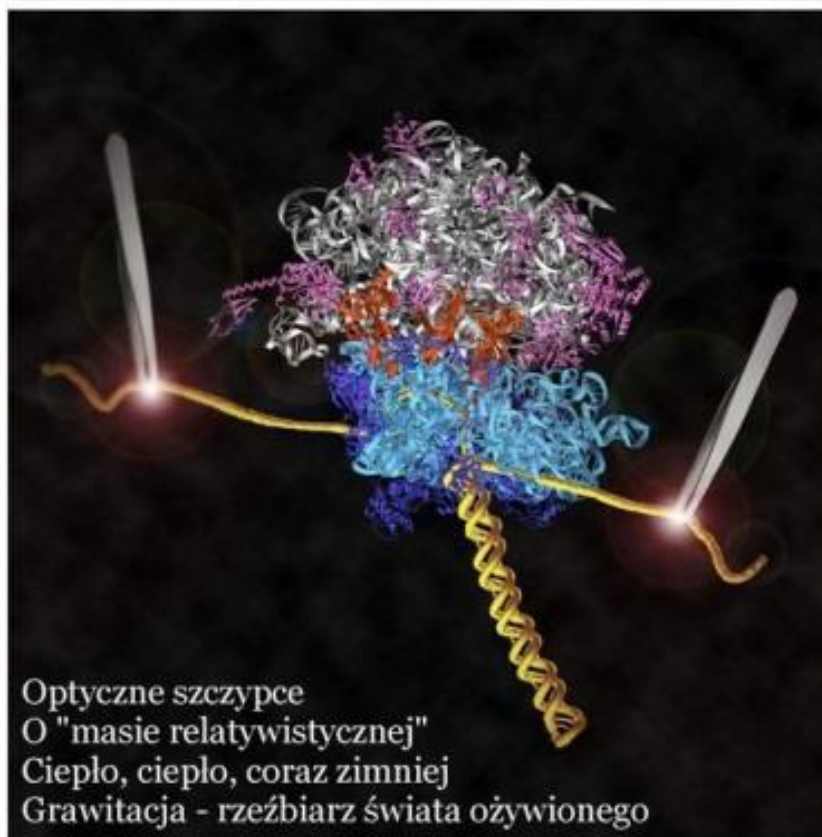


Foton

122
Jesień
2013

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI  UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



Optyczne szczypce
O "masie relatywistycznej"
Ciepło, ciepło, coraz zimniej
Grawitacja - rzeźbiarz świata ożywionego

© Laura Lancaster i Courtney Hodges, Berkeley Lab



Konkurs „Eksperyment łańcuchowy” na Krakowskich Błoniach 1 czerwca 2013 roku.
Na zdjęciach po prawej (od góry) organizatorzy: Daniel Dziob, Justyna Nowak i Urszula Górka



Fizyczki nie potrzebują wątpliwej reklamy

Co roku mamy to samo zmartwienie: jak godnie i komfortowo uczyć w niepodzielonych na grupy klasach, jak zapamiętać i monitorować postępy wszystkich uczniów, gdy ma się ich zbyt wielu. Karkołomna praca. Niektórzy z Państwa radzą sobie z tym mimo trudności. Polskie Towarzystwo Fizyczne przyznaje nagrody tym najlepszym. Zamieszczamy wywiad z nagrodzoną Anną Kaczorowską. Wiele osób zapewne podziela jej opinie na temat nauczania.

Wśród nagrodzonych jak zwykle są i panie, i panowie. Bez różnicy. Wśród naukowców stale jest przewaga panów, zwłaszcza w fizyce teoretycznej. I co z tego? Nie znaczy to przecież, że kobieta fizyk jest gorsza od mężczyzny. Po prostu statystycznie rzadziej wybiera tę dziedzinę. Kobiety fizyczki dziękują uprzejmie za szkodliwą ich obronę przez przytaczanie absurdalnych argumentów o geniuszu pierwszej żony Einsteina Milevy Marić (GW, Wysokie Obcasy, 27 lipca 2013, Hanna Samson). Ta, faktycznie bardzo utalentowana, młoda kobieta poślubiła Einsteina – geniusza-artystę, który nie sprawdził się jako mąż i ojciec. Bywają małżeństwa niedobre, a i życie z genialnymi osobami, często egoistami, jest trudne i niepozbawione ryzyka. Druga żona Einsteina, starsza już osoba z dziećmi, wiedziała dokładnie, na co się pisze. Mileva to indywidualność, na owe czasy odważna i utalentowana osoba, którą los (śmierć dzieci) doświadczył tragicznie i wpędził w depresję. Nie ma potrzeby przypisywanie Milevie rzekomych odkryć w fizyce. Możliwe, że współpracowała z Einsteinem nad STW, możliwe nawet, że przy dzisiejszych standardach byłaby nawet współautorką. Przypisywanie Milevie autorstwa czy współautorstwa, geniuszu, jest fałszem historycznym. Fizyczki takiej reklamy nie potrzebują. Jest ich spora liczba i to na eksponowanych stanowiskach, jak choćby profesor Agnieszka Zalewska w CERN.

Zachęcamy do lektury artykułów pisanych przez panie i panów, a szczególnie tych poświęconych pojęciu masy. Jak je w szkole „potraktować”. To właśnie Einstein był autorem rewolucji w rozumieniu pojęcia masy.

Z.G-M



Contents

Female physicists do not need false support <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Origin of mass <i>Marek Zralek</i>	4
Nighttime reflections of a school physicist – a feuilleton <i>Ludwik Lehman</i>	11
Remarks about the „relativistic mass” <i>Krzysztof Fiałkowski</i>	14
Hot, hotter, colder and colder – about an additional (?) greenhouse effect <i>Grzegorz Karwasz, Krzysztof Służewski</i>	16
Announcement. GeoGebra conference	26
Gravitation – a sculptor of the animate world <i>Agata Kołodziejczyk</i>	27
Measuring a fluid viscosity <i>Stanisław Bednarek</i>	35
How to stretch a DNA double helix? How do the optical tweezers work? <i>Ines Moskal</i>	38
On the magnetic moment of a non-planar circuit <i>Jacek Ciborowski, Maria Sobol</i>	42
Schools of eagles <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	46
Announcement. „Curiosities of the Physics World” 2013.....	52
Announcement. Awards of the Polish Physics Society	53
Interview with Anna Kaczorowska – the winner of the annual award for physics teachers of the Polish Physics Society in 2012 <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	54
Announcement. From 24/33 bulletin of Czochralski’s Year <i>Paweł Tomaszewski</i>	56
What to read. <i>Return – about Jan Czochralski and Atomic girls</i>	58
New results of the CERN experiments <i>Małgorzata Nowina-Konopka</i>	59
Invitation. „Nicolaus Copernicus’ Harmony of Spheres” in Kraków.....	64



Spis treści

Fizyczki nie potrzebują wątpliwej reklamy <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Geneza masy <i>Marek Zralek</i>	4
Nocne rozmyślenia fizyka szkolnego <i>Ludwik Lehman</i>	11
Uwagi o „masie relatywistycznej” <i>Krzysztof Fiałkowski</i>	14
Ciepło, ciepło, coraz zimniej, czyli o dodatkowym (?) efekcie cieplarnianym <i>Grzegorz Karwasz, Krzysztof Służewski</i>	16
Komunikat. Konferencja GeoGebry	26
Grawitacja rzeźbiarz świata ożywionego <i>Agata Kołodziejczyk</i>	27
Wyznaczamy współczynnik lepkości cieczy <i>Stanisław Bednarek</i>	35
Jak rozwinąć podwójną helisę DNA? Jak działają szczypce optyczne? <i>Ines Moskal</i>	38
O momencie magnetycznym niepłaskiego obwodu <i>Jacek Ciborowski, Maria Sobol</i>	42
Szkoły orłów <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	46
Komunikat. „Osobliwości Świata Fizyki” 2013	52
Komunikat. Nagrody PTF.....	53
Rozmowa z Anną Kaczorowską, laureatką nagrody PTF dla nauczycieli fizyki za 2012 <i>Rozmawia Zofia Gołąb-Meyer</i>	54
Komunikat. Z biuletynu 24/33 Roku Czochrańskiego <i>Paweł Tomaszewski</i>	56
Co czytać	58
Nowe wyniki eksperymentów w CERN <i>Małgorzata Nowina-Konopka</i>	59
Zaproszenie. „Mikołaja Kopernika Harmonia Sfer” w Krakowie	64



Geneza masy

Marek Zralek

Zakład Teorii Pola i Cząstek Elementarnych, Instytut Fizyki,
Uniwersytet Śląski, Katowice

Ostatnie wyniki z dwóch eksperymentów w LHC najprawdopodobniej potwierdzają istnienie cząstki Higgsa. Spowodowało to ponowną intensywną dyskusję o pochodzeniu masy. Chodzi o skromną część (5%) masy Wszechświata, o materię świecąca, a więc wszystko to, co we Wszechświecie bezpośrednio obserwujemy. Być może uzyskamy odpowiedzi na pytania stawiane od czasów Newtona, między innymi co jest źródłem masy, tej widzialnej części materii Wszechświata? Wszystko wskazuje na to, że znamy to źródło. Chromodynamika Kwantowa¹ na sieci pozwala wyznaczyć ponad 95% masy dowolnego ciała. Pozostała część to skala naszej niewiedzy i nadziei, że odkrycie cząstek Higgsa doprowadzi nas do ostatecznego rozwiązania problemu. Czy tak rzeczywiście będzie? Na razie pełnego rozwiązania nie znamy, chociaż wiemy jak go poszukiwać.

1. Wstęp

Pojęcie masy zostało po raz pierwszy użyte przez Izaaka Newtona w jego fundamentalnym dziele *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* w 1687 roku [1]. Masa pojawia się tam w dwóch znaczeniach, jako masa bezwładna i grawitacyjna, chociaż trudno doszukać się w tej pracy ścisłej definicji tego pojęcia. Newton uważał, że wszystkie obiekty składają się z maleńkich kuleczek, które stworzył Bóg. W związku z tym masa jest zachowana i addytywna. Uważał te własności za atrybuty boskie i jako takie niepodlegające weryfikacji. W połowie XVIII wieku prawo zachowania masy sformułowane przez Łomonosowa i Lavoisiera oraz addytywność masy stały się podstawą badań chemicznych. W tym samym czasie Faraday, a później Maxwell, wprowadzili pojęcie pola przez długi czas przeciwstawianego materii. Podział wszystkiego, co nas otacza, na materię i pole wydawał się bardzo naturalny. Powstanie Szczególnej Teorii Względności i mechaniki kwantowej na początku XX wieku spowodowało ujednoczenie opisu. Podział na cząstki, związane z materią, i fale reprezentujące pola, stał się bezpodstawny. Dualizm korpuskularno-falowy spowodował, że cząstki czasami zachowywały się jak fale, a fale można było interpretować jako strumień cząstek. Poza tym pojęcie masy należące w fizyce klasycznej, obok czasu i przestrzeni, do fundamentalnych własności przyrody, straciło swoją pierwszoplanową rolę na rzecz energii.

¹ Kwantowa teoria pola opisująca tzw. oddziaływania silne.

Przełom w poznawaniu źródła masy nastąpił po wykryciu w 1905 roku przez Einsteina związku pomiędzy masą i energią, chociaż na efekty trzeba było jeszcze długo czekać. Kluczowe było tu odkrycie Standardowego Modelu (SM) oddziaływań fundamentalnych, a w szczególności Chromodynamiki Kwantowej (QCD). Obecnie, korzystając z relacji podanej przez Einsteina, potrafimy obliczyć wkład energii do masy materii w każdej skali, pochodzący od cząsteczek, atomów, jąder i wreszcie nukleonów. Poza tym wiemy, dlaczego masa w naszym świecie jest tak dobrze zachowana. „Skala naszej niewiedzy” to masy dwóch kwarków „up” i „down” oraz masa elektronu. SM przewiduje, w jaki sposób cząstki materii nabywają masę, odpowiedzialny za to jest tzw. mechanizm Higgsa. Odpowiada on jednak tylko za mniej niż 5% masy materii, stąd padają żartobliwe sugestie, aby przestać nazywać „Boską cząstką”, prawdopodobnie już odkrytą cząstkę Higgsa [2].

W dalszej części artykułu przedstawimy, w jaki sposób określa się obecnie masę substancji, o której już tak dużo wiemy, i którą potrafimy analitycznie i numerycznie obliczyć. Powrócimy do, jeszcze często obecnie dyskutowanej w literaturze i podręcznikach szkolnych, masy zależnej od prędkości cząstek. Pokażemy, że na obecnym poziomie zrozumienia struktury materii, takie określenie masy jest niewłaściwe i wprowadza niepotrzebny zamęt. W punkcie 3 pokażemy, jak ruch cząstek wewnątrz ciał, energia oddziaływania pomiędzy składnikami cząstek i w jakich proporcjach dają wkład do masy. Jak zobaczymy, masa materii spotykanej na co dzień, to głównie masa protonów i neutronów w jądrach. Mimo tego, przedstawimy wszystkie źródła masy, nawet te, które praktycznie nie mają znaczenia. Pozwala to zrozumieć, dlaczego tak długo masa pozostawała zachowaną wielkością. W podpunkcie 3.1 pokażemy, jak obecnie próbuje się wyjaśnić masę kwarków i leptonów.

