieszczają na stronie internetowej doświadczenia z fizyki.

Inspiracją do stworzenia tej strony była lektura książek pt.: *Między zabawą, a fizyką* i *Między zabawą, a chemią* autorstwa Živko Kostića oraz *Od żaby do radia* Bożeny Pędzisz.

Lista zamieszczonych doświadczeń:

- Burza w probówce
- Dmuchaające butelki
- Szklanka-pompa
- Lampa Alladyna
- Śpiewające ogórki
- Filmy do doświadczeń
- Fajerwerki
- Pioruny kuliste
- Silnik elektryczny
- Zaskakująca równowaga
- Doświadczenie Gaussa-Webera
- Tabletki dmuchające balony
- Ogórkowy budzik
- Fabryka CO<sub>2</sub>
- Teatr z magnezem w tle



## Ogród Doświadczeń im. Stanisława Lema w Krakowie

Marek Gołąb  
Instytut Fizyki UJ

W Krakowie w Parku Lotników Polskich w Czyżynach powstaje szczególna ekspozycja edukacyjna – pierwszy w Polsce park edukacyjny – Ogród Doświadczeń im. Stanisława Lema. Przedsięwzięcie jest inspirowane Polem Doświadczeń Zmysłowych („Erfahrungsfeld zur Entfaltung der Sinne”) powstałym w 1996 roku w centrum Norymbergi na wydzielonym obszarze malowniczego parku miejskiego.

Norymberski park edukacyjny jest realizacją idei niemieckiego pedagoga, psychologa, filozofa i matematyka Hugo Kükelhausa, który – w latach dwudziestych ubiegłego stulecia – opracował koncepcję interaktywnej ekspozycji edukacyjnej, która bawiąc – uczy. Przez większość swojego życia projektował i konstruował edukacyjne urządzenia przybliżające dzieciom i młodzieży istotę zjawisk zachodzących w świecie przyrody ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk fizycznych. Przeciwności losu nie pozwoliły Kükelhausowi na pełną realizację wizji sensorycznego ogrodu. Dopiero po jego śmierci w 1984 r. rodzina i przyjaciele postanowili spełnić marzenie mistrza w oparciu o pozostawioną przez niego kolekcję skonstruowanych urządzeń i bogatą dokumentację. Obecnie ekspozycja ta składa się z kilku części tematycznych obejmujących różne aspekty poznawania przyrody.

Realizowany obecnie w Krakowie projekt również nawiązuje do idei ogrodu sensorycznego. Instalacje edukacyjne umieszczone w przestrzeni parkowej w możliwie szeroki sposób oddziałują na zmysły. Zdecydowana większość planowanych stanowisk prezentuje zjawiska fizyczne. Fakt, że w Ogrodzie Doświadczeń pojawia się fizyka jako dziedzina poznania jest nieprzypadkowy. Cały dorobek współczesnego przyrodoznawstwa wyróżnia fizykę jako naukę podstawową, badającą najbardziej fundamentalne procesy i zjawiska. Równocześnie prezentacja eksperymentów fizycznych w otwartej przestrzeni parkowej, na tle żyjącej przyrody, w promieniach Słońca czy też pod niebem pokrytym chmurami nadaje procesowi poznania rzeczywistości fizycznej dodatkowy wymiar. Pokazuje, że stanowimy nieodłączny element Przyrody.

Specyfika Ogrodu Doświadczeń jako ekspozycji plenerowej koncentruje poznanie na doznaniach wzrokowych, słuchowych i szeroko rozumianym dotyku, włączając w to poczucie równowagi, percepcję ruchu, odczuwanie przyspieszeń. W Ogrodzie Doświadczeń znajdują się trzy typy stanowisk edukacyjnych, które scharakteryzować można określeniami: *badacz-uczestnik*, *badacz-eksperymentator* i *badacz-obserwator*. Badacz-uczestnik jest elementem badanego

