

Co w zeszycie

W ostatnich latach medycyna, dzięki fizyce, zrobiła wręcz niebywałe postępy. Spójrzmy choćby tylko na metody diagnostyczne. Zaczęło się od wykonywania prostych zdjęć rentgenowskich (rtg). Ponieważ kości znacznie bardziej niż miękkie tkanki pochłaniają promienie X, to na zdjęciu rtg możemy zobaczyć np. złamaną kość ręki. Miękkie tkanki rzuciły fizykom następne wyzwanie – jak można by je zobaczyć. Fizycy uporali się z tym zagadnieniem dzięki odkryciu zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego. Zgłębianie problemu oddziaływania pól elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach z materią dzięki mechanice kwantowej i elektrodynamice kwantowej otworzyło drogę do zrozumienia nowych zjawisk fizycznych i do znalezienia licznych technicznych zastosowań. Świat stał się inny niż 100, a nawet 50 lat temu.

By pomóc wam zrozumieć magnetyczny rezonans jądrowy i jego zastosowania w medycynie, zapoznamy was z tajemniczą własnością kwantową cząstek, a mianowicie ze spinem, bowiem to on gra kluczową rolę w tym zjawisku. Opowiemy wam o fizyku Jacku Hennelu, który przed przeszło pół wiekiem w Krakowie był członkiem zespołu, który badał ten problem. Chodził on do szkoły, która dla wielu z was byłaby szkołą marzeń.

Omawiane w tym zeszycie zjawisko fluorescencji też dotyczy oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z materią. Dowiedziecie się też, dlaczego fizycy polowali na tzw. cząstkę Higgsa i cieszą się z jej znalezienia.

Z.G-M

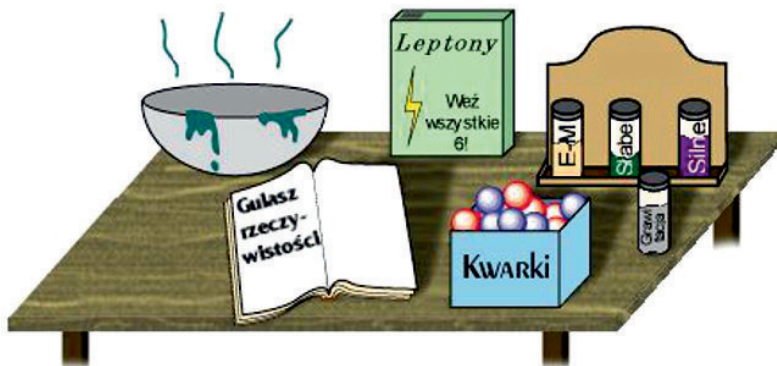


Spis treści

Dlaczego fizycy szukali tzw. „boskiej cząstki”?	1
Tomografia magnetyczno-rezonansowa	5
Atlas mózgu	9
Spin	11
Naturalny GPS zwierząt	13
Jack Hennel – od sypialni na sali balowej na zamku w Rydzynie do magnetycznego rezonansu jądrowego	14
Co to jest fluorescencja	16
Zadania z Konkursu Fizycznego Lwiątko 2012	19
Zadania i testy z magnetyzmu	20

Dlaczego fizycy szukali tzw. „boskiej cząstki”?

<http://efizyka.win.pl/przygoda/>¹



Z czego zbudowany jest świat?

Fizycy od stuleci próbują rozwiązać zagadkę, z czego zbudowany jest świat. Opracowali teorię zwaną **Modelem Standardowym**. Wyjaśnia ona z czego zbudowany jest świat i co utrzymuje go w całości. Jest to teoria, która opisuje setki znanych nam cząstek oraz oddziaływania między nimi jedynie za pomocą:

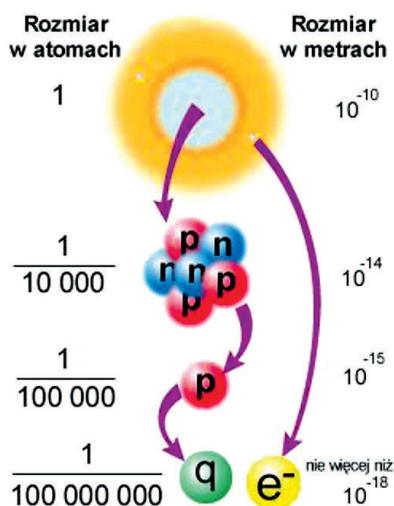
- **6 kwarków;**
- **6 leptonów** – najbardziej znanym leptonem jest elektron;
- **cząstek przenoszących oddziaływanie**, jak np. foton.

Skala atomu

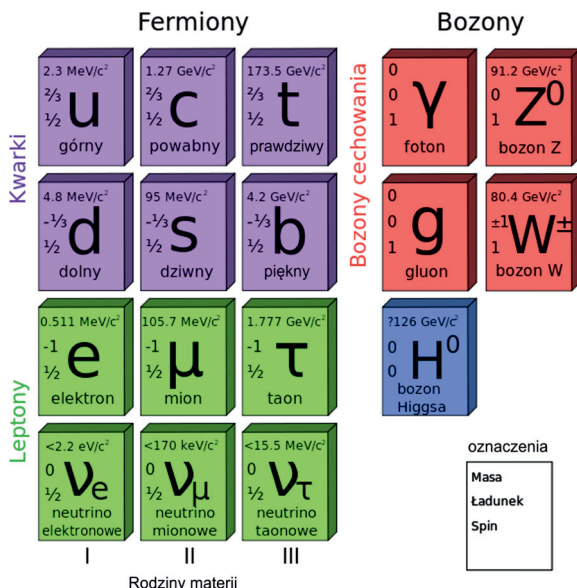
Już atom jest bardzo mały, jednak jądro atomowe jest 10 tysięcy razy mniejsze niż atom, a kwarki i elektrony są przynajmniej 10 tysięcy razy mniejsze niż jądro. Nie wiemy dokładnie, jakie są rozmiary kwarków i elektronów; są one na pewno mniejsze niż 10^{-18} metra i mogą być dosłownymi punktami – tego jednak nie wiemy.

Wszystkie znane cząstki materii składają się z kwarków i leptonów. Oddziałują one poprzez wymianę cząstek przenoszących oddziaływanie.

Podstawowe składniki, jakie Model proponuje, są przedstawione na diagramie na następnej stronie. Składniki te stanowią trzy różne grupy oraz jedną pojedynczą cząstkę zwaną bozonem Higgsa. To na nią było trwające parę lat polowanie.



¹ Z tej doskonałej strony internetowej pochodzą niektóre fragmenty i ilustracje.



Kwarki są jednym z rodzajów cząstek materii. Większość materii, która nas otacza, jest zbudowana z protonów i neutronów, które z kolei składają się właśnie z kwarków.

Mamy **sześć kwarków**, lecz fizycy mówią zwykle o trzech parach: górny–dolny (*up–down*), powabny–dziwny (*charm–strange*) i prawdziwy–piękny (*truth–beauty*); obecnie w języku angielskim używa się nazw *top–bottom*.

Kwarki mają niezwykłą własność – ich ładunek elektryczny jest **ułamkowy** (w jednostkach tzw. ładunku elementarnego) w przeciwieństwie do protonu i elektronu, mających odpowiednio ładunki $+1$ i -1 . Kwarki posiadają jeszcze inny rodzaj ładunku, zwany ładunkiem kolorowym.

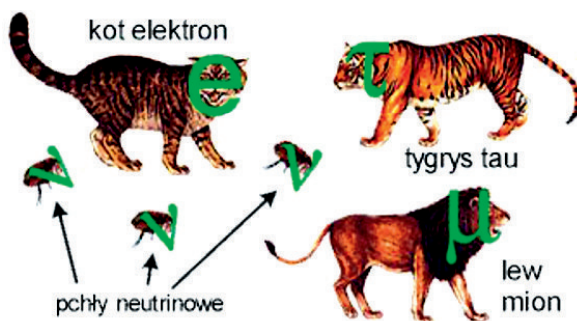
Najtrudniej uchwytyny kwark **prawdziwy** został odkryty w roku 1995, czyli 20 lat po tym, jak teoretycznie przewidziano jego istnienie.



Innym rodzajem cząstek materii są **leptony**. Istnieje sześć rodzajów leptonów, z których trzy mają ładunek elektryczny, a trzy są elektrycznie obojętne. Wydają się one być cząstkami bez jakiegokolwiek wewnętrznej struktury. Najbardziej znanym leptonem jest **elektron** (e^-). Pozostałe dwa naładowane leptony to **mion** (μ) i lepton **tau** (τ), które mają ładunek identyczny jak elektrony, lecz ich masa jest dużo większa. Innymi leptonami są trzy rodzaje **neutrino** (ν). Są one elektrycznie obojętne, posiadają niewielką masę, a ich obserwacja jest bardzo trudna².