2. Co to jest masa?

Nie będziemy omawiać historii pojęcia masy. Ważne jest tylko, że od czasu, gdy po raz pierwszy pojawiło się w nauce, a więc od końca XVII aż do początku XIX wieku, masa była addytywną i bezwzględnie zachowaną wielkością fizyczną. W oddziaływaniach sprężystych zachowana była także energia całkowita (suma energii kinetycznej i potencjalnej). W zderzeniach niesprężystych energia przechodziła w ciepło i w konsekwencji energia mechaniczna nie była zachowana. Praca Einsteina z 1905 roku [3] zmieniła zupełnie pojmowanie masy, a przy okazji także energii i pędu. Dla cząstki o masie m , poruszającej się z szybkością v , jej całkowita energia E i pęd p mają postać:

$$E = \gamma m c^2, \quad p = \gamma m v, \quad \text{gdzie} \quad \gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (1)$$

Masa przestała być bezwzględnie zachowaną wielkością fizyczną. Rolę taką przejęła energia. Po powstaniu Ogólnej Teorii Względności (OTW) energia stała się też źródłem krzywizny czasoprzestrzeni, a więc oddziaływań grawitacyjnych. W tym momencie warto zatrzymać się na chwilę, gdyż ciągle jest duży problem z właściwym rozróżnieniem tych wielkości, pomimo wysiłków wielu autorów i prac na ten temat napisanych, także popularnych, np. [4]. Obecnie przyjmuje się następującą definicję masy:

**Masa jest całkowitą energią ciała (podzieloną przez c^2)
mierzoną w jego układzie spoczynkowym,**

$$m = \frac{E_{\text{spocz.}}}{c^2}. \quad (2)$$

Jest to jedyna jej definicja akceptowana obecnie w fizyce oddziaływań podstawowych. Wyraźnie rozdziela masę od energii kinetycznej poruszającego się ciała. Pozwala wprowadzić prawo zachowania całkowitej energii i daje możliwość obliczenia masy ciał w dowolnym układzie odniesienia. Przejście do innego układu powoduje zmianę energii całkowitej ciała, pozostawiając jego masę niezmienną. Masa jest niezmiennikiem transformacji pomiędzy różnymi układami odniesienia (transformacje Lorentza). Dla zderzających się niesprężyste kul zmiana ich energii wewnętrznej powoduje zmianę masy zlepionych ciał (nie jest ona, jak w fizyce klasycznej, sumą mas zderzających się obiektów) prowadząc, co łatwo zauważyć, do niezachowania masy, nie zmienia się natomiast całkowita energia.

Termin „masa relatywistyczna” jest wciąż używany w wielu popularnych opracowaniach i jest też dość często spotykany w podręcznikach szkolnych². Na szczęście coraz rzadziej pojawia się w pracach osób zajmujących się profesjonalnie fizyką. W tej sytuacji wciąż aktualna jest anegdota Carla Adlera [5]: zapytany przez swojego syna, ucznia licealnego, czy masa rzeczywiście zależy od prędkości, odpowiedział: *Nie, chociaż tak, w rzeczywistości nie, ale nie mów o tym swojemu nauczycielowi. Zobaczmy, w jaki sposób i w jakim zakresie, przyjęta definicja masy pozwala ją obliczyć.*

3. Masa substancji, atomu, jądra i nukleonów

Korzystając z definicji (2) możemy obliczyć prawie całą masę materii. Prześledzimy to na przykładach. Zaczniemy od **substancji** składającej się z niezwiązanych cząsteczek (gaz lub ciecz) i zobaczymy, jak zmienia się jej masa na skutek ruchów termicznych, o ile wzrośnie przykładowo masa butelki z wodą, gdy ją podgrzejemy? Energia kinetyczna cząsteczek wody zależy od jej temperatury:

² Zob. rozważania Ludwika Lehmana.

$$E_{kin} = \frac{5}{2} kT, \quad (3)$$

gdzie k jest stałą Boltzmana ($k = 8,617332 \cdot 10^{-5}$ eV/K), natomiast T – temperaturą bezwzględną ($T = 273,15 + t$ °C). Łatwo teraz obliczymy o ile zmieni się energia kinetyczna cząsteczki wody w stosunku do energii spoczynkowej, gdy jej temperatura wzrośnie od t_1 do t_2 . Biorąc pod uwagę, że cząsteczka wody ma masę $M_{H_2O} = 16\,893$ MeV/c², gdy $t_2 - t_1 = 60$ °C, otrzymamy:

$$\frac{\Delta_{t_1}^{t_2}(M_{H_2O})}{M_{H_2O}} = \frac{5k(t_2 - t_1)}{2c^2 M_{H_2O}} = 7,65 \cdot 10^{-13}, \quad (4)$$

Widać więc, że ruch termiczny może zostać zupełnie pominięty w pełnym bilansie masy materii. Można przyjąć, że cała masa materii skupiona jest w masie **cząsteczek chemicznych**.

Następny więc etap to **wiązania chemiczne** w substancji. Znanych jest kilka rodzajów takich wiązań. Nie będziemy ich tu omawiać. Warto tylko podać skalę. Dla cząstki o silnym wiązaniu chemicznym, np. dla tlenku węgla, energia wiązania jest równa 1071,8 kJ/mol. Po przeliczeniu, stosunek energii wiązania $|\Delta V|$ do masy tlenku węgla $M_{CO} = 26\,087$ MeV/c² jest równy:

$$\frac{|\Delta V|}{M_{CO}} = 4,26 \cdot 10^{-10}. \quad (5)$$

Warto tu wspomnieć, że energie wiązania ΔV są ujemne. Oznacza to, że masa tlenku węgla jest mniejsza od łącznej masy tlenu i węgla, gdy są one niezwiązane. Widać więc, że i w tym przypadku wiązania chemiczne w cząsteczkach nie mają praktycznie żadnego wpływu na ich masę, bo jest ona skupiona w atomach.

Atomy to jądra i związane elektrony. Przedstawmy sytuację na przykładzie najbliższego atomu – atomu wodoru. Tu pierwszy raz spotykamy się z cząstką, której masy nie potrafimy obliczyć. Masa elektronu jest znana z doświadczenia i wynosi $m_e = 0,511$ MeV/c². Masa protonu to $M_p = 938,27$ MeV/c². Ponieważ energia jonizacji atomu wodoru to 1 Ry (rydberg) = 13,6 eV, tak więc masa atomu wodoru jest równa:

$$M_H = (M_p + m_e - 13,6 \text{ eV}/c^2) = 9,38 \cdot 10^8 \text{ eV}/c^2. \quad (6)$$

Energia wiązania elektronu z protonem w atomie wodoru daje także niewielki wkład do masy atomu.

$$\frac{13,6 \text{ eV}/c^2}{M_H} = 1,45 \cdot 10^{-8}. \quad (7)$$

W atomach wieloelektronowych średnia energia wiązania na jeden elektron jest większa, ale nie zmienia to w zasadniczy sposób masy atomu. Tak małe energie oddziaływań w stosunku do mas substancji, cząsteczek czy atomów, były powodem bardzo dobrze sprawdzającego się w praktyce przez kilkaset lat prawa zachowania i addytywności masy.

Elektron też wnosi niewielki wkład do masy atomów, np. dla atomu wodoru,

$$\frac{m_e}{M_H} = 5,45 \cdot 10^{-4}. \quad (8)$$

W atomach wieloelektronowych, z uwagi na coraz większy udział neutronów w jądrze, ten stosunek jest jeszcze mniejszy. Decydujący więc wkład do masy atomu, z dokładnością do części promila, wnoszą jądra. Warto jednak przypomnieć, że masa elektronu ma bardzo istotny wpływ na rozmiary i strukturę materii. Tzw. promień orbity Bohra a_B zależy od masy elektronu,

$$a_B = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}. \quad (9)$$

Jądra atomowe składają się z protonów i neutronów. Ich energie wiązania rozpatrzmy na przykładzie najprostszego jądra deuteru ${}^2_1\text{H}$ – deuteronu, składającego się jedynie z jednego protonu i jednego neutronu. Masa neutronu $M_n = 939,57 \text{ MeV}/c^2$. Energia wiązania w deuteronie, którą mierzymy eksperymentalnie i wyznaczamy z teorii sił jądrowych, wynosi $2,224 \text{ MeV}$. Masa deuteronu jest więc równa:

$$M_{{}^2_1\text{H}} = (M_p + M_n - 2,224 \text{ MeV}/c^2) = 1875,62 \text{ MeV}/c^2, \quad (10)$$

a stąd widać, że jądrowa energia wiązania też daje niewielki wkład do masy:

$$\frac{2,224 \text{ MeV}/c^2}{M_{{}^2_1\text{H}}} = 1,2 \cdot 10^{-3}. \quad (11)$$

Dla jąder cięższych (maksymalnie dla żelaza) energia wiązania przypadająca na nukleon jest prawie 8 razy większa w porównaniu z deuterem, co powoduje, że wkład energii wiązania do masy jąder jest mniejszy niż 1%. Jest to jednak już na tyle dużo, iż w tym wypadku zaczęto obserwować odstępstwa od prawa zachowania i addytywności masy.

Tak więc podstawowy wkład do masy materii wnoszą nukleony – proton i neutron. Zanim jednak przejdziemy do opisu pochodzenia masy nukleonów warto nadmienić, że te wszystkie jej źródła przedstawione do tej pory można było odseparować, bo zawsze różniły się o kilka rzędów wielkości. Wpływ ruchu termicznego na ich energię wiązania cząsteczek chemicznych w normalnych warunkach jest niewielki. Podobnie uwięzienie atomów w cząsteczkach

ma nieduży wpływ na ich wiązania atomowe. Te z kolei nie wpływają na wiązanie nukleonów w jądrach. Jądra w atomach można traktować jak cząstki bez wewnętrznej struktury.

Co obecnie wiemy o najważniejszych cząstkach dających masę otaczającej nas materii, o nukleonach? **Proton i neutron** składają się z kwarków u oraz d połączonych – przenoszącymi oddziaływanie silne – bezmasowymi gluonami. Oddziaływanie to opisuje QCD. Jest to specyficzna teoria, posiadająca własność nazywaną „uwięzieniem kwarków”. Powoduje to, że w obszarze małych energii, istotnych dla obliczeń struktury, a więc także masy hadronów, nie można stosować metody kolejnych przybliżeń, zwanej rachunkiem zaburzeń. W tym celu została opracowana teoria, która w odniesieniu do oddziaływań silnych nosi nazwę **QCD na sieci**. Nie będziemy teorii tej przedstawiać. Dla nas jest ważne, że daje ona możliwość obliczenia energii oddziaływania gluonów łączących kwarki w hadronach, a także potrafi przewidzieć masy kwarków. Z tego powodu, że masy kwarków nie da się na razie obliczyć w ramach istniejących teorii, musimy je wyznaczyć ze znanych z doświadczenia mas kilku cząstek. Zwykle jako dane wejściowe przyjmuje się masy dwóch mezonów π oraz K i barionu Ξ . To, co otrzymujemy, jest niezwykle zaskakujące. Masy lekkich kwarków są bardzo małe. Otrzymano (według [6]):

$$m_u = 2,3_{-0,5}^{+0,7} \text{ MeV}/c^2, \quad m_d = 4,8_{-0,3}^{+0,7} \text{ MeV}/c^2. \quad (12)$$

Oznacza to, że większość mas protonu M_p i neutronu $M_n \simeq 939 \text{ MeV}/c^2$ stanowi energia kinetyczna gluonów. Przy takim oszacowaniu kwarki wnoszą tylko około 1% do masy nukleonów. Poza tym, w przypadku cząstek elementarnych energia wiązania jest dodatnia, suma mas kwarków jest mniejsza od masy nukleonu. Wykonuje się też obliczenia mas nukleonów przyjmując masy lekkich kwarków (u, d, s) za równe zero oraz nieskończone masy kwarków ciężkich (c, b, t). Wtedy zgodność jest trochę mniejsza, około 95% [7, 8]. W najgorszym wypadku pozostaje więc do wyjaśnienia mniej niż 5% masy standardowej materii.

3.1. Problem masy kwarków i leptonów

Widzimy, że do kompletnej odpowiedzi na pytanie, co jest genezą masy otaczającej nas materii, brakuje jeszcze informacji o masie elektronu i dwóch kwarków. W SM wszystkie cząstki posiadające masę, a więc także kwarki i leptony, nabywają ją przez oddziaływanie z polem Higgsa. Masa zależy od siły tego oddziaływania, a jej niestety nie znamy. Wiemy więc jak, ale nie wiemy ile. Pozostaje do wyjaśnienia problem ogromnej różnicy mas pomiędzy najlżejszymi leptonami (neutrino mają masę rzędu $1 \text{ eV}/c^2$) a ciężkimi kwarkami – np. kwark t ma masę powyżej $170 \text{ GeV}/c^2$. Są podejmowane różne próby rozwiązania tego problemu, ale na razie bez większego powodzenia. Chociaż wydaje się,

że dla problemu masy materii to raptem niecałe 5%, to dla funkcjonowania SM, a więc tego, który problem masy wyjaśnia, mechanizm Higgsa ma znaczenie zasadnicze.

4. Podsumowanie

Problem masy standardowej materii sprowadza się zasadniczo do wyznaczenia masy protonów i neutronów. W tym celu potrzebna jest głównie znajomość oddziaływania kolorowych gluonów w ramach QCD. Nieznane z teorii masy kwarków u oraz d mogą zostać wyznaczone i wtedy ich wkład do masy jest mniejszy niż 1%. Można też przyjąć, iż lekkie kwarki są bezmasowe i w takich warunkach wyznaczyć masy nukleonów. Reprodukujemy wtedy ponad 95% masy otaczającej nas materii. Dla pełnego wyjaśnienia genezy masy potrzebna jest jeszcze znajomość masy elektronu. Chociaż masa ta daje niewielki wkład do masy materii, jest bardzo istotna dla wyjaśnienia jej rozmiarów i struktury. Oddziaływanie cząstek i ich wiązanie za pomocą fotonów i gluonów wyjaśnia praktycznie całą masę materii. To pierwsze, chociaż w genezie masy ma niewielkie znaczenia, decyduje o kształcie i rozmiarach wszystkiego co nas otacza. Fakt, że oddziaływania silne (przenoszone przez gluony) jest znacznie silniejsze od oddziaływania elektromagnetycznego (przenoszonego przez fotony) powoduje, iż masa wydaje się praktycznie wielkością zachowaną i addytywną.

Literatura

- [1] Polskie tłumaczenie: Isaac Newton, *Matematyczne zasady filozofii przyrody*, Copernicus Center, Kraków 2011.
- [2] D. Goldberg, <http://io9.com/5923170/stop-calling-it-the-god-particle>.
- [3] Polskie tłumaczenia tej pracy Einsteina można znaleźć w książce *Albert Einstein, 5 prac, które zmieniły oblicze fizyki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2005.
- [4] D. Mermin *Czas na czas, klucz do teorii Einsteina*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2008.
- [5] Carl G. Adler, „American Journal of Physics”, 55, 739 (1987).
- [6] J. Beringer i in. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 86, 010001 (2012).
- [7] F. Wilczek, Central Eur. J. Phys., 10, 1021 (2012).
- [8] Zobacz także: http://www.frankwilczek.com/Wilczek_Easy_Pieces/342_Origin_of_Mass.pdf.