układu fizycznego. Poznaje on zjawisko fizyczne obmyślając eksperyment, uczestnicząc w nim i doświadczając na sobie przebiegu zjawiska. Ten typ eksperymentu nazwiemy sensorycznym. Natomiast w doświadczeniach interaktywnych przedmiotem badania jest zestaw doświadczalny. Tutaj badacz-eksperymentator, uruchamia doświadczenie i obserwuje jego przebieg pozostając na zewnątrz układu eksperymentalnego. W niektórych przypadkach może modyfikować warunki początkowe i przebieg zjawiska. Z kolei badacz-obszawator nie kreuje zjawiska fizycznego ani nie ma żadnego wpływu na jego przebieg. Na stanowiskach tego typu zjawisko lub eksperyment przebiega swoim naturalnym torem lub jest przeprowadzane przez inne osoby. Najbardziej twórcze i wartościowe są eksperymenty z dwóch pierwszych grup. Jednakowoż istnieją też bardzo wartościowe eksperymenty grupy trzeciej, zwracające uwagę na aspekty rzeczywistości, których zwykle sobie nie uświadamiamy.

Nadrzędnym celem, jaki przyświecał koncepcji merytorycznej krakowskiego parku edukacyjnego, było zachęcenie odbiorcy do uczestnictwa w procesie poznawczym przez maksymalizację czynnika sensorycznego i interaktywnego. W skutecznej edukacji istotne jest, aby proces poznawczy zaciekaiał i inspirował stanowiąc równocześnie element zabawy. Odwiedzający Ogród Doświadczeń, niezależnie od tego czy jest przedszkolakiem czy dojrzałym człowiekiem, włączając się aktywnie w proces poznawania przyrody, stanie się badaczem-uczestnikiem. Równocześnie zwiedzający odkryje, że poznawanie praw przyrody może być znakomitą zabawą, fascynującą przygodą zarówno intelektualną jak, równie często, aktywnością *stricte* fizyczną. Być może dla dzieci niektóre zjawiska mogą wydać się czymś magicznym, ale ich oszawanie przez samodzielne, interaktywne w nich uczestnictwo doprowadzi stopniowo do przekonania, że dają się one wytłumaczyć racjonalnie.

Ekspozycja Ogrodu Doświadczeń będzie podlegać ciągłemu rozwojowi, stale poszerzając swoją ofertę nauki przez zabawę. Obecnie na powierzchni 6 ha planowane jest rozmieszczenie ponad 50 stanowisk edukacyjnych. Z praktycznego punktu widzenia w ekspozycji można będzie wyróżnić kilka działów. Część ogólna uświadomi skalę wielkości otaczającego nas świata od skali atomowej do skali bliskiego Kosmosu (Układ Słoneczny). Da poznać strukturę powierzchni Ziemi, jej ścieżek, skał i minerałów poznawanych dotykiem stóp i rąk. Unaoczni bieg czasu, ukazując ruch cienia na tarczy zegara słonecznego. Kilka następnych stanowisk pozwoli na badanie zachowania cieczy w warunkach statycznych i w ruchu. Optyka zaprezentuje podstawowe prawa optyki geometrycznej i falowej dając zwiedzającym szansę zabawy światłem i barwą. Podkreśli też szczególne znaczenie zmysłu wzroku jako formy kontaktu z otaczającym światem oraz wprowadzi w świat iluzji optycznych. Zabawy z dźwiękiem ukierunkowane są głównie na różne sposoby wytwarzania dźwięków, ale zwracają również uwagę na oddziaływanie dźwięków na człowieka. Z kolei dźwięk jako szczególny przykład fali mechanicznej w naturalny sposób prowa-

dzi do kilku zestawów prezentujących różne aspekty drgań harmoniczych, ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska rezonansu. Bardzo ciężkie kamienne wahadło pozwalające poznawać świat drgań, a równocześnie podstawy dynamiki, stanowi przejście do następnego działu ekspozycji, gdzie na kolejnych stanowiskach edukacyjnych zwiedzający, stając się częścią układu doświadczalnego, uczestniczyć będą w poznawaniu przyrody, doznając sił działających statycznie i dynamicznie.

20 listopada 2006 odbyło się uroczyste wkopanie kamienia węgielnego pod przyszłą ekspozycję edukacyjną z Aktem Erekcyjnym podpisanym przez Prezydenta Miasta Krakowa Jacka Majchrowskiego i Koordynatora projektu „Nowa Huta – Nowa Szansa” – Dyrektora Ośrodka Kultury im. C.K. Norwida, panią Danutę Szymońską.