² O polowaniu na neutrino można przeczytać we wcześniejszych *Neutrinach*, które znajdują się na stronie internetowej *Fotonu* <http://www.if.uj.edu.pl/Foton/>.

Kwarki są towarzyskie i występują tylko w cząstkach złożonych wraz z innymi kwarkami, podczas gdy leptony są cząstkami-samotnikami. Można wyobrazić sobie leptony jako niezależne koty z pchłami neutrinowymi, które bardzo trudno dostrzec.



Dla każdego leptonu istnieje jeszcze odpowiadająca mu cząstka antymaterii – antylepton. Antyelektron ma specjalną nazwę – pozyton.

Rodziny cząstek materii

Zarówno kwarki, jak i leptony występują w trzech grupach. Każdą z tych grup nazywamy **rodziną** cząstek materii (ładunki wynoszą $+2/3$, $-1/3$, 0 , -1 przy przejściu w dół każdej generacji). Cząstki przypisano do danej rodziny według kryterium rosnącej masy.

Jak już powiedzieliśmy, cała materia widoczna we Wszechświecie jest zbudowana z cząstek pierwszej rodziny – z kwarków górnych, dolnych oraz z elektronów. Tłumaczymy to tym, że wszystkie cząstki drugiej i trzeciej rodziny są niestabilne i szybko ulegają rozpadowi na stabilne cząstki z pierwszej rodziny.

Co scala świat – cząstki pośredniczące w oddziaływaniach

Poniżej znajduje się zestawienie różnych oddziaływań i cząstek pośredniczących w ich przenoszeniu. W szkole zapoznałeś się z oddziaływaniami grawitacyjnymi i elektromagnetycznymi. Oddziaływania, które są odpowiedzialne np. za utrzymywanie się jądra atomowego w całości (nie rozpada się, pomimo że ładunki jednoimienne się odpychają) są to oddziaływania jądrowe, czyli jak dziś wiemy tzw. oddziaływania słabe i silne. Fizycy opisują oddziaływania poprzez wprowadzenie tzw. cząstek pośredniczących. I tak, np. gluony „sklejają” kwarki w jądrze, a fotony utrzymują elektrony wokół dodatnich jader, tak że atomy są neutralne. W tabelce poniżej podany jest komplet bozonów pośredniczących.

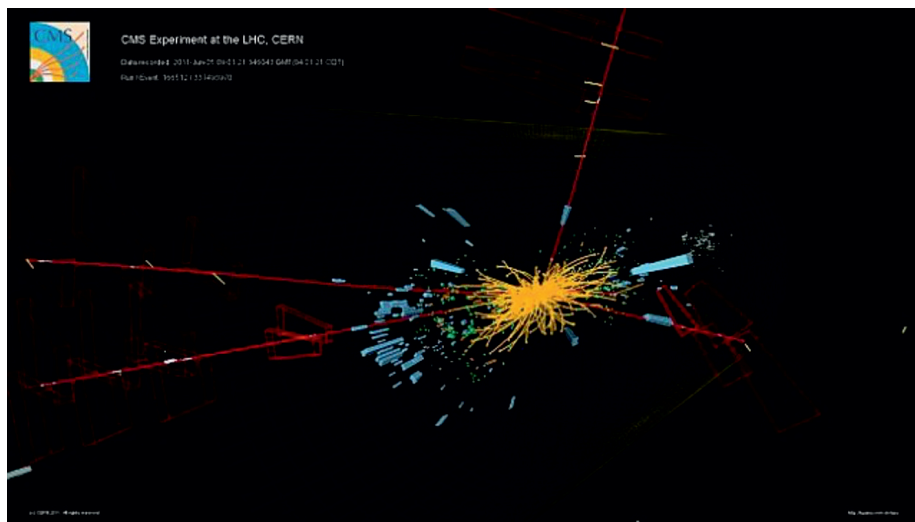
Oddziaływanie	grawitacyjne	słabe elektrosłabe	elektromagnetyczne	silne
Przenoszone przez	grawiton	bozony W^+ W^- Z^0	foton	gluon
Działa na	wszystko	kwarki i leptony	kwarki, naładowane leptony i W^+ , W^-	kwarki i gluony

Zagadka: masy cząstek

Dlaczego foton różni się od cząstek W masą? Przecież obie cząstki przenoszą oddziaływanie – dlaczego więc masa fotonu jest zerowa, a bozony W są takie ciężkie?

Aby to wyjaśnić fizycy wprowadzili do teorii tzw. **pole Higgsa**, które oddziałuje z cząstkami, w wyniku czego nadaje im masę. Pole Higgsa wymaga istnienia cząstki zwanej **bozonem Higgsa**.

Eksperyment, w którym znaleziono bozon Higgsa, prowadzony był od roku 2007. Polegał on na zderzaniu w LHC, czyli Wielkim Zderzaczu Hadronów, przeciwniebieżnych wiązek protonów. Chodziło o osiągnięcie tak dużej energii przy zderzaniu, aby umożliwić powstanie i zaobserwowanie bozonu Higgsa. Spodziewano się, że jest on bardzo krótkożyłowy i natychmiast rozpada się, np. na dwa fotony lub dwa bozony W. To po produktach rozpadu identyfikuje się cząstki żyjące bardzo krótko.



Zderzenie p-p (proton-proton) w LHC

„Odkrycie cząstki mającej właściwości takie, jakie teoria przewiduje dla bozonu Higgsa, otwiera drogę do dalszych badań i może rzucić światło na inne tajemnice Wszechświata. To kamień milowy w naszym rozumieniu Natury” – powiedział dyrektor generalny CERN Rolf Heuer na konferencji 4 lipca 2012 roku, kiedy ogłoszono to odkrycie.

W eksperymentach o nazwie ATLAS i CMS, w których „upolowano” bozon Higgsa, uczestniczy wielu fizyków i inżynierów również z Krakowa i z Warszawy.

Polecamy czytelnikom artykuł Krzysztofa Fiałkowskiego pt. „*Boska cząstka*” odkryta? (*Foton* 118, Jesień 2012); <http://www.if.uj.edu.pl/Foton/>.

Z.G-M



Tomografia magnetyczno-rezonansowa

Współczesna medycyna dysponuje różnorodnymi metodami diagnostycznymi. Ich opracowanie wymaga często bliskiej współpracy lekarzy, inżynierów i naukowców z wielu różnych dziedzin. Owocem tej współpracy są narzędzia, w których najnowsze technologie stosuje się m.in. do wczesnego identyfikowania chorób, badania skutków działania nowych leków lub do przeprowadzania trudnych operacji. Jedną z takich nowoczesnych metod diagnostycznych jest obrazowanie za pomocą magnetycznego rezonansu jądrowego, zwane tomografią magnetyczno-rezonansową, a potocznie – „rezonansem”.

Co to jest magnetyczny rezonans jądrowy?

Zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego zostało opisane po raz pierwszy przez Isidora Rabię w 1938 roku. Efekt rezonansu magnetycznego stoi u podstaw dwóch ważnych metod badawczych – spektrometrii i obrazowania magnetyczno-rezonansowego. Metody te znajdują szerokie zastosowanie zarówno w badaniach materiałowych jak również w biologii i medycynie. Wielkie znaczenie jądrowego rezonansu magnetycznego z punktu widzenia postępu nauki odzwierciedla fakt, że Szwedzka Akademia Nauk przyznała w sumie aż pięć Nagród Nobla związanych z tym efektem: dwie z fizyki (w 1944 i 1952 roku), dwie z chemii (w 1991 i 2002 roku) i jedną z medycyny (w 2003).



Laureaci Nagród Nobla przyznanych za opracowanie i udoskonalenie metod badawczych oraz zastosowania magnetycznego rezonansu jądrowego: od lewej Isidor Rabi (1944), Felix Bloch i Edward Purcell (1952), Richard Ernst (1991), Kurt Wuthrich (2002), Paul Lauterbour i Peter Mansfield (2003)

Dokładny opis metody obrazowania z użyciem magnetycznego rezonansu jądrowego wykracza znacznie poza ramy tego artykułu. Pozwolę sobie w związku z tym na pewne uproszczenia, które nakreślą ogólny zarys tej techniki obrazowania, a zainteresowanego czytelnika odsyłam do doskonałego podręcznika prof. Jacka W. Hennela i prof. Teresy Kryst-Widźgowskiej pt. *Na czym polega tomografia magnetyczno-rezonansowa? Zasada i przykłady zastosowań w medycynie* (IFJ, Kraków 1995).