Nocne rozmyślania fizyka szkolnego – felieton

Ludwik Lehman

II LO im. M. Kopernika w Głogowie

Rubrykę pod tą nazwą prowadziłem w „Fizyce w Szkole” od 2002 roku dzięki niezapomnianemu Redaktorowi Adamowi Smólskiemu. Czas jednak wiele zmienił (niestety), lecz bezdomną rubrykę przygarnął gościnny „Foton”. Na szczęście dla jednych, na nieszczęście dla innych. Niżej tekst, który miał się ukazać w numerze 5 „Fizyki w Szkole” w 2012 roku. Miał.

Efektywnie o masie i nie tylko

Masa to fundamentalne pojęcie fizyczne. Na pozór wydaje się, że jest ono dobrze zdefiniowane, ale... właściwie gdzie? Za ścisłą definicję masy uznaje się nieraz – zwłaszcza w fizyce szkolnej – drugą zasadę dynamiki: masa to stosunek siły do przyspieszenia. Jednak ta zasada jest prawem przyrody, nie może więc być jednocześnie definicją! Jak wobec tego zdefiniować masę niezależnie od niej? Określenie z *Principiów* Newtona, że masa to iloczyn gęstości i objętości ciała, także nie jest porządną definicją. Gdy bowiem pytamy, co to jest gęstość, musimy odpowiedzieć, że to stosunek masy do objętości. Używane często określenie, że masa jest miarą ilości substancji, może być traktowane tylko intuicyjnie, bowiem substancja jest równie niezdefiniowana... Wszelkie ewentualne definicje oparte na energii i tak odwołują się do zasad dynamiki, bowiem z nich wyprowadzamy wzory na energię.

Zatem okazuje się, że masa (podobnie jak siła i parę innych ważnych pojęć) NIE JEST precyzyjnie zdefiniowana!¹ Taki już los fizyków. Muszą oni przyjąć po prostu, że masa jest tym, co pokazuje waga, siła tym, co pokazuje siłomierz, a temperatura jest tym, co pokazuje termometr. Następnie budują – posługując się pojęciami rozumianymi intuicyjnie – teorie, które potem są potwierdzane przez eksperymenty. To naprawdę ważne – podstawowe pojęcia fizyki nie są jasno i jednoznacznie zdefiniowane, zatem trzeba je wciąż dookreślać na nowo, uwzględniając kolejne etapy w rozumieniu natury. Zatem nie ma nadziei, że wszyscy fizycy będą używać wszystkich pojęć w tym samym znaczeniu!

Przyjrzyjmy się bliżej masie. W fizyce ciała stałego wprowadza się pojęcie masy efektywnej elektronu. Jest ona wielkością tensorową, to znaczy zależną od kierunku, w którym działa siła. W pewnych sytuacjach bywa nawet ujemna. Jest tak dlatego, że masa efektywna uwzględnia oddziaływanie elektronu z polem elektrycznym wewnątrz kryształu. Czy masa efektywna to masa „prawdzi-

¹ Zob. jednakże artykuły Marka Zrałka i Krzysztofa Fiałkowskiego.

wa” czy „nieprawdziwa”? Na to pytanie nie ma dobrej odpowiedzi, tak mi się przynajmniej zdaje. Wprowadzamy takie pojęcia, które pomagają nam zrozumieć Naturę. Nie byłoby celowe używać pojęcia masy efektywnej w gimnazjum, ale w wykładach dla studentów fizyki jest to bardzo wskazane. Jeśli ktoś z Szanownych Czytelników chce się jednak upierać, że masa efektywna nie jest cechą samego elektronu, zatem nie możemy jej uważać za „pełnowartościową” masę, to niech poczyta trochę dalej...

Otóż od dawna wiadomo, że pole elektryczne elektronu wnosi wkład w jego masę spoczynkową, bo elektron po prostu je ze sobą wlecze, czyli wpływa ono na jego bezwładność. Dalej jest jeszcze ciekawiej. Otóż zgodnie z Modelem Standardowym masy spoczynkowe wszystkich cząstek elementarnych są właśnie masami efektywnymi powstałymi wskutek oddziaływania tych cząstek z polem Higgsa! Mało tego! Ponad dziewięćdziesiąt procent masy nukleonów pochodzi od energii kinetycznej oraz oddziaływania bezmasowych gluonów! To gdzie jest ta porządna masa spoczynkowa? Nie ma, wyparowała ze współczesnej fizyki całkowicie...

Chciałem rozwinąć temat niejasności podstawowych pojęć fizyki, ale lektura Nr 4 „Fizyki w Szkole” z 2012 roku zmusza mnie do czegoś innego. Otóż Aleksander Nowik bez pardonowo zaatakował nasz (napisany przeze mnie i Witolda Polesiuka) podręcznik *Fizyka. Po prostu*. Zarzuca nam wprowadzanie treści sprzecznych z teorią względności oraz wzywa niedwuznacznie do wyeliminowania podręcznika z rynku z powodu używania przez nas pojęcia masy relatywistycznej, jego zdaniem zakazanej całkowicie we współczesnym nauczaniu fizyki. Polemizowałem już z Aleksandrem Nowikiem na podobny temat („Fizyka w Szkole” Nr 4 z 2010 roku), zatem nie chcę powtarzać pewnych argumentów. Dlaczegoż to nie wolno używać pojęcia masy relatywistycznej? Dlatego, że nie podoba się to niektórym fizykom? W czym jest ona gorsza od masy efektywnej? Tej ostatniej warto używać tylko na wysokim poziomie wykładu, np. dla studentów fizyki. Z masą relatywistyczną jest odwrotnie: świetnie nadaje się do poziomu szkolnego, a studentom fizyki nie jest już tak potrzebna (tu się z Olkiem zgadzam). Masa relatywistyczna jest jedynym szczątkiem teorii względności (obok równoważności masy i energii), który możemy przedstawić w szkołach młodym Polakom. Nawet w podstawie programowej dla poziomu rozszerzonego nie ma wszak śladu fizyki współczesnej. Uczniowie często zadają pytanie: dlaczego nie można osiągnąć prędkości światła? Jak wyjaśnić to inaczej niż wzrostem masy wraz z prędkością? Zjawiska obserwowane w akceleratorach też są w warunkach szkolnych niemożliwe do objaśnienia bez tego pojęcia.

Nie odniosę się tu do konkretnych zarzutów Aleksandra Nowika, bo z felietonu zrobiłby się elaborat. Zatem stwierdzę tylko, że nie zgadzam się z jego zarzutami. Jako błędy i treści sprzeczne z teorią względności traktuje on po prostu ujęcie inne od swojego. Poucza nieznośnym tonem o „jedynie słusznym”

podejściu do trudnych zagadnień równoważności masy i energii, sam jednak – jak widać z jego tekstu – nie całkiem je rozumie. Niestety, muszę przez to zaliczyć Aleksandra Nowika do grupy fizyków regularnie pisujących do „Fizyki w Szkole”, których nazywam sobie roboczo ortodoksami. Ortodoks to osoba, która uważa, że w pewnym obszarze fizyki (każdy ortodoks ma swojego konika) niesłuchanie ważna jest precyzja. Ortodoks jest przekonany, że posiadał wiedzę absolutną na dany temat, a każde odchylenie od jego poglądów jest dużym błędem, skandalem i tak dalej. Żadne autorytety nie zachwieją tą jego pewnością (nic to, że nasz podręcznik był recenzowany nie tylko przez recenzentów MEN, ale również wcześniej przez wybitnych fizyków i astronomów, którzy nie dopatrzyli się żadnego błędu). Ortodoks będzie bronił PRAWDY ABSOLUTNEJ do upadłego. Konik Aleksandra Nowika to najwyraźniej teoria względności, a szczególnie masa relatywistyczna. Chętnie podrzucę mu inny temat – bieguny magnetyczne. To pojęcie, dawno wyrugowane z teorii magnetyzmu, wciąż „szlaja się” po podręcznikach, prowadząc do potwornego zamieszania. Przecież bieguny nie istnieją nie tylko w teorii, ale również w rzeczywistym świecie! Zatem ich status jest w fizyce znacznie gorszy od masy relatywistycznej, którą przynajmniej można ściśle zdefiniować i stosować zgodnie z definicją. Jednak trudno bez ich pomocy wyjaśnić dzieciom oddziaływanie dwóch magnesów i dlatego wciąż są obecne w podręcznikach.

To tylko przykład, że fizyka – i jej nauczanie – nie są takie proste, jak się to ortodoksom wydaje. Od Aleksandra Nowika oczekiwałbym konsekwencji. Niechaj teraz wezwie do bojkotu wszystkich podręczników zawierających to mylne, bałamutne pojęcie „biegunu magnesu”. Do ataku, naprzód i hurra!

Powtórzę jeszcze raz: w naszym podręczniku wprowadzamy, podobnie jak to robią autorzy innych podręczników, takie pojęcia i takie przybliżenia, jakie naszym zdaniem pozwolą uczniom opanować ważne treści fizyczne. Otrzymaliśmy już wiele relacji potwierdzających, że naprawdę można się z niego skutecznie uczyć fizyki. Jednak od początku byłem przekonany, że ortodoksi będą ten podręcznik ostro zwalczać. Rzeczywistość okazała się, jak zwykle, bogatsza od przewidywań. Jeśli bowiem już w pierwszym tekście krytycznym mamy wezwanie do całkowitego bojkotu, to co będzie dalej?

PS. Nie chcę już więcej pisać w nocnych rozmyślaniach ani o swoim, ani o cudzych podręcznikach. Chciałbym tylko zapewnić Pana Marcina Brauna, iż – wbrew temu, co napisał w „Fizyce w Szkole” – wcale nie uważam Jego podręcznika za kiepski. Wręcz przeciwnie!



Uwagi o „masie relatywistycznej”

Krzysztof Fiałkowski
Instytut Fizyki UJ

Jak wiadomo, Einstein wprowadził pojęcie „masy relatywistycznej” $m = m_0\gamma$, czyli iloczynu „zwykłej” masy i tzw. czynnika γ Lorentza, danego wzorem

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Przy użyciu tego pojęcia można zapisać prosto pęd i energię w szczególnej teorii względności

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad E = mc^2,$$

gdzie \vec{v} jest „zwykłym” wektorem prędkości, a c wartością prędkości światła w próżni. Dlatego wielu autorów podręczników do lat sześćdziesiątych XX wieku chętnie używało „masy relatywistycznej”.

W ostatnich trzydziestu latach pojęcie to wyszło jednak praktycznie z użycia wśród fizyków. Przyczyna jest bardzo prosta: wszystkie wzory muszą być zapisane w formie jawnie współzmienniczej (kowariantnej), więc powszechnie używa się jedynie wielkości, które mają określone własności transformacyjne przy transformacji Lorentza: skalarów, składowych czterowektorów i czterotenorów, a nie wielkości, w które przechodzą one przy małych wartościach prędkości. Zatem „zwykła prędkość” nie jest używana w fizyce relatywistycznej, zastąpiły ją składowe „czteroprędkości” zdefiniowanej wzorem

$$u_\mu = \frac{dx_\mu}{d\tau},$$

gdzie składowe czterowektora położenia w czasoprzestrzeni różniczkujemy po skalarnym „czasie własnym” τ . Jest to czas w układzie spoczynkowym cząstki, związany ze „zwykłym” czasem t wzorem $t = \tau\gamma$. Zerowa („czasowa”) współrzędna czteroprędkości to $c\gamma$, a współrzędne przestrzenne tworzą trójwektor $\vec{u} = \vec{v}\gamma$. „Czteropęd” o współrzędnych E/c , \vec{p} jest związany z czteroprędkością współzmienniczym wzorem $p_\mu = mu_\mu$, gdzie m jest „zwykłą”, a nie „relatywistyczną” masą. Zatem odpowiednie współrzędne przestrzenne są też związane wzorem $\vec{p} = m\vec{u}$. Fakt, że w fizyce Galileusza-Newtona przyzwyczailiśmy się do „zwykłej” prędkości nie jest wystarczającą przyczyną, aby używać jej w Szczególnej Teorii Względności zamiast współrzędnych czteroprędkości.

Oczywiście można argumentować, że „masa relatywistyczna” jest składową zerową czterowektora o współrzędnych E/c^2 , \vec{p}/c , ale taki czterowektor nie ma nawet nazwy i wprowadzanie go byłoby sztuczne.

Rozumowanie to nie byłoby może wystarczającą przyczyną do porzucenia pojęcia „masy relatywistycznej” w fizyce szkolnej, w której rzadko mówi się o współmienniczości wzorów. Jednak sugestia, że dzięki „masie relatywistycznej” można używać wzorów z fizyki Newtona w Szczególnej Teorii Względności jest niebezpiecznym błędem dydaktycznym. Na przykład próba analogicznego uogólnienia związku między siłą a przyspieszeniem prowadzi do nonsensów (potrzebna jest „masa poprzeczna” i „masa podłużna”). Tymczasem poprawne uogólnienie siły na czterowektor siły-mocy dane jest po prostu wzorem $F_\mu = \frac{dp_\mu}{d\tau}$; poprawne równania ruchu otrzymujemy wyrażając czteropęd przez pochodne współrzędnych czasoprzestrzennych i zwykłą masę.

Podsumowując, „masa relatywistyczna” jest zbędna, niepoprawna z punktu widzenia używania wyłącznie wzorów współmienniczych i szkodliwa dydaktycznie. Dlatego nie należy jej używać w podręcznikach szkolnych.

Fragment mojego listu do p. Reńdy:

Nie uważam, aby wprowadzanie pojęcia „masy relatywistycznej” dało cokolwiek poza zamieszaniem. W Szczególnej Teorii Względności masa jest niezmiennikiem równym temu, co tradycyjnie nazywało się „masą spoczynkową”. Sam Einstein szybko wycofał się ze swojego pomysłu, a we współczesnych podręcznikach autorzy wspominają o nim tylko po to, aby wyjaśnić, dlaczego nie należy go używać. Napisaliśmy o tym w poradniku, a ostatnio umieściliśmy tam dodatkowo tłumaczenie rozdziału referatu jednego z najwybitniejszych żyjących teoretyków rosyjskich, Lwa B. Okunia, aby ostatecznie wyjaśnić nasze stanowisko. Wzór „ $E = mc^2$ ” odnosi się tylko do energii spoczynkowej; dla cząstki w ruchu podajemy inny wzór, który stosuje się także dla fotonu (bo dla cząstek o $m = 0$ daje po prostu $E = pc$). Fakt, że w *Nowej Encyklopedii Powszechnej* wspomina się i o „masie relatywistycznej” (w wydaniu z 2004 r. w bardzo zlągodzonej formie „w mechanice relatywistycznej wprowadza się **nieraz** m. relatywistyczną (...) w tym przypadku masę m nazywa się **czasem** m. spoczynkową”) nie zobowiązuje nas naprawdę do wprowadzania tego nieudanego pojęcia do podręcznika.