Otwarcie Ogrodu Doświadczeń im. Stanisława Lema ma nastąpić 1 czerwca 2007 roku.

Do zobaczenia w Ogrodzie...

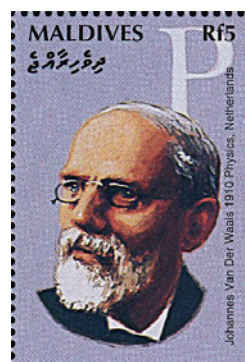
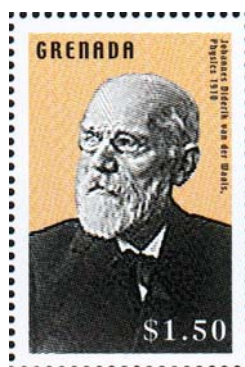
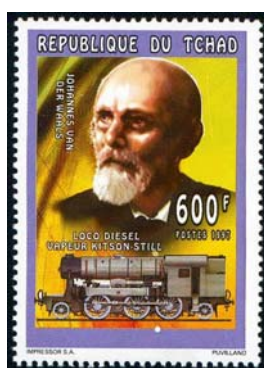
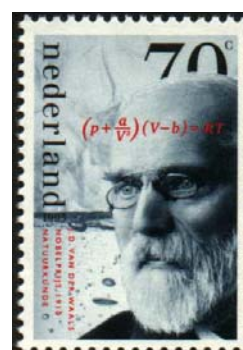
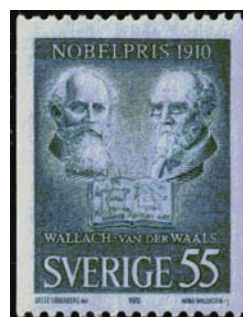


## Van der Waals w filatelistyce

Jerzy Bartke

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków

Holenderski fizyk Johannes Diderik van der Waals (1837–1923) uwidocznił się na pięciu znaczkach pocztowych. Najwcześniejszym z nich jest znaczek szwedzki z 1970 roku, wydany w 60. rocznicę otrzymania przez van der Waalsa Nagrody Nobla (1910 rok). Na znaczku tym van der Waals przedstawiony jest wraz z Otto Wallochem, laureatem Nagrody Nobla z chemii w tym samym roku. W roku 1993 poczta Holandii wydała piękny znaczek, na którym oprócz podobizny van der Waalsa widnieje jego słynne równanie stanu gazu rzeczywistego. W późniejszych latach podobizna van der Waalsa znalazła się, wśród innych laureatów Nagrody Nobla, na znaczkach bardziej „egzotycznych” krajów: Republiki Czad, Grenady i Malediwów.







KOMUNIKAT

**Seminaria środowiskowe  
„Problemy dydaktyki fizyki”  
Wrocław**

UNIWERSYTET WROCŁAWSKI  
INSTYTUT FIZYKI DOŚWIADCZALNEJ  
**ZAKŁAD NAUCZANIA FIZYKI**  
pl. Maxa Borna 9, 50-204 Wrocław  
tel.: (71) 375 93 46, e-mail: ewa@ifd.uni.wroc.pl  
oraz



**Oddział Wrocławski Polskiego Towarzystwa Fizycznego**

zapraszają do udziału w seminariach środowiskowych „Problemy dydaktyki fizyki”.

W ramach tych spotkań chcemy dyskutować na tematy związane z reformą nauczania fizyki w nowym gimnazjum i liceum jak również umożliwić Państwu wysłuchanie ciekawych wykładów z fizyki.