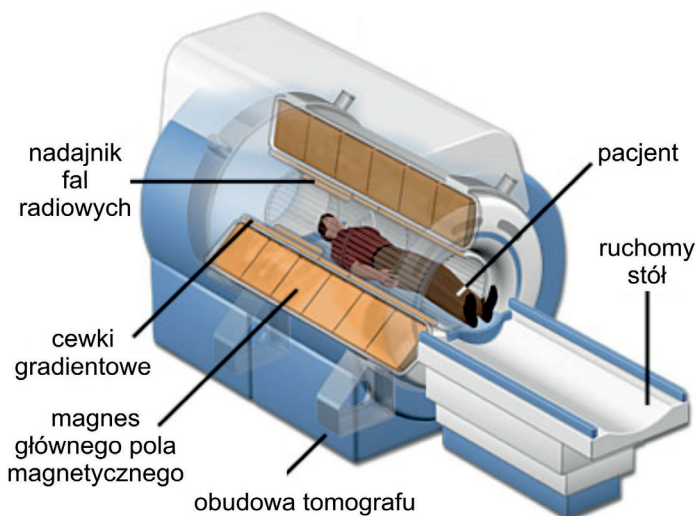
Zacznijmy od wyjaśnienia znaczenia poszczególnych słów w nazwie metody. Słowa „magnetyczny” i „jądrowy” wynikają z tego, że mamy do czynienia ze zjawiskiem, w którym istotne są magnetyczne własności jąder atomowych. Natomiast słowo „rezonans” odnosi się do efektu zachodzącego podczas wymuszonych drgań badanego układu fizycznego. Zjawisko to można zaobserwować na zwykłej huśtawce. Wytrącona z równowagi huśtawka kołysze się z charakterystyczną dla siebie *częstotliwością*, czyli liczbą drgań na sekundę. Jeśli na przykład jedno pełne wachnięcie (tam i z powrotem) zajmuje 2 s, to znaczy, że częstotliwość drgań wynosi pół drgania na sekundę. Tę częstotliwość nazywa się *częstotliwością własną*. Ze względu na siły tarcia wychylenia huśtawki stopniowo maleją, natomiast częstotliwość wahań pozostaje niemal taka sama. Po pewnym czasie drgania ustają całkowicie i huśtawka zatrzymuje się. Co można zrobić, żeby temu zapobiec? Można na przykład regularnie popychać huśtawkę. Dostarczamy w ten sposób huśtawce energii, kompensując straty wynikające z tarcia. Najlepszy efekt uzyskamy, jeśli będziemy ją popychać za każdym razem, kiedy znajduje się w punkcie największego wychylenia. Oznacza to, że będziemy działać na huśtawkę z siłą o tej samej częstotliwości, co częstotliwość własna huśtawki. Taki przypadek, kiedy częstotliwość wymuszająca i częstotliwość własna układu są idealnie dopasowane nosi nazwę rezonansu. Efekt ten zachodzi zarówno dla drgań mechanicznych, takich jak ruch huśtawki, jak również dla drgań elektromagnetycznych. W przypadku magnetycznego rezonansu jądrowego rolę huśtawki pełnią jądra atomowe wchodzące w skład naszego ciała, znajdujące się w polu magnetycznym tomografu, a rolę osoby popychającej huśtawkę – fala elektromagnetyczna o częstotliwości radiowej. Częstotliwość własna każdego jądra atomowego zależy od intensywności pola magnetycznego w danym miejscu oraz od typu jądra. Oznacza to, że jeśli w każdym miejscu w tomografie mielibyśmy inną wartość pola magnetycznego, to teoretycznie moglibyśmy tak dobrać częstotliwość wymuszającej fali elektromagnetycznej, żeby dopasować się do częstotliwości własnej każdego wybranego jądra i pobudzać je wybiórczo do drgań. W praktyce jest to możliwe nie dla pojedynczych jąder, ale dla większych ich grup, tzw. *voxeli*, czyli małych sześcianników zlokalizowanych w konkretnych miejscach w organizmie.

Jak zbudowany jest tomograf rezonansu magnetycznego?

Podstawowym elementem tomografu jest magnes wytwarzający główne pole magnetyczne, w którym musi znajdować się pacjent w trakcie badania (rys. 1).

W chwili obecnej najczęściej wykorzystuje się magnesy nadprzewodzące, mające kształt wielkiej cewki w kształcie solenoidu, chłodzonej ciekłym helem. W obudowie głównego magnesu umieszcza się również szereg dodatkowych cewek o skomplikowanych kształtach (tzw. cewek gradientowych), których celem jest zróżnicowanie pola magnetycznego od punktu do punktu tak, aby móc rejestrować drgania pochodzące od poszczególnych grup jąder atomowych znajdujących się w różnych miejscach organizmu pacjenta. Regularne włączanie i wyłączanie tych cewek powo-





Rys. 1. Schemat budowy tomografu do obrazowania magnetyczno-rezonansowego

duże dość nieprzyjemny hałas. W trosce o komfort podczas badania zakłada się więc pacjentowi słuchawki. Żeby wymusić drgania jąder atomowych używa się fali elektromagnetycznej o częstotliwości radiowej. Dlatego istotnym elementem tomografu jest także nadajnik fal radiowych wysyłający tzw. impuls częstotliwości radiowej oraz ich odbiornik, pozwalający na zarejestrowanie drgań pochodzących od jąder atomowych, czyli tzw. sygnału magnetyczno-rezonansowego. Podczas badania zbierane są sygnały z wielu voxelów, po czym sygnał ten jest analizowany komputerowo, co pozwala zrekonstruować obraz wybranych przekrojów ciała pacjenta.

Co tak naprawdę widać na obrazach magnetycznego rezonansu?

Metoda magnetycznego rezonansu jądrowego pozwala zarejestrować sygnał pochodzący od jąder atomowych posiadających tzw. moment magnetyczny. Najpopularniejszym jądrem atomowym wykorzystywanym w diagnostyce jest jądro atomu wodoru. Jądra atomów wodoru, wchodzących w skład wody, tłuszczów i innych związków chemicznych, występują w dużej ilości w organizmie, co pozwala otrzymać wystarczająco silny sygnał, a tym samym dobrą jakość obrazu. To, co widzimy na obrazkach, odzwierciedla więc w pierwszym przybliżeniu gęstość jąder wodoru w różnych miejscach w organizmie. Tam, gdzie obraz jest jasny – liczba jąder jest duża, a tam gdzie ciemny – mała. Ze względu na różną gęstość organów wewnętrznych, można dobrze określić ich położenie, wielkość, a nawet strukturę wewnętrzną w badanym organizmie. Dobrą ilustracją jest rys. 2, na którym ciemny obszar w miejscu usytuowania płuc odzwierciedla bardzo małą gęstość jąder wodoru w tym organie. Sygnał magnetyczno-rezonansowy zawiera jednak inne cenne informacje. Wróćmy na chwilę do naszej analogii z huśtawką. Wymuszenie drgań jąder atomowych za pomocą fali elektromagnetycznej odpowiada regularnemu popychaniu huśtawki. Jednak po zakończeniu impulsu drgania stopniowo słabną, podobnie jak zmniejsza się wychylenie huśtawki z pozycji równowagi. To, jak szybko