Ciepło, ciepło, coraz zimniej, czyli o dodatkowym (?) efekcie cieplarnianym

Grzegorz Karwasz, Krzysztof Służewski
Zakład Dydaktyki Fizyki,
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

W pierwszej części artykułu [1] omówiliśmy mechanizmy absorpcji promieniowania słonecznego (głównie UV i IR) przez gazy atmosferyczne. Mechanizmy absorpcji promieniowania podczerwonego w atmosferze są powodem wyższej temperatury na powierzchni ziemi (celowo piszemy z małej litery) niż wynikałoby to ze stałej słonecznej, mimo braku w widmie UV wychwyconego w termosferze i stratosferze. Ten naturalny efekt cieplarniany wynosi $+33\text{ K}$, a temperatura średnia na powierzchni ziemi to $+15^\circ\text{C}$.

Nieco elektroniki

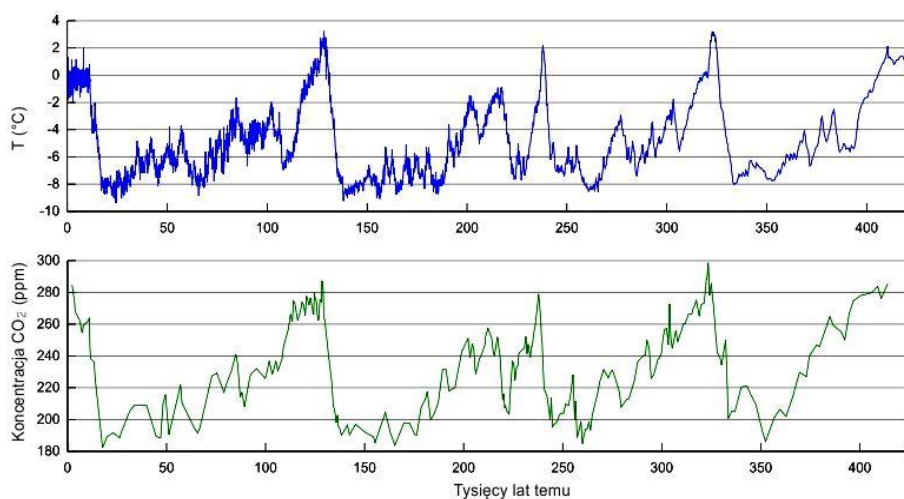
To przyjemne $+15^\circ\text{C}$ musiało istnieć na Ziemi nie przez ostatnie 2 tysiące lat, ale co najmniej przez 3–3,5 mld lat tak, aby życie powstało, utrwaliło się, wyszło na ląd i wyewoluowało. Liczne są czynniki stabilności klimatu na Ziemi. Jednym z nich jest obecność Księżyca, wydaje się już 100 mln lat od powstania Ziemi. Jak wynika z symulacji komputerowych, Księżyc ma zasadnicze znaczenie dla stabilizacji osi naszej planety (np. oś obrotu Urana leży w płaszczyźnie ekliptyki, a Wenus kręci się bardzo wolno w kierunku „odwrotnym” niż reszta planet). Stabilizacja osi, z uwagi na wspomniane cykle Milankoviča, jest istotna dla stałości klimatu. Najistotniejsze są jednak zjawiska na samej Ziemi, jak np. stabilizacja albedo.

Tu pojawia się kłopot: jeśli temperatura na Ziemi, z jakiś powodów wzrośnie, topi się pokrywa lodowa dookoła biegunów (i krócej zalega śnieg zimą) – czyli maleje albedo. Mniejsze albedo to dalszy wzrost temperatury – mniej energii pierwotnie docierającej ze Słońca jest odbijana w kosmos. Tego rodzaju sprzężenie nazywamy dodatnim – to jak w mikrofonie zbyt blisko głośników: kończy się bolesnym dla uszu piskiem.

Dwutlenku węgla jest, a raczej było 150 lat temu, zaledwie 280 ppm (część na milion). A ile jest pary wodnej? Zależy od wilgotności; tzw. „100% wilgotności” w Singapurze, to (przy temperaturze 29°C) zaledwie 4% objętościowo pary wodnej w atmosferze. Ilość pary wodnej, jaka może „zmieścić” się w powietrzu (w sensie ciśnień parcjalnych w prawie Daltona), to od nieco powyżej 0 do 100% objętościowo w 100°C (i przy ciśnieniu 10^5 Pa). Zależność jest silniejsza niż jak t^2 , gdzie, t jest temperaturą w stopniach Celsjusza¹.

¹ http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/termo/psychometr_big-pl.html; http://en.wikipedia.org/wiki/Vapour_pressure_of_water.

Czyli: znów dodatnie sprzężenie zwrotne! Wyższa temperatura to więcej pary wodnej w atmosferze i ściślejsze domykanie okna na wykresie 7 (w poprzedniej części artykułu). Takich dodatnich sprzężeń jest więcej, jak np. malejąca rozpuszczalność CO₂ w oceanach w miarę wzrostu temperatury albo uwalnianie metanu z rozmarzającej syberyjskiej tundry². Czyli klimat powinien być z natury rzeczy niestabilny? Niewykluczone, jak to pokazuje rys. 1, że niestabilności klimatu typu *on-off* są cechą permanentną. Wykresy z rys. 1 zmian temperatury wydedukowanych z analiz izotopowych lodowych warstw na Antarktydzie sugeruje, że temperatura rośnie nagle, w ciągu kilku tysięcy lat, po czym powoli spada w cyklach co około 100 tysięcy lat. Zmiany koncentracji CO₂ na tym wykresie wydają się być skutkiem, a nie przyczyną zmian temperatury. Czy biosfera jest jednak bezbronna?



Rys. 1. Zmiany temperatury i koncentracji CO₂ według danych z lodów Antarktydy. Zwróć uwagę na odwróconą skalę czasu (w przeszłość)³. Dane te, z radzieckiej stacji meteo z lat 70. ubiegłego wieku są powszechnie cytowane; dopiero kilka lat temu podobne badania („EPICA”) wykonała Europejska Fundacja Naukowa [2]

Nie! Inaczej Życie szybko by wyginęło. Już sama obecność tlenu w atmosferze (tzn. niezwiązanego w tlenkach metali w skorupie ziemskiej) jest wynikiem paru miliardów lat działalności organizmów żywych. Pracowicie rozkładały one

² Wydaje się, że sporo metanu jest też „zagrzebane” na dnie oceanów w postaci wysokociśnieniowych hydratów. Wzrost temperatury oceanów może powodować ich gwałtowne uwolnienie.

³ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_Petit_data.svg pomiary z radzieckiej stacji Vostok, opracowane we współpracy z badaczami z Francji i USA [2].

CO₂, z którego składała się atmosfera pierwotna, odsyłając gazowy tlen, a węgiel zakopując w postaci ropy naftowej i wapniowych skorup mięczaków.

Wzrost temperatury to wzmożona wegetacja, a przez to wzmożone pochłanianie CO₂. Wybuchy wulkanów wyrzucają CO₂, ale i minerały niezbędne do fotosyntezy w ubogich w żelazo i inne mikroelementy przestrzeniach oceanicznych. Glony dysponując mikroelementami namnażają się, przez co ubywa CO₂. Jak zwykle w nauce – problemy ciekawe!

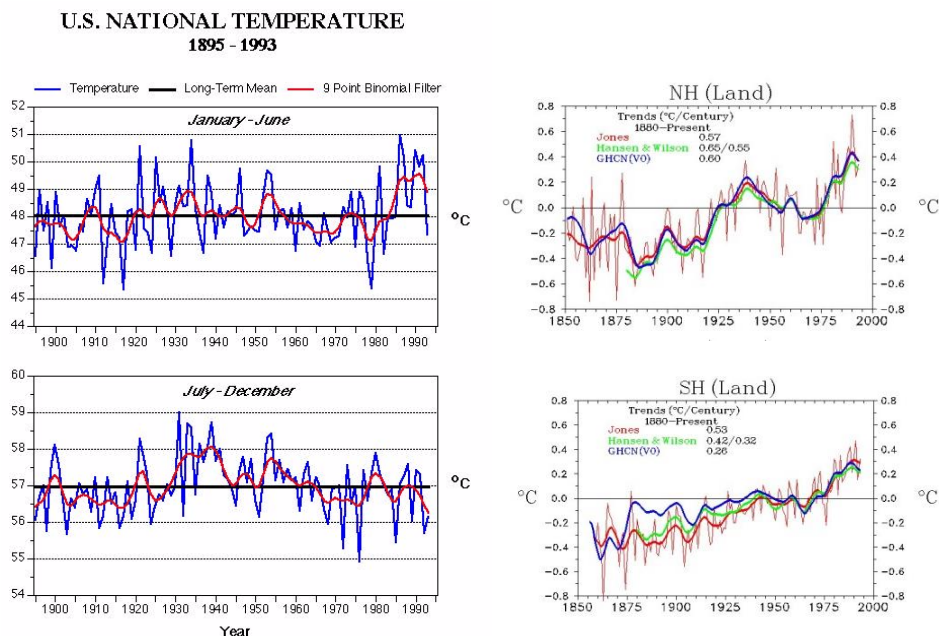
Obserwacje klimatu

Mówiąc o zmianach klimatycznych mówimy o konkretnych danych doświadczalnych. Jest wiele metod odtworzenia temperatur z przeszłości. Wykres na rys. 4 w pierwszej części artykułu opiera się na pomiarach grubości corocznych przyrostów drzew („słojów”) z Uralu i Kanady. Badania grubości osadów w jeziorach nie mają tak dobrej rozdzielczości czasowej, ale dają informację o tendencjach w dłuższych okresach. Dane z rys. 1 są jeszcze bardziej pośrednie – opierają się na zawartości cięższego (ale stabilnego) izotopu ¹⁸O tlenu w lodzie antarktycznym. Sumaryczna ilość tlenu ¹⁶O i ¹⁸O pozostaje na Ziemi stała (pochodzi z cyklu syntezy termojądrowej w gwiazdach). Woda H₂¹⁸O paruje wolniej niż woda H₂¹⁶O, dlatego jest jej stosunkowo więcej w wodzie morskiej niż w chmurach, deszczu, śniegu, a w konsekwencji również w lodowcach. Oziębienie klimatu oznacza większe gromadzenie się śniegu, stąd względna zawartość tlenu ¹⁸O w lądolodzie maleje⁴. Rośnie natomiast zawartość tego izotopu w skorupach mięczaków żyjących w tropikach. Te dwie miary są komplementarne.

Nie są wolne od dowolności interpretacji nawet bezpośrednie pomiary – dopiero w ostatnich stuleciach ujednolicono metodologię. Pozostaje jeszcze wybór danych – temperatura średnia? dzienna? letnia? z jakich regionów?

Jak wybór danych może zmienić obraz pokazujemy na serii wykresów na rys. 2, uzyskanych przez autora (GK) w 1996 roku z jednej z najbardziej kompetentnych instytucji światowych NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Pierwsza para wykresów „January-June” i „July-December” to średnie z zimo-lata? czy lato-zimy? Rzeczywiście, zmian klimatu trudno się na tych wykresach dopatrzeć. Dopiero druga para – zmian temperatury na półkuli północnej i południowej pokazuje pewne tendencje. Wzrost temperatury jest bardziej jednoznaczny na półkuli południowej, gdzie praktycznie nie ma aerozoli wytwarzanych przez człowieka, a obniżających temperaturę poprzez wzrost albedo z chmur.

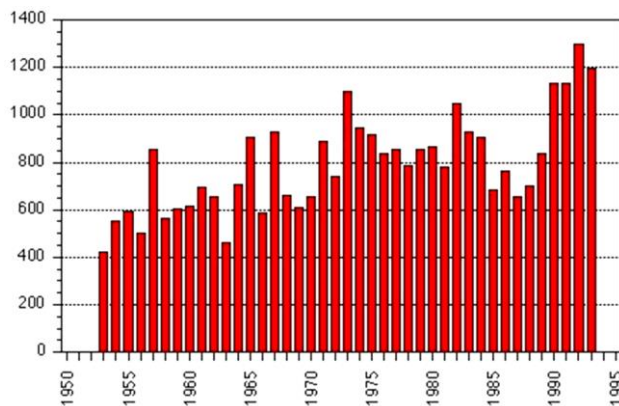
⁴ W wyjaśnieniu należy również uwzględnić globalną cyrkulację opadów, zob. http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_isotope_ratio_cycle; <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology/OxygenBalance/>.



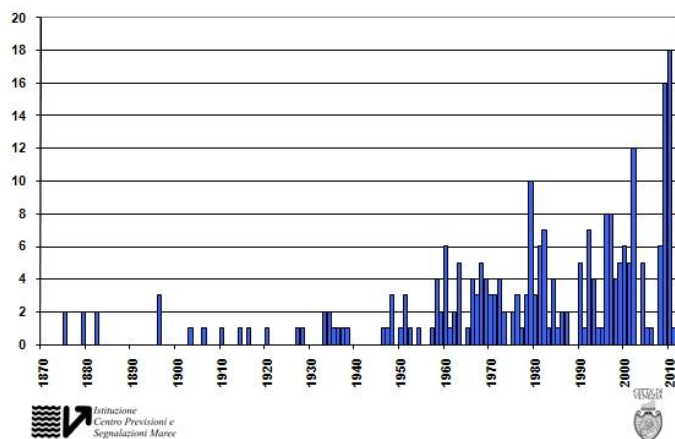
Rys. 2. Temperatura w Stanach Zjednoczonych (wykresy po lewej) oraz na półkulach północnej i południowej (wykresy po prawej) w okresie ostatnich 100–150 lat. Niewłaściwy dobór danych utrudnia analizę. Dane uzyskane przez autora (GK) z NOAA w 1996 r.

Analiza danych klimatycznych bardziej przypomina dane socjologiczne, niż doświadczenia szkolne z prawem Ohma czy spadkiem swobodnym – nie możemy klimatu ani powtórzyć, ani sztucznie wytworzyć. Stąd umiejętność wyboru danych oraz zaawansowanych technik statystycznych jest bardzo ważna.