**Seminaria odbywają się w środy, o godz. 16.00, w Instytucie Fizyki Doświadczalnej, w sali 119.**

Program, na semestr letni roku akademickiego 2006/2007, przedstawia się następująco:

Data	Tytuł	Prowadzący
28.03.2007	Od nowoczesnej pracowni fizycznej przez kierunki ściśle do konkurencyjnej, opartej na wiedzy, gospodarki.	Barbara Bartnik, Alicja Witwicka
25.04.2007	Czy ludzi można traktować jak cząstki, czyli kilka słów o socjofizyce	Katarzyna Weron
30.05.2007	Od makro- do mikroświata	Marek Nowicki

Ewa Dębowska



KOMUNIKAT

## Konferencja GIREP-u 2007



Official e-mail address of GIREP-EPEC 2007 [ge2@ffri.hr](mailto:ge2@ffri.hr)

### Chair person of Local Organizing Committee

Rajka Jurdana-Šepić PhD,  
Physics Department,  
Faculty of Arts and Sciences,  
University of Rijeka

Omladinska 14, HR 51000 Rijeka, Croatia

Phone: +385 51 345 051; +385 51 345 042

Fax: +385 51 345 207

E-mail: [jurdana@ffri.hr](mailto:jurdana@ffri.hr)

Web: <http://www.ffri.hr/~jurdana/>



KOMUNIKAT

**Zjazd Fizyków Polskich 2007  
Szczecin**

**XXXIX Zjazd Fizyków Polskich**

Szczecin, 9-14 września 2007r.



Organizatorzy:  
Oddział Szczeciński Polskiego Towarzystwa Fizycznego  
Uniwersytet Szczeciński  
Politechnika Szczecińska  
Akademia Morska w Szczecinie

Więcej informacji na stronie: <http://zjazdptf.ps.pl/>

KOMUNIKAT**Międzynarodowa Szkoła Letnia  
dla Młodych Fizyków**

W tym roku po raz trzeci organizowany jest konkurs kwalifikacyjny do udziału w Międzynarodowej Letniej Szkole dla Młodych Fizyków (ISSYP) adresowany do uczniów klas I i II szkół ponadgimnazjalnych.

Tegoroczny regulamin konkursu umieszczony jest na stronie:  
<http://issyp.ift.uni.wroc.pl/infokonkurs.html>

Poszukiwani są nauczyciele posługujący się językiem angielskim, którzy mogliby pojechać do Kanady jako opiekunowie wybranych uczniów w sierpniu 2007 lub w następnych latach.

We wszystkich sprawach związanych z konkursem można kontaktować się bezpośrednio:

Dobromiła Nowak-Szczepaniak: [dobnosz@gmail.com](mailto:dobnosz@gmail.com)  
[dobno@ift.uni.wroc.pl](mailto:dobno@ift.uni.wroc.pl)  
lub pisać na adres: [issyp@ift.uni.wroc.pl](mailto:issyp@ift.uni.wroc.pl)

KOMUNIKAT**First Step to Nobel Prize in Physics****XV International Competition  
„First Step to Nobel Prize in Physics”**

The deadline for submitting the competition papers to the XV „First Step to Nobel Prize in Physics” is March 31. Do not forget to attach and sign the „Participation Form” (the empty form may be downloaded from our home page – its address is in my signature).

Waldemar Gorzkowski  
President of the FS

Waldemar Gorzkowski  
gorzk@ifpan.edu.pl

Home pages:

a) „First Step to Nobel Prize in Physics”:  
<http://info.ifpan.edu.pl/firststep>

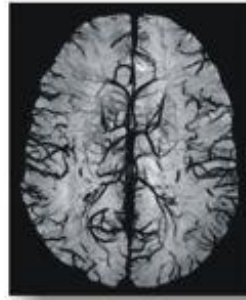
or

[www.ifpan.edu.pl/firststep](http://www.ifpan.edu.pl/firststep)

b) International Physics Olympiads:  
[www.jyu.fi/ipho](http://www.jyu.fi/ipho)



Obraz MRJ kręgosłupa

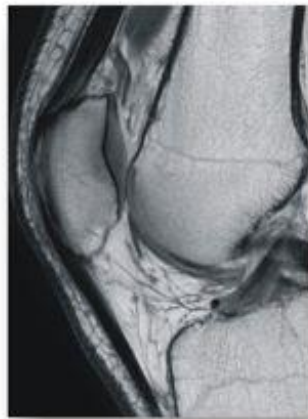


Obraz MRJ mózgu



Obraz MRJ całego ciała

## Magnetyczny Rezonans Jądrowy



Obraz MRJ stawu kolanowego



Obraz MRJ stawu skokowego