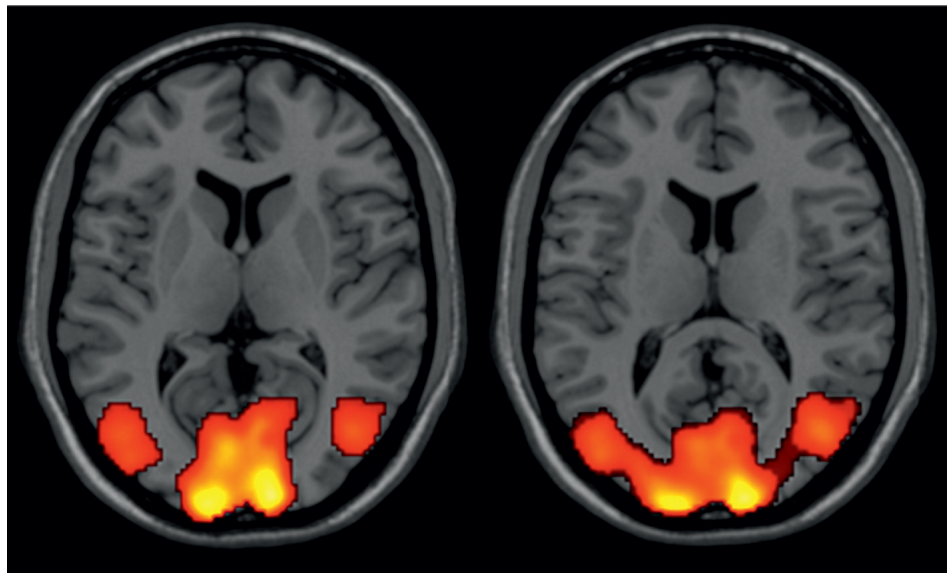


Rys. 2. Przekrój ciała uzyskany metodą obrazowania magnetyczno-rezonansowego

zanika sygnał magnetycznego rezonansu, zależy od obecności różnego rodzaju związków chemicznych w otoczeniu jąder wodoru. Jeśli na przykład związki te mają własności magnetyczne, to będą one silnie oddziaływać z badanymi jądrami i „tłumić” ich drgania, co spowoduje, że sygnał zaniknie szybciej, niż w innych miejscach. Można tak zaplanować badanie, żeby na obrazie uwidocznili różnice w długości trwania sygnału i dzięki temu skonstruować mapę położenia magnetycznej substancji „zakłócającej”. Najlepszym przykładem tego typu badania jest tzw. funkcjonalny rezonans magnetyczny, wykorzystywany w obrazowaniu mózgu. Metoda ta opiera się na różnicy we własnościach magnetycznych hemoglobiny transportującej tlen i dwutlenek węgla we krwi. Hemoglobina połączona z tlenem nie ma własności magnetycznych, natomiast hemoglobina transportująca dwutlenek węgla posiada silny moment magnetyczny. Jeśli jakiś region w mózgu jest bardzo aktywny, to jego zapotrzebowanie na tlen gwałtownie rośnie. Silnie natleniona krew kierowana jest do tych intensywnie pracujących obszarów, co oznacza, że ilość natlenionej, niemagnetycznej hemoglobiny, jest w tych miejscach większa niż w sąsiadujących częściach mózgu. W porównaniu z otaczającymi obszarami region silnie natleniony będzie więc na obrazach funkcjonalnych widoczny jako jaśniejszy, ponieważ sygnał magnetycznego rezonansu będzie w tych miejscach trwał nieco dłużej. Dzięki tej metodzie możliwe jest m.in. nieinwazyjne badanie różnych funkcji neurologicznych. Ilustracją powyższego zjawiska jest rys. 3, na którym wyróżniono obszary mózgu o zwiększonej aktywności w czasie stymulacji.

Kiedy stosuje się obrazowanie magnetyczno-rezonansowe?

Magnetyczny rezonans jądrowy nie wiąże się z narażeniem organizmu na promieniowanie jonizujące i dlatego badania można wielokrotnie powtarzać. Metoda ta nadaje się do obrazowania tzw. tkanek miękkich, szczególnie do diagnostyki nowotworów, niektórych schorzeń mózgu, takich jak stwardnienie rozsiane oraz w przypadku konieczności wykonania badania w czasie ciąży.



Rys. 3. Obraz mózgu uzyskany metodą obrazowania funkcjonalnego. Kolorem pomarańczowym oznaczono te obszary, które były najbardziej aktywne w czasie badania

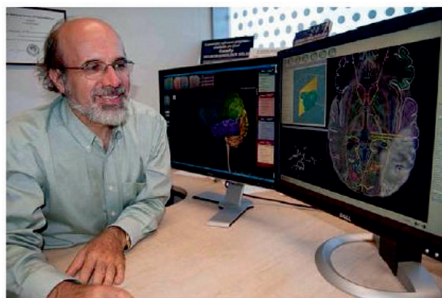
KC

Atlas mózgu

Lekarz chcący upewnić się co do stanu zdrowia swojego pacjenta zleca różne badania. Wyniki tych badań mają często postać tabelki wartości liczbowych. Na przykład standardowe badanie krwi pozwala wyznaczyć m.in. liczbę czerwonych i białych krwinek, liczbę płytek krwi, zawartość hemoglobiny we krwi itp. Ponieważ znane są średnie wartości tych parametrów w przypadku zdrowych osób, odchylenia od normy lekarze mogą zinterpretować jako sygnał choroby. Zaletą technik obrazowych jest to, że zamiast wnioskowania o stanie pacjenta na podstawie listy parametrów lekarz ma do dyspozycji obraz badanego organu. Obraz ten należy jednak również prawidłowo zinterpretować. To, co dla laika może wyglądać na niepozorną plamkę, dla lekarza może oznaczać stan chorobowy. Dlatego z punktu widzenia diagnostyki bardzo istotne jest posiadanie tzw. atlasów różnych organów, z którymi lekarze mogą porównywać wyniki pacjentów i na tej podstawie stawiać diagnozę.

Jednym z pionierów w dziedzinie tworzenia tego typu atlasów jest prof. Wiesław Nowiński, pracujący od ponad 20 lat w Singapurze. Razem ze swoim zespołem z Laboratorium Obrazowania Biomedycznego Agencji A*STAR opracowuje on trójwymiarowe komputerowe reprezentacje mózgu, stanowiące nieocenioną pomoc zarówno dla lekarzy, jak i naukowców oraz studentów.

Dzięki tym atlasom można m.in. wybiórczo wyróżnić naczynia krwionośne, nerwy lub wybrane struktury mózgu. Można również symulować wykonywa-

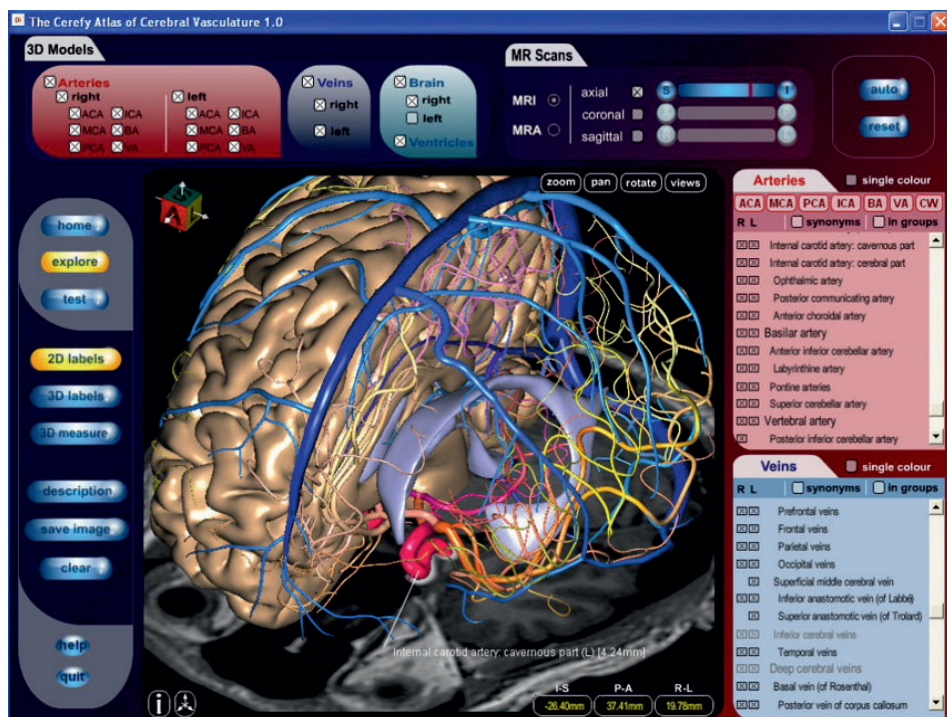


się także opracowaniem atlasów obrazujących konkretne schorzenia neurologiczne. Takie dedykowane atlasy pozwalają na wykonywanie szybkiej automatycznej diagnostyki w izbie przyjęć.

Dane stanowiące podstawę tworzenia atlasów mózgu to obrazy magnetyczno-rezonansowe mózgu samego prof. Nowińskiego. Ponieważ mózg każdego człowieka jest nieco inny, oprócz głównego atlasu istnieją także tzw. atlasy wariantów, pozwalające na łączenie danych konkretnego pacjenta z atlasem podstawowym.

Atlasy opracowywane przez grupę prof. Nowińskiego zostały wielokrotnie nagradzane na międzynarodowych konkursach i są obecnie wykorzystywane powszechnie w oddziałach neurochirurgii oraz w szkołach medycznych na całym świecie.

nie cięć chirurgicznych, a także oglądać interesujący obszar mózgu z różnych kierunków. Pozwala to chirurgom zaplanować operację tak, by wyleczyć pacjenta bez uszkodzania ważnych struktur mózgu. Atlasy ułatwiają także komunikację pomiędzy lekarzem a pacjentem. Dzięki trójwymiarowym obrazom lekarz może lepiej wytłumaczyć pacjentowi przebieg operacji i jej skutki. Grupa prof. Nowińskiego zajmuje



Spin

Spin to jedna z właściwości cząstek-cegiełek, z których zbudowana jest materia. Przy opisie cząstek takich jak elektrony, protony, neutrony, neutrina i fotony podaje się oprócz ich masy, ładunku elektrycznego wielkość zwaną spinem. Spin elektronu, protonu i neutronu wynosi $\frac{1}{2}$, spin fotonu jest równy 1, a np. spin cząstki alfa złożonej z dwóch protonów i dwóch neutronów – 0. **Spin jest wielkością kwantową**, co oznacza, że analogie do opisu i sensu klasycznego, choć bez nich trudno się obejść, mają ograniczone zastosowanie i mogą być mylące.