Zmian klimatycznych nie można utożsamiać z globalnym ociepleniem. „Ocieplenie” to dla fizyka większa ilość energii „wpompowana” w układ termodynamicznie w równowadze. W każdym momencie ilość energii otrzymanej i traconej jest identyczna, ale równowaga ta ustala się na coraz wyższym poziomie. Parafrazując to tak, jakby do silnika starego fiata126p nalać paliwa z ferrari: pojedzie, ale będzie parskał i strzelał. Podobnie w klimacie – bilans energii na wyższym poziomie oznacza zjawiska pogodowe coraz gwałtowniejsze, coraz mniej regularne i coraz częstsze. Pokazujemy to na rys. 3 i 4, porównując liczbę tornad w USA i częstotliwość wysokiej fali przyływu w Wenecji (*acqua alta*) – oba zjawiska stają się coraz częstsze, w szczególności prosta regresja wskazuje na ponad dwukrotny wzrost liczby tornad w latach 1940–1990 (dane NOAA). Kolejne podwojenie miało miejsce w latach 1980–2010 [3].



Rys. 3. Liczba tornad obserwowanych w Stanach Zjednoczonych w ostatnich 50 latach (dane uzyskane przez GK z NOAA 1996)

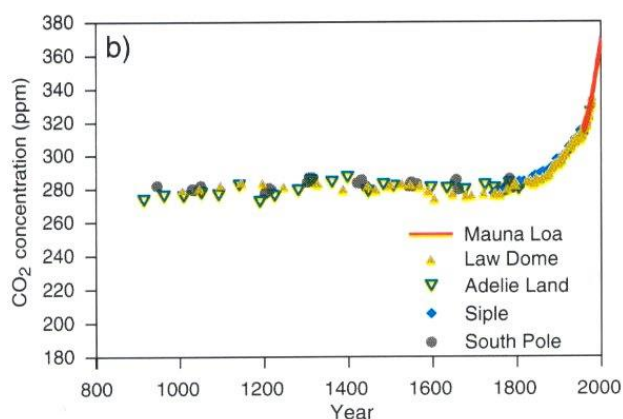


Rys. 4. Wenecja, *acqua alta* powyżej 110 cm (liczba dni w roku), dane Urzędu Miasta Wenecja, <http://www.comune.venezia.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2968>

Globalne ocieplenie może też przynieść, paradoksalnie, dramatyczne ochłodzenie w Europie. Europa ma znacznie cieplejszy klimat, niż np. wschodnie wybrzeża USA, leżące na tej samej szerokości geograficznej. Korea Południowa, bardziej na południe niż Kalabria na końcu włoskiego „buta”, rejestruje zimowe temperatury nawet do -20°C . Powodem tej łagodności klimatu w Europie jest Prąd Zatokowy (tzw. Golfstrom). Prąd ten, jak każdy silnik termodynamiczny, jest napędzany różnicą temperatur między Morzem Sargassowym a oceanem w rejonie Islandii, gdzie ciepłe wody wychładzają się, zapadają w głąb oceanu i wracają do Morza Sargassowego jako lodowaty prąd głębiny. Ocieplenie w rejonie Islandii może osłabić Prąd Zatokowy – Polsce przydadną syberyjskie zimy.

Możliwe scenariusze

Możliwe scenariusze są przedmiotem licznych naukowych, politycznych i ekonomicznych dyskusji. Metody matematyczne stosowane do prognoz klimatycznych zależą od jakości danych doświadczalnych i naszej znajomości procesów fizycznych, biologicznych, a także zmian cywilizacyjnych i technologicznych. Najistotniejszym czynnikiem sprzężeń zwrotnych wydaje się zawartość CO₂ w atmosferze. Pozostawała ona stała przez ostatnie parę tysięcy lat na poziomie paleontologicznie wysokim, 280 ppm, a od początku ery przemysłowej rośnie monotonicznie. Dane na rys. 5 są wynikami różnych analiz, tak izotopowych lodu Antarktydy, jak i przyrostów drzew oraz składu atmosfery mierzonego spektroskopowo w obserwatorium astronomicznym na Hawajach („Mauna Loa”).

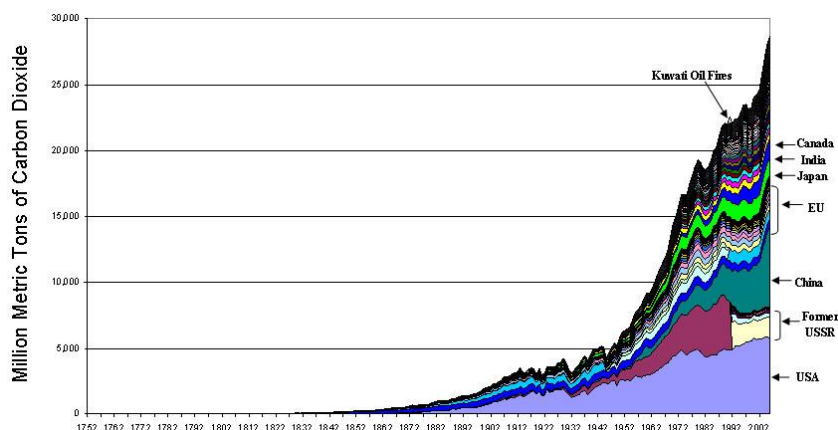


Rys. 5. Koncentracja CO₂ w atmosferze ziemskiej w ostatnich 1200 latach. Wzrost od około 1850 roku wyniósł ponad 25%, do poziomu niespotykanego przez ostatnie 400 tys. lat, zob. rys. 1. Dane opracowane przez Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatycznych (IPCC, Switzerland)

Czy wzrost CO₂ doprowadzi do globalnego wzrostu temperatury? A jeśli tak, to o ile? Wydaje się, że od początku XX wieku temperatura średnia na Ziemi wzrosła o około 0,2–0,6°C. Jest to nieco mniej niż –0,7°C w okresie wojny trzydziestoletniej i dużo mniej niż +3°C w czasach, kiedy żyły dinozaury na naszych szerokościach geograficznych. Niestety, nie potrafimy do końca zmian przewidzieć. Ponadto fluktuacje klimatyczne stają się uciążliwe we współczesnym świecie, w którym musimy podróżować, w którym wydajność produkcji rolnej jest coraz bliższa możliwych granic, w którym ludzkość zagospodarowuje tereny coraz bardziej narażone na powódzie, podtopienia, susze, tajfuny itd.

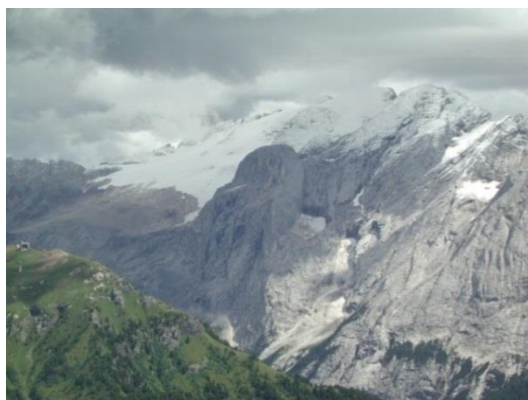
Dyskusja o efekcie cieplarnianym nie jest, niestety, dyskusją o mechanizmach fizycznych ani o obserwowanych zmianach temperatury. Jest to przede

wszystkim dyskusja *polityczna*: oszczędność energii oznacza zasadnicze zmiany w kosztach (a co za tym idzie – konkurencyjności) produkcji przemysłowej i rolnej. Okazuje się, że *pro capita* nadal największy udział w emisji CO₂ mają rozwinięte kraje przemysłowe (w tym Polska), zob. rys. 6.

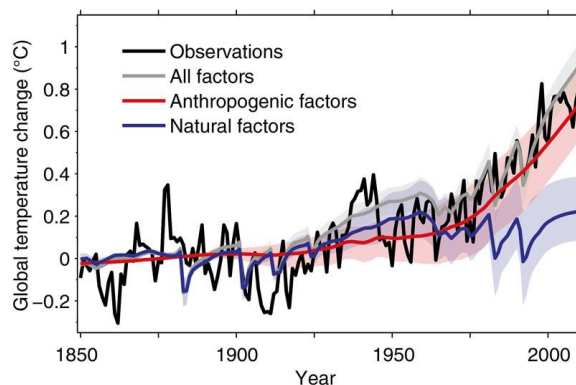


Rys. 6. Wzrost CO₂ w atmosferze ziemskiej z wyszczególnieniem emisji antropogenicznej CO₂ z różnych części świata [4]. Wykres nie uwzględnia absorpcji CO₂ przez biosferę

Zmiany klimatyczne to zmiany zasięgu upraw, zmiany sposobów użytkowania terytoriów (np. w celach turystycznych), zmiany w urbanizacji, transporcie itd. Wszystkie te zmiany wiążą się z kosztami ekonomicznymi i społecznymi. Stąd próby ograniczenia emisji CO₂ poprzez protokoły międzynarodowe, jak ten z Kyoto z 1997 roku, negocjowany w ramach ONZ, a *de facto* ograniczający emisję jedynie w Europie i Australii.



Rys. 7. Lodowiec Marmolada w Dolomitach. Śnieg zalega tylko na samym szczycie, mimo że wygładzona skała wskazuje na znacznie dalszy zasięg lodowca w geologicznie niedawnych czasach (foto GK, sierpień 2009)



Rys. 8. Model (szara krzywa) naturalnych (niebieska krzywa) i antropogenicznych (czerwona krzywa) zmian temperatury zamieszczony w miarodajnym *Physics World* (2011). Pomiary z 30 tys. stacji meteo wskazują na globalny wzrost temperatury aż o $0,8^{\circ}\text{C}$ w ciągu ostatnich 50 lat. Większą część tego wzrostu autorzy artykułu cytowanego w [5] przypisują działalności człowieka

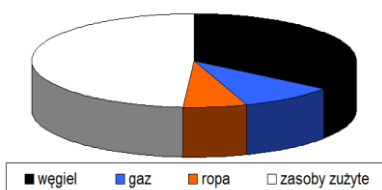
Alternatywy

Rosnąca od lat 50. XX wieku temperatura *globalna* przypisana czynnikom naturalnym i czynnikom antropogenicznym oraz wzrost zawartości CO_2 w atmosferze, od 1850 roku o ponad 30% (rys. 5), wymagają dodatkowych weryfikacji, które w fizyce doświadczalno-teoretycznej nazwalibyśmy próbą „ognia krzyżowego” – *cross-check*. Jest tą próbą weryfikacja, jaki jest udział spalonego przez ludzkość węgla (jako udział C w całości paliw) w całkowitym budżecie węgla między atmosferą a resztą systemu *geosfery*. Jak to wyszczególnia angielska wersja Wikipedii, emisja CO_2 wskutek działalności człowieka wynosi około 9 mld ton rocznie, z czego przez biosferę i hydrosferę jest wylapywane 5 mld ton. Pozostałe 4 mld ton dodaje się powoli do całkowitej ilości 720 mld ton CO_2 zawartego w atmosferze⁵; liczby te są w dobrej zgodności z obserwowanym tempem wzrostu koncentracji CO_2 . W poczuciu odpowiedzialności za naszą Planetę, należałoby ten wzrost powstrzymać. Niestety, energie alternatywne i proponowane technologie wylapywania CO_2 z atmosfery są również energochłonne.

W dyskusji o energiach alternatywnych należy brać pod uwagę zarówno ich fizyczne zasady działania, jak i koszty ekonomiczne i środowiskowe. Energia jądrowa jest szeroko wykorzystywana we Francji. 80% „produkcji” energii elektrycznej jest tam wytwarzana w elektrowniach jądrowych i prąd elektryczny jest, w porównaniu z innymi krajami UE, najtańszy. Jest to ciągle zasługa Marii i Pierre’a Curie oraz ich córki Irène (ministra nauki Francji przed II wojną światową) i jej męża Frédérica Joliot (honorowego członka PTF).

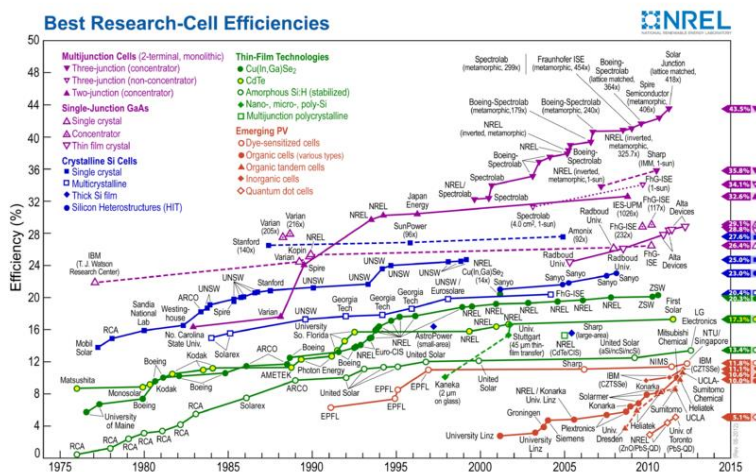
⁵ *Carbon cycle*, http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_cycle (20.04.2013). Polska wersja tego hasła jest dość uboga.

Niestety, mimo, że uranu jest w skorupie ziemskiej (nie w środku, ale właśnie w skorupie) stosunkowo dużo, bogate rudy zostały już wyczerpane. Podobnie na półmetku wyczerpania, według prognoz z 2001 roku, najbardziej prestiżowego czasopisma fizycznego „Nature” [6], są paliwa kopalne, zob. rys. 9. Szereg jądrowy oparty o tor ^{232}Th , teoretycznie tańszy i bezpieczniejszy, zob. np. [7], jest ciągle na etapie prób. Reaktor termojądrowy w Cadarache ma dać użyteczną energię w 2060 roku. Laserowa synteza termojądrowa w National Ignition Facility (USA) kosztowała 5 mld dolarów, ale zapłonu paliwa dotychczas nie uzyskano.



Rys. 9. Węgla starczy nam jeszcze na 200 lat, gazu na 50 lat (nieznane były złoża gazu łupkowego w USA i Polsce), a ropy naftowej na 35 lat (przy obecnym zużyciu); biała część wykresu to zasoby już skonsurowane przez ludzkość w ciągu 160 lat ery przemysłowej (źródło [18])

Przy ocenie opłacalności innych źródeł energii należy uwzględnić wszystkie koszty. Do destylacji SiCl_4 i krystalizacji krzemu zużywa się sporo energii elektrycznej. Demonizowane problemy składowania odpadów radioaktywnych przestają być przerażające, jeśli uświadomimy sobie, że granitowe płyty kontynentalne, np. w rejonie Kanady, Grenlandii i Finlandii są źródłem intensywnego promieniowania od 3 mld lat.