Jednostką, w jakiej podaje się spin cząstek, jest stała Plancka ($\hbar$)¹. Ma ona bowiem wymiar momentu pędu, czasami nazywanego krętem, czyli $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$ w jednostkach SI.

Wybór stałej Plancka jako jednostki nie jest przypadkowy. Po prostu z mechaniki kwantowej wynika, że elektrony mają spin połówkowy, czyli $\frac{1}{2}\hbar$.

Często robi się porównanie elektronu obdarzonego spinem do maleńkiego wirującego bączka. Taki wirujący bączek ma tzw. moment pędu względem osi, wokół której wiruje. Bączek może wirować szybciej lub wolniej, może się zatrzymać. Może wirować wokół dowolnej osi. Dzięki temu może mieć dowolną wartość momentu pędu, tak jak ciała o masie m mogą mieć dowolne pędy.



Cząstki kwantowe nie mają tej dowolności. „Wirująca” kwantowa cząstka nie może się zatrzymać, nie może stracić spinu. Ponadto fizycy mówią w skrócie, że spin np. elektronu może być skierowany ku górze (co oznaczamy strzałką $\uparrow$) lub do dołu ($\downarrow$).

Zupełnie też inaczej niż klasycznie „dodają” się spiny, gdy mamy do czynienia np. z dwoma cząstkami o spinie $\frac{1}{2}$. Ich wypadkowy spin może być tylko 0 lub 1.

Nieparzysta liczba cząstek o spinie połówkowym nie może dać w sumie spinu równego zero. Parzysta może. Na przykład cząstka α , która składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów, czyli 4 cząstek o spinie połówkowym, ma spin równy zero.

Natura inaczej „obchodzi się” z cząstkami, które mają spiny połówkowe, a inaczej z tymi, które mają spiny całkowite lub zero. Te pierwsze nazywamy **fermionami** – na cześć fizyka włoskiego Enrico Fermiego, a te o spinach całkowitych **bozonami** – na cześć hinduskiego fizyka Satyendry Natha Bosego. Używając przenośni powiemy, że fermiony nie są towarzyskie, a bozony jak najbardziej. O co chodzi w tej przenośni?

Otóż dwa (lub więcej) identycznych fermionów nie może być w identycznym stanie. Muszą się czymś różnić. Jeśli już mają tę samą energię, to muszą się różnić, mówimy, rzutem spinu, co oznacza, że spin jednej cząstki wtedy musi być ustawiony do góry, a drugiej na dół. Ta dziwna własność fermionów nosi nazwę zakazu Pauliego. Na zdjęciu na następnej stronie widzimy fizyków: Wolfganga Pauliego i Nielsa Bohra obserwujących wirującego, precesującego (o tym dalej) bączka.

¹ $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; $h = 6,626\,069\,57 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,135\,667\,516 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.



Jeśli fermionów jest więcej, to muszą zajmować miejsce na „wyższej półce” energii. W atomie będą to kolejne tzw. poziomy energetyczne. Im atom ma więcej elektronów, tym zajmowane są kolejne wyższe poziomy elektronowe. Kolejne atomy mają coraz to inne własności chemiczne, różnią się między sobą.

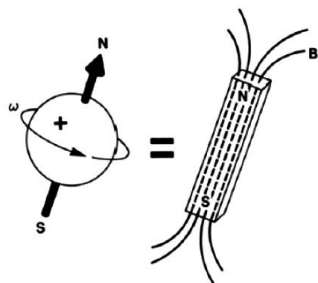
Chemicy kwantowi zajmują się między innymi przewidywaniami własności chemicznych pierwiastków.

W przeciwieństwie do fermionów, „towarzyskie” identyczne bozony mogą w dowolnej ilości znajdować się w jednakowym energetycznie stanie, co ma też zaskakujące własności. Mogą tworzyć tzw. kondensat.

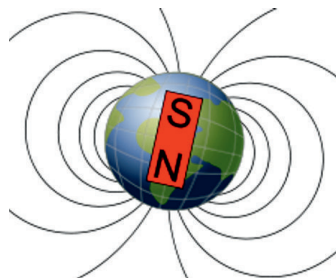
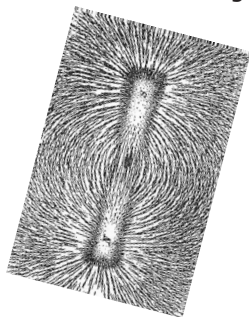
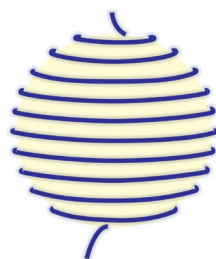
Analogia klasyczna

Jakie własności ma wirujący naładowany bączek klasyczny? Jest on równoważny prądowi elektrycznemu płynącemu przez solenoid nawinięty na kształt kulki.

Taki solenoid, a nawet pojedyncza pętka z przewodnika, przez którą płynie prąd elektryczny, wytwarza pole magnetyczne, które ma kształt zbliżony do pola magnetycznego trwałego magnesu.



Inaczej niż pole elektryczne, które jest wytwarzane przez ładunki elektryczne, pole magnetyczne jest wytwarzane przez magnesy, które mają zawsze dwa bieguny. O takich magnesach mówimy, że są dipolami (z gr. *dipolos* – dwa bieguny). Przykładem dipola jest solenoid z prądem. Okazuje się, że nasza kula ziemiska też jest olbrzymim dipolem. Poznajemy to po kształcie wytwarzanego przez Ziemię pola magnetycznego.



A zatem wirujący bączek klasyczny jest dipolem magnetycznym. A czy cząstki kwantowe posiadające spin też są dipolami magnetycznymi? Czy mają momenty magnetyczne? (bo tak się określa „ładunek magnetyczny”). Okazuje się, że zgodnie z naszymi oczekiwaniami mają momenty magnetyczne.

Elektron posiada moment magnetyczny, ma go też, oczywiście, naładowany dodatnio proton oraz jądra pierwiastków. Co może się wydać zdumiewające, neutralny neutron (o spinie $\frac{1}{2}$) też ma moment magnetyczny. Fizycy nawet wiedzą dlaczego. Neutron wprawdzie jako całość jest elektrycznie obojętny, ale jest zbudowany z naładowanych kwarków i to generuje moment magnetyczny.

Możecie łatwo zrobić sobie doświadczenie z małym bączkiem: rozkręcić go i puścić na stole czy podłodze. Można wtedy zaobserwować, że bączek oprócz wirowania wykonuje ruch zwany **precesją**. Oś obrotu bączka zatacza stożki, a sam bączek zatacza koła. Obliczenie trajektorii takiego bączka, ruchu osi, wprawdzie pozbawione tajemnic, jest jednak dość trudne i wymaga biegłości matematycznej.

Kwantowe bączki, momenty magnetyczne elektronów w atomach, w zewnętrznym polu magnetycznym też wykonują precesję. Pomiar takiej precesji pozwalają na identyfikację precesujących obiektów, i to właśnie jest podstawą zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego i jego zastosowań w fizyce i medycynie.



Z.G-M

Naturalny GPS zwierząt

W globalnej wiosce nawigacja w nieznanym terenie staje się równie ważna jak przesyłanie informacji. Ponieważ ludzkie poczucie orientacji oparte jest głównie na zmyśle wzroku (czasem wspomaganym przez zmysł słuchu), człowiek musiał sobie stworzyć zewnętrzny system nawigacji – GPS. Wiele gatunków zwierząt postarało się o analogiczny system (choć mniej precyzyjny) na drodze ewolucji. Podejrzewa się, że GPS zwierząt wędrownych oparty jest na magnetoreceptorach. Badacze mają jednak nie lada kłopot z ich znalezieniem, ponieważ nie bardzo wiadomo, gdzie ich szukać. Pole magnetyczne przenika przez komórki ciała, dlatego receptory te mogą znajdować się w dowolnym miejscu, a dodatkowo mogą być rozsiane w całym organizmie, ponieważ w przypadku orientacji nie jest potrzebny jeden, konkretny narząd zmysłu.

W ostatnich latach udało się odnaleźć receptory magnetyczne gołębia pocztowego. W górnej części jego dzioba odkryto magnetyty Fe_3O_4 , które magnesują się nietrwale, zgodnie z kierunkiem i zwrotem zewnętrznego pola magnetycznego.



Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej, patrz *Foton* 103, artykuł:
<http://www.if.uj.edu.pl/Foton/103/pdf/05%20golebie.pdf>

DS

Jacek Hennel

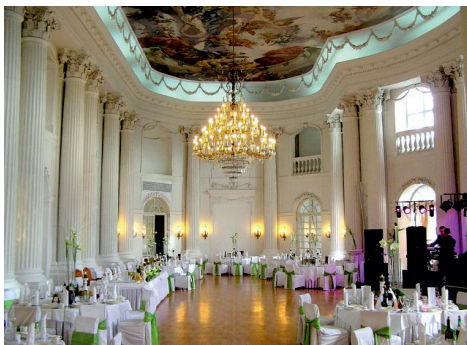
– od sypialni na sali balowej na zamku w Rydzynie do magnetycznego rezonansu jądrowego



Profesor Jacek Hennel to fizyk jądrowy urodzony w 1925 roku, wybitny specjalista od magnetycznego rezonansu jądrowego, tego zjawiska, które ma zastosowanie w medycynie i z którym niektórzy z was może mieli okazję się zetknąć.

Co wspólnego ma sala balowa, przedstawiona w swojej krasie na zdjęciu, z magnetycznym rezonansem jądrowym? Okazuje się, że ma! Otóż w przepięknym zamku w Rydzynie (niedaleko Lesz-

na) dzięki Fundacji Rodziny Sułkowskich w 1928 roku została założona szkoła, męskie gimnazjum z internatem przeznaczone dla ubogich, ale uzdolnionych ziemian, chłopów i robotników. Chłopcy rekomendowani przez swoich nauczycieli otrzymywali od Fundacji stypendium na opłacenie wszystkich kosztów szkoły oraz kieszonkowe. Bardziej zamożni byli finansowani przez swoich rodziców. Wszyscy mieli takie samo kieszonkowe. W szkole nosili popielate garnitury i czapki szkolne z insygnium szkoły. Mieszkali na zamku. Młodsze klasy miały wieloosobową sypialnię właśnie w sali balowej (młodszy uczniowie to znaczy 12-, 13-latkowie, bo w tym wieku rozpoczynało się naukę w gimnazjum). Do szkoły



w Rydzynie (zdjęcie obok) Jacka przywiózł ojciec, chemik pracujący w zakładach azotowych w Mościcach. W domu Jacek z bratem był zachęcany do wszelkich robót ręcznych, jak to się wtedy nazywało. Ojciec sprawił chłopcom warsztat stolarski, w którym pod okiem fachowego stolarza uczyli się posługiwania narzędziami i wykonywali proste przedmioty, takie jak np. karmnik dla ptaszków. Uczyli się też pod okiem mistrza stolarskiego

rysunku technicznego. Był to dla Jacka wstęp do pracy w pracowni stolarskiej w Rydzynie, gdzie chłopcy wykonywali profesjonalne meble, a przede wszystkim łódki, na których w lecie wyruszali na wyprawy. Warsztaty były mocną stroną szkoły. Pracownie szkolne były znakomicie wyposażone, np. w pracowni biologicznej jeden mikroskop przypadał na dwóch uczniów. Znajdowała się tam także cała galeria wypchanych zwierząt. O fizycznej pracowni – nieco później.

Klasy były niezbyt liczne. W całej szkole w 1938 roku, gdy wstąpił do niej Jacek Hennel, uczyło się 137 uczniów. Po porannej pobudce i toalecie, modlitwie i krótkiej mszy była jedna lekcja, a po niej śniadanie, spożywane, jak i wszystkie inne posiłki, razem z nauczycielami przy wspólnych stołach. Po obiedzie, krótkiej rekreacji, dwóch godzinach gier sportowych i kąpieli do czasu kolacji odrabiano lekcje. Następnie odbywały się zajęcia własne i w kółkach zainteresowań. Jacek uczęszczał do szkoły tylko przez jeden rok szkolny. W maju 1939 roku w obawie przed nadciągającą wojną (Rydzyna była położona tylko 6 km od granicy z Niemcami) chłopców odesłano do domów.

Jacek będąc pierwszorzecznikiem nie miał jeszcze fizyki jako obowiązkowego przedmiotu. Uczęszczał jednak na liczne pokazy i wykłady z fizyki, które wraz ze starszymi uczniami prowadził słynny fizyk Arkadiusz Piekara (na zdjęciu obok). Profesor Hennel do tej pory pamięta niektóre z nich, np. demonstrację jak stopione szkło przewodzi prąd elektryczny czy bardzo efektowny sposób przedstawienia ruchu jednostajnie przyspieszonego. Profesor Arkadiusz Piekara, docent UJ, oprócz doskonale wyposażonej pracowni fizycznej miał w Rydzynie swoje laboratorium fizyczne, w którym wykonywał doświadczenia naukowe i uzyskiwał wyniki światowej rangi. W niektórych pracach pomagali mu starsi uczniowie. To wtedy Jacek Hennel łknął bakcyła fizyki.



Szkoła w Rydzynie przez 11 lat działania zdołała wypromować 114 absolwentów. Wszyscy oni ukończyli studia wyższe. Niestety prawie 30% z nich zginęło w czasie wojny.

W czasie niemieckiej okupacji Jacek Hennel uczył się w domu i zdawał egzaminy na tzw. tajnych kompletach. Gdy skończył 16 lat w obawie przed wywiezieniem do Niemiec na roboty¹ ojciec załatwił mu pracę w Zakładach Azotowych w Mościcach, oczywiście przejętych przez Niemców, ale w dużej mierze z pracującą polską załogą. Jacek miał szczęście, przeszedł przez rozmaite warsztaty i laboratoria, nawet warsztaty zegarmistrzowskie. To mu się niesłychanie przydało w jego późniejszej pracy jako fizyka-doświadczałnika. Pewnego razu, gdy pracował w zakładzie aparatów pomiarowych, dostał zlecenie od profesora Arkadiusza Piekary, któremu po powrocie z obozów udało się zatrudnić w Mościcach. Chodziło o samodzielne zbadanie tajemniczego fragmentu jakiegoś urządzenia. Jacek stwierdził, że to grafit. Później dowiedział się, że był to fragment rakiety V2, która omyłkowo spadła na terenie Polski i którą przechwycili partyzanci. Została w konspiracji zbadana przez naszych naukowców i inżynierów i wyeksponowana samolotem do Londynu.

W 1945 roku Jacek zdał maturę i rozpoczął studia fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim. Szczęście mu sprzyjało. Dostał się pod skrzydła profesora Niewodniczańskiego (patrz *Neutrino* 16), który rozpoznał talent i już nabytą wiedzę techniczną Jacka Hennela. Profesor zlecił Jackowi budowę tzw. małego cyklotronu w piwnicach Instytutu Fizyki przy ulicy Gołębiej (patrz *Neutrino* 17).

Wiedza nabyta przy budowie małego cyklotronu C-48 przydała się przy uruchamianiu większego cyklotronu U-120 sprowadzonego z byłego Związku Radzieckiego do nowopowstałego Instytutu Fizyki Jądrowej.

¹ Niemcy w czasie okupacji wywozili Polaków, nawet bardzo młodych, do obowiązkowych niemieckich prac do Niemiec, by wspomóc swoją gospodarkę ogołoconą z pracowników.

W tym Instytucie profesor Hennel przepracował do emerytury. Prowadził tam badania nad magnetycznym rezonansem jądrowym. Jest ekspertem w tej dziedzinie, autorem podręcznika na ten temat. Jego zdolności i głęboka wiedza techniczna oraz zdobyte w młodości doświadczenie stały się bezcenne w czasach, gdy fizycy budowali swoją aparaturę samodzielnie od podstaw.

Profesor Hennel poświęcił się fizyce, ale znajdował też czas na turystykę. Miał przy tym szczęście wędrować po górach z młodym księdzem Karolem Wojtyłą.

Z.G-M

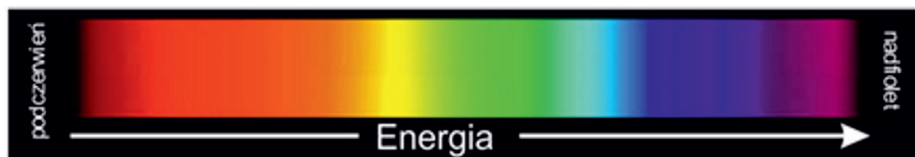
Co to jest fluorescencja

Pewnie wielokrotnie zdarzyło się wam używać fluorescencyjnych pisaków, plasteliny czy samoprzylepnych karteczek. Ich kolory są bardzo intensywne, wyróżniają się na tle innych przedmiotów o „zwykłych” barwach, sprawiają nawet wrażenie jakby świeciły. Skąd się biorą te niezwykle właściwości? Czy to tylko nasze złudzenie?