Rys. 10. Efektywność ogniw fotowoltaicznych jednozłączowych, nawet tych na GaAs nie przekracza 30%, krzemowych – 20%. Większe efektywności można uzyskać z ogniw złożonych z dwóch struktur fotowoltaicznych. Obiecujące są, z uwagi na niskie ceny, ogniwa oparte na nanostrukturalnym TiO_2 i barwnikach syntetycznych (tzw. Grätzel cells). Źródło: National Renewable Research Laboratory

Ogniwa fotowoltaiczne wykorzystują energię Słońca, ale fotony o energii poniżej przerwy energetycznej (1,14 eV w krzemie +0,8 eV dla polaryzacji złącza), czyli o długości fali $\lambda > 640$ nm są, z uwagi na prawo Einsteina efektu fotoelektrycznego, bezużyteczne dla tanich paneli krzemowych. Z kolei z fotonów o krótszych długościach fali tylko 2 eV energii jest użyteczne, a reszta szkodliwie grzeje panel. Stąd efektywność prostych paneli słonecznych nie może przekroczyć 30%, a techniczne 10% jest niezłym wynikiem. Rozwiązaniem są ogniwa o dwóch warstwach półprzewodników z różnymi przerwami energetycznymi: dobre dla lotów kosmicznych, za drogie na dachy...

Porównanie kosztów tradycyjnych i alternatywnych nośników energii przetwarzanych na energię elektryczną nie jest jednoznaczne. Poszczególne analizy różnią się nawet o czynnik 2 – w zależności czy są one przygotowane przez pro-jądrową akademię brytyjską, czy proekologiczną Komisję Europejską⁶. Koszty energii pozyskiwanej ze źródeł jądrowych, odnawialnych i konwencjonalnych pozostają porównywalne. Parafrazując, podobnie jak z whisky lub dydaktyką, rozwiązaniem są „mieszanki” – *blended solutions*. I panele, i biogaz, i elektrownie wiatrowe, i jądrowe [8], oby tylko doczekać lata...

Istotniejsze niż sama dyskusja „efekt tak/efekt nie” byłoby przygotowywanie własnych kadr o interdyscyplinarnych kompetencjach i nasz kreatywny udział w europejskiej współpracy naukowej, aby nie być jedynie biernym odbiorcą nadchodzących technologii.

Zakończenie

Na pogodzie, jak na piłce nożnej, wszyscy się znają, ale wpływ na nią mają niewielki. Fizycy zajmują się nie futurologią, ale mechanizmami. W przypadku klimatu niektóre mechanizmy są już jasne.

- 1) Własności absorpcyjne w podczerwieni cząsteczki CO₂ są istotną przyczyną naturalnego efektu cieplarnianego, dzięki któremu jest możliwe białkowe życie na Ziemi.
- 2) Działalność przemysłowa człowieka przyczyniła się do istotnego (ponad 25%) wzrostu zawartości CO₂ w atmosferze.
- 3) Czy ten wzrost spowoduje wzrost średniej temperatury na Ziemi i/lub/albo obniżenie temperatury w Europie i/lub/albo globalne zlodowacenie i/lub/albo gwałtowne huragany i/lub/albo susze?

Tego na razie nie wiemy...

Bibliografia

- [1] G. Karwasz, K. Służewski, *Ziemia pod pierzynką, czyli o naturalnym efekcie cieplarnianym, czyli...* (Foton 121, Lato 2013).

⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Cost_of_electricity_by_source . Brak wersji polskojęzycznej.

- [2] J.R. Petit i in., *Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica*, „Nature”, 399 (1999), 429–436.
- [3] B.D. Malamud, D.L. Turcotte, *Statistics of severe tornadoes and severe tornado outbreaks*, Atmos. Chem. Phys., 12, 8459–8473, 2012. www.atmos-chem-phys.net/12/8459/.
- [4] D. Brown, *Climate Change Ethics, Navigating the Perfect Moral Storm*, Routledge Chapman & Hall, 2012.
- [5] J. Lloyd, *Energy balance points to man-made climate change*, Physics World, 7.12.2011. <http://physicsworld.com/cws/article/news/2011/dec/07/energy-balance-points-to-man-made-climate-change>.
- [6] M.S. Dresselhaus and I. L. Thomas, *Alternative energy technologies*, „Nature” 414 (2001) 332.
- [7] R. Fernández, P. Mandrillon, C. Rubbia and J.A. Rubio, *A Preliminary Estimate of the Economic Impact of the Energy Amplifier*, CERN/ LHC/ 96-01, zob. też G. Karwasz, *Jądrowa, termojądrowa i inne, czyli o przyszłości energetyki*, Akademia Pomorska w Słupsku, wykład zaproszony, 04.11.2012. <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/jadrowa.pdf>.
- [8] G. Karwasz, M. Więcek, *Fizyka współczesna. Toruński podręcznik, część IV*. Zakład Dydaktyki Fizyki UMK, 2012. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/264.

Strony www zostały sprawdzone 2–21.04.2013 r.

KOMUNIKAT



Warszawskie Centrum GeoGebry wraz z Wydziałem Matematyki i Informatyki UMK oraz Stowarzyszenie ROSE, w dniach **21–22 września 2013 roku** organizują **IV Ogólnopolską Konferencję GeoGebry**. Konferencja skierowana jest zarówno do osób związanych z edukacją matematyczną na wszystkich poziomach, jak i z nauczaniem fizyki oraz osób zainteresowanych badaniami własnymi. Celem konferencji jest przybliżenie zagadnień związanych z tworzeniem modeli abstrakcyjnych pojęć matematycznych, przeprowadzaniem dowodów i eksperymentowaniem.

Konferencja odbywać się będzie na terenie **Szkoły Wyższej Psychologii Społecznej**, ul. Chodakowska 19/31, 03-815 Warszawa

Zainteresowani więcej informacji mogą znaleźć na stronie internetowej:

<https://sites.google.com/site/konferencjageogebry2013/>; kontakt pod adresem: konferencje.geogebry@gamil.com. **ZAPRASZAMY!**



Grawitacja rzeźbiarz świata ożywionego

*Agata Kołodziejczyk
Instytut Nauk o Środowisku UJ*

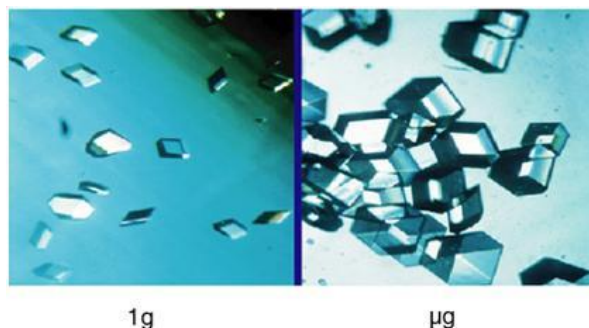
Pole grawitacyjne Ziemi odegrało kluczową rolę w powstaniu i rozwoju życia. To podstawowe oddziaływanie fizyczne stało się determinantą kształtów, wielkości i proporcji układów biologicznych. Adaptacje świata żywego do warunków ziemskiego pola grawitacyjnego przejawiają się między innymi reakcjami grawitropowymi roślin, czyli determinowaniem kierunku wzrostu rośliny przez zwrot i kierunek wektora grawitacji. U zwierząt poczucie siły ciężkości odbywa się w wyniku aktywności receptorów pozwalających im zapewnić prawidłową orientację w polu grawitacyjnym. Z receptorami tymi silnie powiązane są mechanizmy antygravitacyjne, na przykład serce pozwalające przepompowywać krew zalegającą w dolnych częściach organizmu, tętnice kontrolujące właściwe parametry ciśnienia czy układy/mechanizmy balansujące reakcje z układu kostno-szkieletowego.

Siła przyciągania ziemskiego zmieniała się lokalnie wraz z wiekiem naszej planety, i tak jest do dziś. Najlepsze dane dotyczące nieregularności grawitacyjnej naszego globu dostarczył niskoorbitowy (250 km) satelita GOCE [1], należący do ESA (2009). W miejscach łańcuchów górskich siła przyciągania jest większa niż nad morzami, najlżejsi jesteśmy natomiast w południowych Indiach i na Sri Lance. Ponadto na ciężar każdego ciała na Ziemi ma również wpływ grawitacja przyciągania Księżyca, czego widocznym efektem są np. pływy morskie. Ze względu na zwiększające się możliwości i potrzeby przebywania istot żywych w przestrzeni kosmicznej, biologia grawitacyjna i medycyna grawitacyjna są obecnie jednymi z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin nauki. Z prac poświęconych badaniom funkcjonowania organizmów żywych w warunkach mikrogravitacji wynika, że efekty grawitacyjne ujawniają się na wszystkich poziomach organizacji istoty żywej: molekularnym, komórkowym i organizmalnym.

W jaki sposób organizmy czują grawitację?

Za wyjątkiem bakterii, które pozostają grawitacyjnie obojętne i mogą normalnie rozwijać się nawet przy wartościach tzw. hipergravitacyjnych rzędu 400 G, aktywność biologiczna organizmów żywych kontrolowana jest przez receptory reagujące na wektor ciężenia. Podstawowym elementem budowy takiego receptora są kryształy utworzone z węglanu lub fosforanu wapnia zwane otolitami lub statolitami. Statolity roślin to ziarna skrobi w wyspecjalizowanych amyloplastach zwanych statocytami. Pod wpływem grawitacji ziarna skrobi opadają

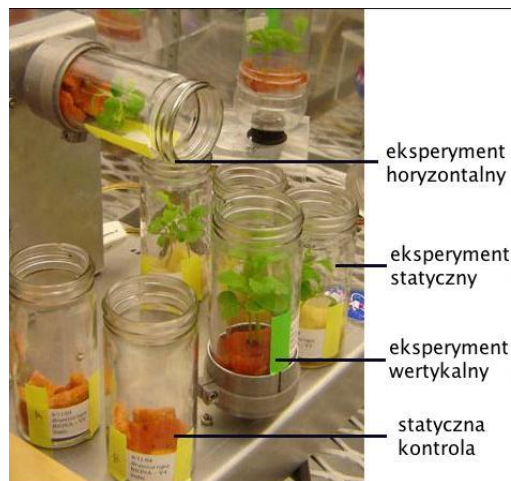
na siateczkę retikulum endoplazmatycznego (dla przypomnienia: retikulum endoplazmatyczne to wewnątrzkomórkowy system błonowy syntetyzujący białka i tłuszcze pełniący również funkcje transportowe). W odpowiedzi na grawitropowe sygnały z retikulum, roślinne hormony wzrostu zwane auksynami indukują odpowiednio zorientowany wzrost korzenia (grawitropizm pozytywny) i łodygi (grawitropizm negatywny). Mechanizm działania otolitów zwierzęcych wymaga obecności pokrytej włoskami komórki receptorowej. Otolity opadając na włoski czuciowe komórek receptorowych generują informację rejestrującą kierunek oddziaływania siły ciężkości a tym samym informację o położeniu organizmu w przestrzeni. Otolity ludzkie mają kształt pryzmatów wielkości 1–10 μm i znajdują się w kanałach półkolistych błędniaka błoniastego będącego jednocześnie narządem słuchu i równowagi we wnętrzu czaszki. Ostatnie badania [2] wykazały, że reakcja na siłę ciężkości nie jest przypisana wyłącznie wyspecjalizowanym systemom percepcyjnym. Okazuje się, że nawet tak proste struktury biologiczne jak błony komórkowe reagują na grawitację poprzez zmiany w przepuszczalności dwuwarstwy lipidowej. W konsekwencji zmianie ulega potencjał błonowy i stężenie jonów wapniowych we wnętrzu komórek. Wchodząc głębiej w poziomy ultrastrukturalne należy zaznaczyć, że środowisko mikrograwitacyjne silnie wpływa na przemiany związków chemicznych. Zjawisko to coraz częściej wykorzystuje się do tworzenia nowych materiałów, które w warunkach ziemskich nigdy by nie powstały. W szczególności dotyczy to tworzenia kryształów, które w mikrograwitacji rosną większe i pozbawione strukturalnych defektów, jakie tworzone są w trakcie krystalizacji na Ziemi (rys. 1) (dla zainteresowanych polecam stronę www.microgravity.com z obszerną wiedzą na ten temat). Tak powstające materiały gwarantują lepszą jakość, trwałość produktów i wydajniejsze przemiany chemiczne. Krystalizacja insuliny w warunkach nieważkości precyzyjniej określa naturę tego białka, co w następstwie prowadzi do głębszego zrozumienia procesów leczenia cukrzycy. Komórki hodowane na płytkach polimerowych w warunkach mikrograwitacyjnych nie są spłaszczone, jak te hodowane na Ziemi, a tym samym bardziej przypominają komórki występujące naturalnie w organizmie, co zwiększa powodzenie zabiegów transplantacyjnych. Interesującym przykładem badań nad efektami mikrograwitacji jest również analiza płonącego płomienia świecy w nieważkości, która pozwala na opracowanie wydajniejszych metod spalania i oszczędzania energii. Nasuwają się pytania, czy również złożone biochemicznie organizmy żywe przekształciłyby się w formy doskonalsze i wydajniejsze energetycznie w środowisku pozbawionym grawitacji? Jak zmieniałyby się ich kształty i proporcje? Jak zmieniałyby się kinetyka procesów biochemicznych? Generalnie problem ujmując, **czy życie bez grawitacji byłoby możliwe?**



Rys. 1. Różnice w procesie krystalizacji ludzkiego białka insuliny w warunkach ziemskich (po lewej) i w mikrograwitacji. Źródło: www.microgravity.com

Symulacje mikrograwitacji w warunkach ziemskich

Ze względu na złożoność układów biologicznych, postawione problemy naukowe nie są łatwe do badania. Pomimo szeregu trudności ludzie od dawna interesowali się tym tematem. Koncept urządzenia symulującego brak grawitacji został zaproponowany już w 1703 roku przez Denisa Dodarta. W 1879 Julius von Sachs skonstruował pierwszy **klinostat** (rys. 2), który był zegarowo nakręcaną maszyną zastąpioną później odpowiednikami o napędzie elektrycznym.



Rys. 2. Przykład możliwego do wykonania eksperymentu z wykorzystaniem klinostatu. W ciągu 5 tygodni rośliny z gatunku kapustnych (*Brassica rapa*) hodowano na specjalnym medium BIONA w warunkach symulowanej mikrograwitacji (eksperyment horyzontalny). Aby wyeliminować wpływ obrotu dysku na rozwój rośliny, równolegle hodowano rośliny w warunkach grawitacyjnych na dysku (eksperyment wertykalny) i w eksperymencie statycznym. Dodatkowo badano właściwości samego medium (statyczna kontrola). Wyniki tego eksperymentu znajdują się w interaktywnej bazie danych (IPOD – *Interactive Plant Outreach Database*), która jest udostępniona naukowcom, nauczycielom i ogólnej publiczności. Źródło: NASA (<http://weboflife.nasa.gov/slstp/rn.htm>)

Pierwszy klinostat elektryczny powstał w 1897 roku. Klinostat jest urządzeniem wykorzystującym ruch obrotowy do niwelowania siły grawitacyjnej w trakcie wzrostu i rozwoju rośliny (niwelowania grawitropizmu). Na osi poziomej klinostatu umieszczony jest dysk obrotowy.

Roślina przymocowana jest do dysku tak, aby jej oś pokrywała się z osią poziomą. W wyniku obrotu rośliny wokół osi poziomej wartość przyspieszenia ziemskiego jest uśredniana na 360 stopniach, a wynik tego uśrednienia jest zbliżony do warunków mikrogravitacyjnych. Klinostaty są używane nie tylko do symulowania warunków mikrogravitacji, ale również niwelowania efektów wpływu światła słonecznego. Co ciekawe, za pomocą klinostatu można modyfikować wartość siły ciężenia, na przykład symulować grawitację księżycową (około 1/6 g). Wystarczy umieścić dysk z rośliną pod kątem około 10 stopni. Roślina reaguje na siłę ciężenia jedynie w przypadku, kiedy siła ta oddziałuje dłużej niż krytyczna wartość czasu, zwana minimalnym czasem prezentacji (MPT – *Minimal Presentation Time*). Dla różnych gatunków roślin wartość ta zmienia się w zakresie od 10 do 200 sekund. W przypadku zwierząt czas prezentacji MPT jest jeden lub dwa rzędy wielkości krótszy niż u roślin, przez co niemożliwe jest przeprowadzanie podobnych eksperymentów na całych zwierzętach. Optymalizacja tempa rotacji klinostatu jest kluczowym elementem przeprowadzanych eksperymentów. Jeśli prędkość kątowa jest zbyt mała, roślina generuje fizjologiczne odpowiedzi na siłę grawitacji. Gdy obrót dysku jest zbyt szybki, siły odśrodkowe i napięcia mechaniczne wywołują powstawanie niepożądanych artefaktów, a nawet śmierć organizmu. Optymalizacja działania klinostatu odbywa się aktualnie przez porównanie odpowiedzi na mikrogravitację obserwowanych u roślin hodowanych na stacji kosmicznej, gdzie wartości ciężenia utrzymują się na poziomie 0,0001–0,0005 G. Dla większości roślin dostosowano w ten sposób zakresy od 0,3 do 3 obr/min. Klinostaty szybkoobrotowe (30–150 obr/min) wykorzystuje się do analizy małych próbek zwierzęcych (kultury komórkowe w naczynkach o kilkumilimetrowej średnicy) umieszczonych na płynnych mediach. Tylko w tak przygotowanych próbkach można uniknąć efektów przeciążeń.

Klinostaty jednoosiowe umożliwiają symulację mikrogravitacji tylko wokół jednej osi obrotu. Skonstruowano także klinostaty trój- lub dwuosiowe (zwane w skrócie RPM – *Random Positionin Machines*) Hosona, umożliwiające uśrednianie wektora grawitacji we wszystkich możliwych kierunkach. Klinostaty takie zbudowane są z ruchomych ramek wirujących niezależnie jedna w drugiej. Badania wykorzystujące właściwości tego urządzenia dotyczyły między innymi analizy wczesnych stadiów rozwoju embrionalnego w warunkach symulowanej nieważkości [3]. Japończycy przeprowadzili eksperymenty zapłodnienia *in vitro* (łac. w szkle) wykorzystując mysie komórki rozrodcze. Okazało się, że mikrogravitacja wywiera minimalne efekty na zapłodnienie. Jednakowoż brak oddziaływania grawitacyjnego może być szkodliwy dla dalszego rozwoju zarodka.

Embriony hodowane w mikrograwitacji osiągają stadium dwukomórkowe i pozostają żywe aż do implementacji w ciele samicy, jednak ze znacznie niższym prawdopodobieństwem niż w przypadku odpowiedników hodowanych z przeciążeniem 1 G. W miarę upływu czasu inkubacji w klinostacie obserwowano zwiększoną śmiertelność zarodków, a tempo rozwoju zarodków spadło po 96 godzinach eksperymentu. Analiza mikroskopowa takich zarodków wykazała, że różnicowanie się komórek embrionalnych w tkankę odżywiająca embrion i ostatecznie tworząca łożysko było znacznie zahamowane. Przeprowadzone eksperymenty rzuciły w wątpliwość nadzieje przetrwania gatunku ludzkiego w nieważkości, jednak należy zdać sobie sprawę, że wyniki tego typu badań powinny być interpretowane ostrożnie. Symulacja mikrograwitacji w klinostatach nie jest rozwiązaniem idealnym. Pomimo obrotu dysku albo ramek tego urządzenia, siła ciężenia wciąż oddziałuje z badanymi próbkami biologicznymi, z tą różnicą, że jest pozbawiona kierunkowości. Powinno się mówić zatem nie tyle o symulacji mikrograwitacji, lecz o stymulacji grawitacyjnej we wszystkich kierunkach. Kolejna sprawa: wibracje z silnika i inne efekty motoryki układu mogą wywołać niekontrolowane artefakty.

Alternatywą klinostatu do symulowania nieważkości jest urządzenie generujące ciągły spadek swobodny zwane FFM – *free fall machine*, wynalezione przez Meslanda, które umożliwia przeprowadzanie eksperymentów na małych próbkach (np. zawieszinach komórkowych). Takie próbki poddawane są spadkowi swobodnemu w polu grawitacji na długości jednego metra w czasie trwającym niewiele mniej niż sekunda. Następnie są one wypychane z powrotem na szczyt aparatury przez zastosowanie impulsu ogromnej siły (ok. 20 G w czasie 20 ms), po czym ponownie opadają. Zasada działania tej maszyny polega na tym, że przez większość czasu próbka pozostaje w stanie swobodnego spadku (0 G), a okresy przeciążenia są zbyt krótkie, aby mogły być rejestrowane przez fizjologiczne procesy w badanym materiale biologicznym. Pytanie, czy stan ciągłego spadku swobodnego z szarpnięciami 20 G jest środowiskiem idealnym dla procesów biochemicznych...

Ekspertymenty na stacji kosmicznej

Pomimo dużych wysiłków z dostosowaniem odpowiednich narzędzi umożliwiających badania mikrograwitacyjne na Ziemi, wciąż najlepszym miejscem na ich wykonywanie jest przestrzeń kosmiczna. Podróże kosmiczne, zwłaszcza w ostatnich latach, przyczyniły się do głębszego zrozumienia wpływu oddziaływania siły ciężenia na organizmy żywe. Obiektami badań w eksperymentach były bakterie, grzyby, glony, pierwotniaki, rośliny, komórki ssaków (np. ludzka komórka nerkowa, ludzkie erytrocyty, limfocyty, fibroblasty i osteoblasty) oraz całe organizmy żywe [5]. Badania nad bakteriami dowiodły, że w przypadku mikrograwitacji obserwowane jest zwiększenie liczebności i tempa wzrostu kolonii w porównaniu z grupą kontrolną oraz wzrost odporności na wysokie

dawki promieniowania kosmicznego i, co ciekawe, również na antybiotyki. Eksperymenty przeprowadzone nad grzybem *Physarum polycephalum* pokazały, że w warunkach mikrogravitacji jego cytoplazma zaczyna pulsować, czego nie obserwuje się na Ziemi. U glonów brak siły ciężenia przyczynia się do zmniejszenia objętości chloroplastów, a u pierwotniaka *Paramecium tertarelia* komórki wykazywały zwiększone tempo podziałów i około 20-procentowe zwiększenie szybkości przyrostu objętości. Komórki układu odpornościowego zwane limfocytami w warunkach mikrogravitacji wykazały 90-procentowy spadek aktywności [4]. Uważa się, że powyższy efekt prowadzi do obniżenia odporności immunologicznej kosmonautów. Kolejnym ciekawym zjawiskiem jest ruchliwość plemników w mikrogravitacji [6]. Badania na spermie jeźwców (sperma tego gatunku jest bardziej jednorodna niż w przypadku innych zwierząt, a plemniki są bardziej żywotne), wykazały interesujące różnice w zachowaniu tych komórek. Okazuje się, że ruchliwość plemników jest znacząco większa w stanie nieważkości. Pomimo tego wydajność zapłodnienia maleje ze względu na obniżenie aktywności kluczowego enzymu w procesie uwalniania materiału genetycznego (białka fosfatazy).

Najbardziej fascynującymi badaniami są być może eksperymenty z udziałem samych astronautów, którzy przebywają długoterminowo na stacjach kosmicznych. Eksperymenty te dostarczają cennych danych z zakresu **medycyny grawitacyjnej**. Wynikiem przebywania w warunkach mikrogravitacji jest nie tylko powszechnie znany ubytek masy mięśni i kości, ale również płuc, serca, wątroby, nerek, żołądka oraz jelit. Mięśnie szkieletowe wykształcone w celu utrzymania pionowej pozycji ciała i poruszania poszczególnymi jego częściami, przeciwdziałające sile grawitacji, w nieważkości stają się bezużyteczne i ulegają zanikowi (tzw. atrofii). Przemianom ulega nie tylko ilość, ale i struktura tkanki mięśniowej: powoli kurczące się włókna mięśniowe (tzw. mięśnie gładkie), przeciwstawiające się ciągłym obciążeniom występującym w warunkach ziemskich, zamieniane są na szybko kurczące się włókna mięśniowe, służące do natychmiastowej reakcji [7]. Zanikowi podlega również zbędna w nieważkości, a kosztowna energetycznie dla organizmu, zbroja tkanki kostnej. Utrata kości, zwłaszcza w końcowych odcinkach kości długich, jest wynikiem zahamowania różnicowania komórek prekursorowych (tzw. osteoblastów) w komórki kostne, podczas gdy liczba osteoblastów pozostaje stała. Ostatnie badania wykazały, jak można przeciwdziałać tym procesom. Dwie godziny ćwiczeń fizycznych dziennie wraz z zastosowaniem diety bogatej w wapń i witaminę D mogą znacznie spowolnić proces zaniku kości nie tylko astronautów, ale i cierpiących na osteoporozę.

Istotny wpływ na funkcjonowanie organizmu ludzkiego ma rozkład płynów ustrojowych. W warunkach mikrogravitacji owe płyny wznoszą się do górnych części ciała, wywołując zmniejszenie o około 10% objętości nóg. Dopływ krwi do górnych partii, czyli do klatki piersiowej i głowy, powoduje obrzmienie twa-

rzy (tzw. twarz księżycowa: *moon face*), trudności w oddychaniu oraz przekrwienie błon śluzowych zatok i nosa. Ze względu na chroniczny katar astronauta mają ograniczone czucie smaku i zapachu. Przemieszczenie się płynów jest również przyczyną zmian w gospodarce wodno-elektrolitowej. Przykładem jest zmiana szybkości filtracji nerek oraz 20-procentowe zmniejszenie objętości naczyń krwionośnych prowadzące do nadmiaru erytrocytów. W celu zrównoważenia tych procesów zmniejszona zostaje synteza czerwonych krwinek.

Złożonym zagadnieniem badawczym jest funkcjonowanie układu nerwowego człowieka w kosmosie. Narządy zmysłów i narządy przedsionkowe, znajdujące się w uchu wewnętrznym, mięśnie i stawy, a także receptory dotyku i nacisku biorące udział w percepcji grawitacji przestają być użyteczne. Zmienione warunki grawitacyjne powodują zmianę parametrów sygnałów odbieranych przez te narządy, np. narząd przedsionkowy przestaje rozróżniać kierunek góra-dół. Receptory dotyku i nacisku przestają sygnalizować zwrot przyciągania w dół. Powoduje to szereg złudzeń orientacyjnych, jak np. uczucie odwróconej pozycji, brak odczuwania ruchu pojazdu kosmicznego. Wszystko to przyczynia się do wywołania mdłości, zawrotów głowy i złego samopoczucia nawet do trzech dni po zmianie środowiska grawitacyjnego. Odkrycie mechanizmu adaptacji zmysłów równowagi do zmian grawitacyjnych może pomóc astronautom łagodniej przechodzić przez stany nieważkości i normalnej grawitacji. Badania te mogą również stanowić ważny krok do poznania przyczyn choroby lokomocyjnej oraz w szerszym zakresie wpłynąć na poznanie mechanizmów uczenia się i zapamiętywania.

Badania efektów mikrogravitacji na organizmy żywe wymagają użycia niejednokrotnie skomplikowanej aparatury, na co nie zawsze pozwalają warunki na stacji kosmicznej. Dodatkowo badania te wymagają odpowiednich eksperymentów kontrolnych. Zwykło się je wykonywać na Ziemi i porównywać z eksperymentami przeprowadzanymi w laboratoriach Międzynarodowej Stacji Kosmicznej ISS (International Space Station). Okazuje się jednak, że należy również wziąć pod uwagę inne **czynniki, których nie można zapewnić na Ziemi**. Są to między innymi promieniowanie kosmiczne, wibracje i obecność innych gazów w otoczeniu. Problem badania efektów grawitacyjnych na organizmy żywe jest więc wciąż otwartym wyzwaniem dla wszystkich zainteresowanych. NASA oferuje współpracę, otwiera konkursy i tym samym daje możliwość udziału w biologicznych eksperymentach prowadzonych na stacji ISS. Mamy szansę osobiście uczestniczyć w zgłębianiu natury życia, aby czynić je doskonałym, umożliwiającym opuszczenie kolebki Ziemi i wyruszenie na podbój innych światów.