To nie złudzenie! Te przedmioty naprawdę świecą, a odpowiedzialne za to jest zjawisko fluorescencji.

Kolorowy świat

Zacznijmy od początku. Otaczające nas przedmioty widzimy, ponieważ światło (słoneczne lub z lampy) odbija się od nich, a następnie trafia do naszych oczu. Może wiecie, że białe światło składa się z wielu różnych kolorów – żeby się o tym przekonać wystarczy zaobserwować tęczę. Można to też sprawdzić budując własny domowy *spektroskop* – doświadczenie to zostało opisane w *Neutrinie* 7 z 2009 roku (lekturę tego numeru polecam także tym, którzy chcą się dowiedzieć więcej o właściwościach światła). Na razie potrzebna jest nam informacja o tym, że światło niesie z sobą energię, a każdy z kolorów ma tę energię nieco inną. Najmniej energii niesie kolor czerwony, najwięcej – fioletowy. Pozostałe barwy plasują się pomiędzy nimi w takiej kolejności, w jakiej występują w tęczy (rys. 1). Promieniowanie elektromagnetyczne o energii nieco mniejszej niż światło czerwone nazywamy podczerwienią, a to o energii nieco większej od światła fioletowego – nadfioletem (lub ultrafioletem – UV). Zarówno podczerwień jak i nadfiolet są niewidoczne dla naszych oczu.



Rys. 1. Barwy tęczy uporządkowane według rosnącej energii

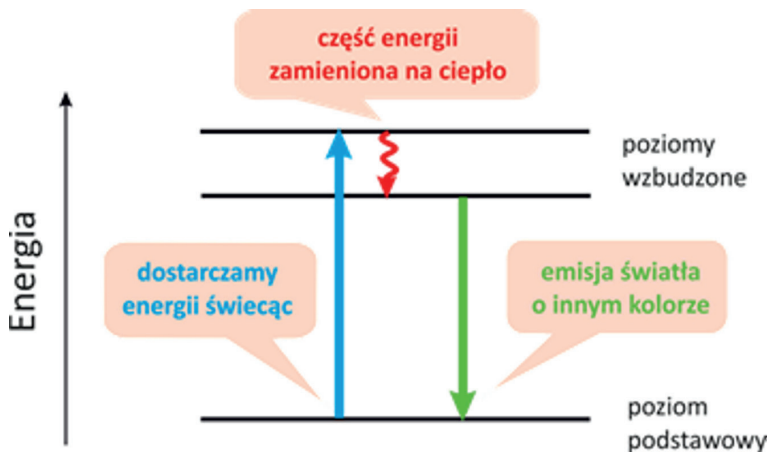
Patrząc teraz na niebieski kubek. Ma taki kolor, ponieważ z białego światła, które go oświetla, do moich oczu trafia tylko barwa niebieska. Mówiąc ściślej, może to być mieszanina kolorów, które razem dadzą ten konkretny odcień. A co się dzieje z resztą kolorów, czyli resztą energii? Otóż barwnik, którego

użyto do pomalowania mojego kubka, pochłonał pozostałe światło! (Fizycy powiedzą, że *zaabsorbował*).

Dlaczego barwnik znajdujący się w farbie pochłania energię? Najprostsza odpowiedź brzmi – bo może! To czy jakaś substancja światło o danej energii odbije, zaabsorbuje czy przepuści dalej, zależy od jej budowy. Każdy materiał składa się z pojedynczych atomów lub z cząsteczek, czyli grup atomów połączonych z sobą. Te małe elementy mogą się kręcić, drgać, zmieniać wzajemne położenie lub swoją wewnętrzną strukturę. Okazuje się jednak, że nie są to dowolne zmiany. To, jakie ułożenia są dozwolone, opisuje mechanika kwantowa – teoria, która zrewolucjonizowała fizykę na początku XX wieku. Aby nastąpiła zmiana pierwotnego ułożenia (nazywamy je *stanem podstawowym*) na inne, musi być dostarczona energia – zgodnie z mechaniką kwantową, ściśle określona ilość energii. Ten proces nazywamy wzbudzeniem (rys. 2).

Jeżeli więc światło ma odpowiednią energię – czyli odpowiedni kolor – aby wzbudzić cząsteczkę (lub atom), to cząsteczka z tego chętnie skorzysta. Tym samym z białego światła „wybrane” zostaną te kolory, które niosą dokładnie ilość energii potrzebną do wzbudzenia. Cały ten proces nazywamy absorpcją. W przypadku mojego kubka niepochłonięte światło zostanie odbite dając barwę niebieską.

Zastanówmy się co dalej dzieje się z taką cząsteczką po zaabsorbowaniu energii w postaci światła. Wzbudzona cząsteczka jest zazwyczaj bardzo niestabilna i będzie „chciała” szybko wrócić do swojego stanu podstawowego, pozbywając się nadmiarowej energii. Im bardziej skomplikowaną ma budowę, tym więcej sposobów pozbycia się nadmiaru energii. Może ją na przykład oddać w postaci ciepła lub przekazać ją innej cząsteczce. Ale może ją też wyświecić – mówimy, że *emituje* światło. I tu dochodzimy do sedna sprawy.



Rys. 2. Schemat poziomów energetycznych cząsteczki. Niebieska strzałka obrazuje absorpcję promieniowania prowadzącą do wzbudzenia cząsteczki, czerwona strzałka – oddanie energii pod postacią ciepła, a zielona – emisję promieniowania

Fluorescencja

Absorpcja światła, a następnie jego bardzo szybka emisja, to właśnie *fluorescencja*. Bardzo szybka oznacza w tym przypadku, że nastąpi ona po czasie krótszym niż 10^{-8} sekundy (taki zapis oznacza jedną stumilionową część sekundy!). Jako pierwszy wyjaśnił to zjawisko irlandzki naukowiec George Ga-

briel Stokes i nadał mu nazwę pochodzącą od minerału, którego badaniem się zajmował – fluorytu.

Najefektowniejszy rodzaj fluorescencji to taki, gdy światło wyemitowane przez substancję ma inny kolor niż to, którym ją oświetlamy. Jak taka zamiana jest możliwa?

Zazwyczaj obiekt, który pochłonie energię, nie oddaje jej całej w takiej samej postaci. Może jej część zamienić na ciepło, a część na światło (rys. 2). Dostaniemy więc emisję światła o energii mniejszej niż została zaabsorbowana, czyli o innym kolorze.

Zagadka pisaków wyjaśniona

Nasze oczy reagują na światło, czyli na promieniowanie elektromagnetyczne, o bardzo ograniczonym zakresie energii (tak jak na rys 1.: od czerwieni do fioletu). Typowe źródła białego światła, takie jak Słońce czy żarówka, świecą jednak w nieco szerszym zakresie – emitują także podczerwień i nadfiolet, których nasze oko nie widzi (no, chyba że byłibyśmy na przykład motylem). To, że czegoś nie widzimy, nie oznacza jednak, że tego nie ma. Barwniki użyte do pisaków fluorescencyjnych mogą pochłonać promieniowanie nadfioletowe, a wyemitować widzialne. Podczas gdy „zwykłe” przedmioty, aby zwrócić naszą uwagę, mogą użyć tylko odbitego światła widzialnego, te które nazywamy fluorescencyjnymi wykorzystują także tę część światła, która dla nas jest niewidoczna. Stąd wrażenie jakby były „jaśniejsze niż powinny”. Farby o takich właściwościach wykorzystuje się nie tylko do produkcji gadżetów jak pisaki lub linijki, ale też do malowania znaków rozpoznawczych na statkach i samolotach czy znaków drogowych.

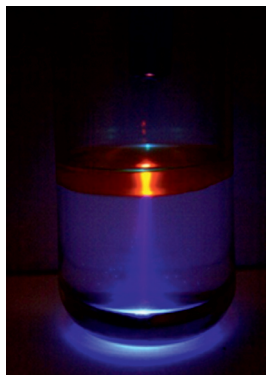
Z fluorescencją mamy bliski kontakt znacznie częściej niż myślicie. Obserwujemy ją niemal codziennie, na przykład zakładając białe ubrania. Z biegiem czasu jasne rzeczy mogą pożółknąć. Barwą dopełniającą do żółtego (czyli taką, która połączona z nią da kolor biały) jest barwa niebieska. Tak więc, aby odyskać biel trzeba zmusić materiał do emisji światła niebieskiego. Robi się to dodając do proszków do prania tak zwane wybielacze optyczne, które absorbując nadfiolet ze światła dziennego, emitują niebieskie światło widzialne.

Fluorescencję wykorzystano też w świetłówkach, które ostatnio wypierają tradycyjne żarówki. Ich wewnętrzna strona pokryta jest specjalnymi związkami chemicznymi zwanymi *luminoforami*. Pod wpływem wyładowania elektrycznego gaz znajdujący się wewnątrz świetlówki (zazwyczaj jest to para rtęci) emituje promieniowanie nadfioletowe. Luminofor poprzez fluorescencję przetwarza niewidzialne promieniowanie w światło widzialne o odcieniu zależnym od budowy jego cząsteczek (np. zbliżone do światła dziennego, ciepły lub zimny odcień bieli czy nawet światło kolorowe w celach dekoracyjnych tzw. reklamy neonowe).

Fascynujące przykłady fluorescencji można też obserwować w przyrodzie. Fluoryzujące właściwości posiadają między innymi żyjące pod wodą koralowce. Najgłębiej pod wodę dociera promieniowanie z zakresu niebieskiego i nadfioletu. Przetworzenie tego światła w światło widzialne pomaga koralowcom w procesie fotosyntezy oraz leczeniu uszkodzonych tkanek. Piękne kolorowe zdjęcia podwodnych koralowców wraz z ciekawym opisami możecie zobaczyć na stronie <http://www.fluorescencja.com>.

Na koniec należy się wam jeszcze jedno wyjaśnienie. Niektóre substancje świecą znacznie dłużej niż 10^{-8} sekundy. Dzieje się tak, gdy znajdują się w tak zwanym stanie *metastabilnym*. W takim wypadku nie spieszy im się tak bar-

dzo z oddaniem energii i mogą to robić stopniowo. Takie zjawisko nazywamy *fosforescencją*, a zaobserwować je możecie np. na tabliczkach ze strzałkami ewakuacyjnymi w budynkach.



Fluorescencja oliwy z oliwek

Do szklanki nalewamy wodę, a następnie oliwę. Ciecze ułożą się warstwami. Całość od góry oświetlamy niebieskim laserem. Światło laserowe jest monochromatyczne, czyli jednokolorowe. Niebieska wiązka przechodząc przez oliwę „zmienia” swój kolor na czerwony. W rzeczywistości część światła niebieskiego jest zaabsorbowana, powodując świecenie oliwy na czerwono. Ta część światła, która przejdzie przez oliwę – niezaabsorbowana – jest nadal niebieska i obserwujemy ją jako niebieski promień w dolnej warstwie.



Agata Mendys

Zadania z Konkursu Fizycznego Lwiątko 2012

1. Wypolerowana stalowa miska działa jak zwierciadło wklęsłe. Gdy zbliżysz nos do jej dna (wstrzymując oddech), poczujesz na twarzy

- A. chłód,
- B. ciepło,
- C. wilgoć,
- D. iskrzenie.
- E. Nie poczujesz nic szczególnego.



Rozwiązanie: Twarz człowieka jest źródłem promieniowania cieplnego, które podobnie do światła odbija się od zwierciadeł. Odpowiedź **B**. Warto przekonać się na własnej skórze!

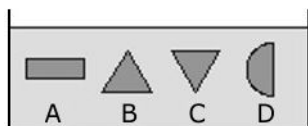
2. Masa Słońca jest ok. 300 000 razy większa od masy Ziemi. Jaki jest stosunek wartości siły grawitacyjnej, jaką Słońce przyciąga Ziemię, do wartości siły, jaką Słońce jest przyciągane przez Ziemię?

- A. 90 000 000 000.
- B. 300 000.
- C. 1.
- D. 1/300 000.
- E. 1/90 000 000 000.

Rozwiązanie: III zasada dynamiki mówi, że siła, z jaką Słońce działa na Ziemię, ma tę samą wartość (i kierunek, a przeciwny zwrot) co siła, z jaką Ziemia działa na Słońce. Odpowiedź **C**. Zauważmy, że prawo powszechnego ciążenia, określające wspólną wartość obu sił $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ (G – stała grawitacyjna,

m_1, m_2 – masy Słońca i Ziemi, r – ich odległość), jest zgodne z tą zasadą: iloczyn $m_1 \cdot m_2$ nie zmienia się, gdy ciała 1 i 2 zamienimy miejscami, więc prawo to daje taką samą wartość siły przyciągania ciała 1 przez 2, jak ciała 2 przez 1.

3. Cztery klocki o różnym kształcie są całkowicie zanurzone w wodzie (rysunek). Objętości klocków są jednakowe. Na który z tych klocków działa największa wypadkowa siła parcia ze strony wody, większa niż na pozostałe klocki?



E. Na wszystkie jednakowa.

Rozwiązanie: Wypadkowa siła parcia ze strony wody to nic innego, jak dobrze poznana w szkole (i w wannie) siła wyporu. Jak wiemy (a stwierdza to prawa Archimidesa), siła wyporu jest skierowana ku górze i ma wartość równą ciężarowi cieczy wypartej przez ciało. Klocki mające równe objętości wypierają jednakowe ilości wody, więc na każdy działa taka sama siła wyporu. Odpowiedź **E**.

wybrał WZ

Więcej zadań konkursowych można znaleźć na stronie www.lwiatko.org

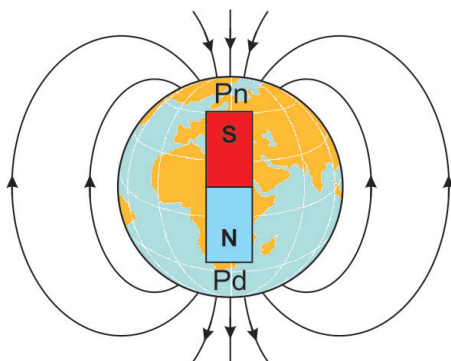
Zadania i testy z magnetyzmu

Zadania pochodzą ze strony internetowej LO w Turku www.fizyka.net.pl

Pytanie 1 – Pole magnetyczne Ziemi

Co jest charakterystyczne dla ziemskiego magnesu? Wybierz właściwą odpowiedź.

- a) biegun N Ziemi nie leży na północy,
- b) pole magnetyczne Ziemi nie ma biegunów,
- c) południki magnetyczne przebiegają wzdłuż południków geograficznych,
- d) inklinacja magnetyczna wynosi zero na obszarach anomalii.



Odpowiedź a)

Ziemia zachowuje się tak jak magnes. O właściwościach magnetycznych decyduje będące w ciągłym ruchu (wynikającym z ruchu obrotowego) płynne jądro Ziemi składające się ze stopionego żelaza z niklem. Ziemia ma dwa bieguny magnetyczne, które nie pokrywają się z biegunami geograficznymi. Magnetyczny biegun południowy znajduje się w kanadyjskim rejonie Arktyki, około 1600 km od bieguna geograficznego północnego, a magnetyczny biegun północny leży na Antarktydzie, na Ziemi Adeli, około 2400 km od bieguna geograficznego południowego. Południki magnetyczne nie przebiegają wzdłuż południków geograficznych. Sprzeczność nazw wynika stąd, że biegun igły magnetycznej wskazujący północ nazwano północnym, podczas gdy tam znajduje się południowy biegun magnetyczny Ziemi (przyciągają się bieguny różnoimienne).

Anomalią magnetyczną są obszary, na których następują zmiany lokalne pola magnetycznego pochodzące od skupisk rud namagnesowanych.

Inklinacja magnetyczna jest to odchylenie kierunku pola magnetycznego od lokalnego poziomu. Na obszarach anomalii inklinacja jest różna od zera.

Pytanie 2 – Dzielenie magnesu

Magnes sztabkowy rozcięto na dwie równe części. Co możesz powiedzieć o poszczególnych częściach magnesu?

- a) mają tylko po jednym biegunie,
- b) mają po dwa bieguny jednoimienne,
- c) przestają być magnesami,
- d) mają po dwa bieguny różnoimienne.

Odpowiedź d)

Ferromagnetyk składa się z obszarów trwałego namagnesowania zwanych domenami ferromagnetycznymi. Rozmiary liniowe domen wynoszą od 0,001 do 0,1 mm. Jeżeli nie występuje zewnętrzne pole magnetyczne to domeny są dowolnie poustawiane i ferromagnetyk nie wykazuje własności magnetycznych. Natomiast w zewnętrznym polu magnetycznym domeny porządkują się w kierunku tego zewnętrznego pola i w rezultacie powstaje wzmocnione pole. Na ogół po ustąpieniu pola zewnętrznego domeny pod wpływem bezwładnego ruchu cieplnego znów ustawiają się dowolnie.

Magnes trwały ma domeny uporządkowane na stałe i dlatego sam wytwarza silne pole magnetyczne. Jeżeli roześniemy magnes, to domeny nadal będą ustawione tak samo i powstaną dwa magnesy o biegunach różnoimennych.