Bibliografia

- [1] www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/GOCE Earth's gravity revealed in unprecedented detail.
- [2] Kohn F. 2013. *High throughput fluorescent screening of membrane potential and intracellular calcium concentration under variable gravity conditions*. *Microgravity Science and Technology*, 25: 113–120.
- [3] Wakayama S., Kawahara Y., Li C., Yamagata K., Yuge L., Wakayama T. 2009. *Detrimental effects of microgravity on mouse preimplantation development in vitro*. *PLoS One*, 4(8): e6753.
- [4] Schwarzenberg M., Pippia P., Meloni M.A., Cossu G., Cogoli-Greuter M., Cogoli A. 1999. *Signal transduction in T-lymphocytes – a comparison of the data from space, the free fall machine and the random positioning machine*. *Advanced Space Research* 24(6): 793–800.
- [5] Jasik-Ślęzak J., Ślęzak A. 2008. *O biofizycznej roli środowiska grawitacyjnego*. *Zdr. Publ.* 118(1): 65–71.
- [6] Tash J.S., Bracho G.E. 1999. *Microgravity alters protein phosphorylation changes during initiation of sea urchin sperm motility*. *The FASEB Journal* 13(9001): 543–554.
- [7] Monici M., Cialdai F., Romano G. et al. 2013. *Effect of IR laser on myoblasts: prospects of application for countering microgravity – induced muscle atrophy*. *Microgravity Science and Technology* 25(1): 35–42.



„Czas leci” podczas Konkursu „Eksperyment łańcuchowy”



Grawitacja rzeźbiarz świata ożywionego

*Agata Kołodziejczyk
Instytut Nauk o Środowisku UJ*

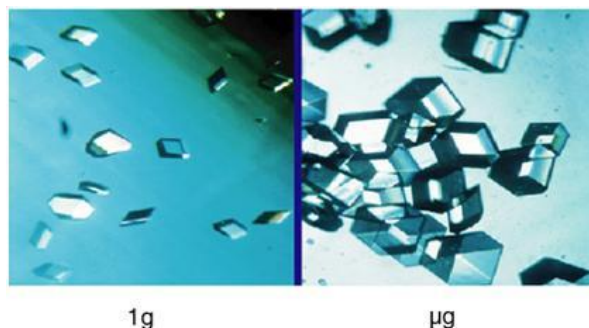
Pole grawitacyjne Ziemi odegrało kluczową rolę w powstaniu i rozwoju życia. To podstawowe oddziaływanie fizyczne stało się determinantą kształtów, wielkości i proporcji układów biologicznych. Adaptacje świata żywego do warunków ziemskiego pola grawitacyjnego przejawiają się między innymi reakcjami grawitropowymi roślin, czyli determinowaniem kierunku wzrostu rośliny przez zwrot i kierunek wektora grawitacji. U zwierząt poczucie siły ciężkości odbywa się w wyniku aktywności receptorów pozwalających im zapewnić prawidłową orientację w polu grawitacyjnym. Z receptorami tymi silnie powiązane są mechanizmy antygravitacyjne, na przykład serce pozwalające przepompowywać krew zalegającą w dolnych częściach organizmu, tętnice kontrolujące właściwe parametry ciśnienia czy układy/mechanizmy balansujące reakcje z układu kostno-szkieletowego.

Siła przyciągania ziemskiego zmieniała się lokalnie wraz z wiekiem naszej planety, i tak jest do dziś. Najlepsze dane dotyczące nieregularności grawitacyjnej naszego globu dostarczył niskoorbitowy (250 km) satelita GOCE [1], należący do ESA (2009). W miejscach łańcuchów górskich siła przyciągania jest większa niż nad morzami, najlżejsi jesteśmy natomiast w południowych Indiach i na Sri Lance. Ponadto na ciężar każdego ciała na Ziemi ma również wpływ grawitacja przyciągania Księżyca, czego widocznym efektem są np. pływy morskie. Ze względu na zwiększające się możliwości i potrzeby przebywania istot żywych w przestrzeni kosmicznej, biologia grawitacyjna i medycyna grawitacyjna są obecnie jednymi z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin nauki. Z prac poświęconych badaniom funkcjonowania organizmów żywych w warunkach mikrogravitacji wynika, że efekty grawitacyjne ujawniają się na wszystkich poziomach organizacji istoty żywej: molekularnym, komórkowym i organizmalnym.

W jaki sposób organizmy czują grawitację?

Za wyjątkiem bakterii, które pozostają grawitacyjnie obojętne i mogą normalnie rozwijać się nawet przy wartościach tzw. hipergravitacyjnych rzędu 400 G, aktywność biologiczna organizmów żywych kontrolowana jest przez receptory reagujące na wektor ciężenia. Podstawowym elementem budowy takiego receptora są kryształki utworzone z węglanu lub fosforanu wapnia zwane otolitami lub statolitami. Statolity roślin to ziarna skrobi w wyspecjalizowanych amyloplastach zwanych statocytami. Pod wpływem grawitacji ziarna skrobi opadają

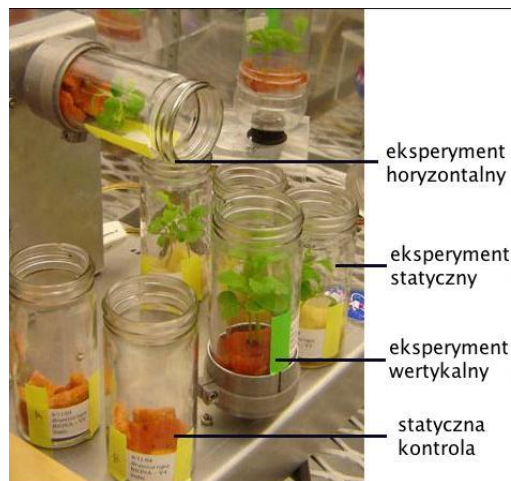
na siateczkę retikulum endoplazmatycznego (dla przypomnienia: retikulum endoplazmatyczne to wewnątrzkomórkowy system błonowy syntetyzujący białka i tłuszcze pełniący również funkcje transportowe). W odpowiedzi na grawitropowe sygnały z retikulum, roślinne hormony wzrostu zwane auksynami indukują odpowiednio zorientowany wzrost korzenia (grawitropizm pozytywny) i łodygi (grawitropizm negatywny). Mechanizm działania otolitów zwierzęcych wymaga obecności pokrytej włoskami komórki receptorowej. Otolity opadając na włoski czuciowe komórek receptorowych generują informację rejestrującą kierunek oddziaływania siły ciężkości a tym samym informację o położeniu organizmu w przestrzeni. Otolity ludzkie mają kształt pryzmatów wielkości 1–10 μm i znajdują się w kanałach półkolistych błędnika błoniastego będącego jednocześnie narządem słuchu i równowagi we wnętrzu czaszki. Ostatnie badania [2] wykazały, że reakcja na siłę ciężkości nie jest przypisana wyłącznie wyspecjalizowanym systemom percepcyjnym. Okazuje się, że nawet tak proste struktury biologiczne jak błony komórkowe reagują na grawitację poprzez zmiany w przepuszczalności dwuwarstwy lipidowej. W konsekwencji zmianie ulega potencjał błonowy i stężenie jonów wapniowych we wnętrzu komórek. Wchodząc głębiej w poziomy ultrastrukturalne należy zaznaczyć, że środowisko mikrograwitacyjne silnie wpływa na przemiany związków chemicznych. Zjawisko to coraz częściej wykorzystuje się do tworzenia nowych materiałów, które w warunkach ziemskich nigdy by nie powstały. W szczególności dotyczy to tworzenia kryształów, które w mikrograwitacji rosną większe i pozbawione strukturalnych defektów, jakie tworzone są w trakcie krystalizacji na Ziemi (rys. 1) (dla zainteresowanych polecam stronę www.microgravity.com z obszerną wiedzą na ten temat). Tak powstające materiały gwarantują lepszą jakość, trwałość produktów i wydajniejsze przemiany chemiczne. Krystalizacja insuliny w warunkach nieważkości precyzyjniej określa naturę tego białka, co w następstwie prowadzi do głębszego zrozumienia procesów leczenia cukrzycy. Komórki hodowane na płytkach polimerowych w warunkach mikrograwitacyjnych nie są spłaszczone, jak te hodowane na Ziemi, a tym samym bardziej przypominają komórki występujące naturalnie w organizmie, co zwiększa powodzenie zabiegów transplantacyjnych. Interesującym przykładem badań nad efektami mikrograwitacji jest również analiza płonącego płomienia świecy w nieważkości, która pozwala na opracowanie wydajniejszych metod spalania i oszczędzania energii. Nasuwają się pytania, czy również złożone biochemicznie organizmy żywe przekształciłyby się w formy doskonalsze i wydajniejsze energetycznie w środowisku pozbawionym grawitacji? Jak zmieniałyby się ich kształty i proporcje? Jak zmieniałyby się kinetyka procesów biochemicznych? Generalnie problem ujmując, **czy życie bez grawitacji byłoby możliwe?**



Rys. 1. Różnice w procesie krystalizacji ludzkiego białka insuliny w warunkach ziemskich (po lewej) i w mikrograwitacji. Źródło: www.microgravity.com

Symulacje mikrograwitacji w warunkach ziemskich

Ze względu na złożoność układów biologicznych, postawione problemy naukowe nie są łatwe do badania. Pomimo szeregu trudności ludzie od dawna interesowali się tym tematem. Koncept urządzenia symulującego brak grawitacji został zaproponowany już w 1703 roku przez Denisa Dodarta. W 1879 Julius von Sachs skonstruował pierwszy **klinostat** (rys. 2), który był zegarowo nakręcaną maszyną zastąpioną później odpowiednikami o napędzie elektrycznym.



Rys. 2. Przykład możliwego do wykonania eksperymentu z wykorzystaniem klinostatu. W ciągu 5 tygodni rośliny z gatunku kapustnych (*Brassica rapa*) hodowano na specjalnym medium BIONA w warunkach symulowanej mikrograwitacji (eksperyment horyzontalny). Aby wyeliminować wpływ obrotu dysku na rozwój rośliny, równolegle hodowano rośliny w warunkach grawitacyjnych na dysku (eksperyment wertykalny) i w eksperymencie statycznym. Dodatkowo badano właściwości samego medium (statyczna kontrola). Wyniki tego eksperymentu znajdują się w interaktywnej bazie danych (IPOD – *Interactive Plant Outreach Database*), która jest udostępniona naukowcom, nauczycielom i ogólnej publiczności. Źródło: NASA (<http://weboflife.nasa.gov/slstp/rn.htm>)

Pierwszy klinostat elektryczny powstał w 1897 roku. Klinostat jest urządzeniem wykorzystującym ruch obrotowy do niwelowania siły grawitacyjnej w trakcie wzrostu i rozwoju rośliny (niwelowania grawitropizmu). Na osi poziomej klinostatu umieszczony jest dysk obrotowy.

Roślina przymocowana jest do dysku tak, aby jej oś pokrywała się z osią poziomą. W wyniku obrotu rośliny wokół osi poziomej wartość przyspieszenia ziemskiego jest uśredniana na 360 stopniach, a wynik tego uśrednienia jest zbliżony do warunków mikrograwitacyjnych. Klinostaty są używane nie tylko do symulowania warunków mikrograwitacji, ale również niwelowania efektów wpływu światła słonecznego. Co ciekawe, za pomocą klinostatu można modyfikować wartość siły ciężenia, na przykład symulować grawitację księżycową (około 1/6 g). Wystarczy umieścić dysk z rośliną pod kątem około 10 stopni. Roślina reaguje na siłę ciężenia jedynie w przypadku, kiedy siła ta oddziałuje dłużej niż krytyczna wartość czasu, zwana minimalnym czasem prezentacji (MPT – *Minimal Presentation Time*). Dla różnych gatunków roślin wartość ta zmienia się w zakresie od 10 do 200 sekund. W przypadku zwierząt czas prezentacji MPT jest jeden lub dwa rzędy wielkości krótszy niż u roślin, przez co niemożliwe jest przeprowadzanie podobnych eksperymentów na całych zwierzętach. Optymalizacja tempa rotacji klinostatu jest kluczowym elementem przeprowadzanych eksperymentów. Jeśli prędkość kątowna jest zbyt mała, roślina generuje fizjologiczne odpowiedzi na siłę grawitacji. Gdy obrót dysku jest zbyt szybki, siły odśrodkowe i napięcia mechaniczne wywołują powstawanie niepożądanych artefaktów, a nawet śmierć organizmu. Optymalizacja działania klinostatu odbywa się aktualnie przez porównanie odpowiedzi na mikrograwitację obserwowanych u roślin hodowanych na stacji kosmicznej, gdzie wartości ciężenia utrzymują się na poziomie 0,0001–0,0005 G. Dla większości roślin dostosowano w ten sposób zakresy od 0,3 do 3 obr/min. Klinostaty szybkoobrotowe (30–150 obr/min) wykorzystuje się do analizy małych próbek zwierzęcych (kultury komórkowe w naczynkach o kilkumilimetrowej średnicy) umieszczonych na płynnych mediach. Tylko w tak przygotowanych próbkach można uniknąć efektów przeciążeń.

Klinostaty jednoosiowe umożliwiają symulację mikrograwitacji tylko wokół jednej osi obrotu. Skonstruowano także klinostaty trój- lub dwuosiowe (zwane w skrócie RPM – *Random Positionin Machines*) Hosona, umożliwiające uśrednianie wektora grawitacji we wszystkich możliwych kierunkach. Klinostaty takie zbudowane są z ruchomych ramek wirujących niezależnie jedna w drugiej. Badania wykorzystujące właściwości tego urządzenia dotyczyły między innymi analizy wczesnych stadiów rozwoju embrionalnego w warunkach symulowanej nieważkości [3]. Japończycy przeprowadzili eksperymenty zapłodnienia *in vitro* (łac. w szkle) wykorzystując mysie komórki rozrodcze. Okazało się, że mikrograwitacja wywiera minimalne efekty na zapłodnienie. Jednakowoż brak oddziaływania grawitacyjnego może być szkodliwy dla dalszego rozwoju zarodka.

Embriony hodowane w mikrograwitacji osiągają stadium dwukomórkowe i pozostają żywe aż do implementacji w ciele samicy, jednak ze znacznie niższym prawdopodobieństwem niż w przypadku odpowiedników hodowanych z przeciążeniem 1 G. W miarę upływu czasu inkubacji w klinostacie obserwowano zwiększoną śmiertelność zarodków, a tempo rozwoju zarodków spadło po 96 godzinach eksperymentu. Analiza mikroskopowa takich zarodków wykazała, że różnicowanie się komórek embrionalnych w tkankę odżywiająca embrion i ostatecznie tworząca łożysko było znacznie zahamowane. Przeprowadzone eksperymenty rzuciły w wątpliwość nadzieje przetrwania gatunku ludzkiego w nieważkości, jednak należy zdać sobie sprawę, że wyniki tego typu badań powinny być interpretowane ostrożnie. Symulacja mikrograwitacji w klinostatach nie jest rozwiązaniem idealnym. Pomimo obrotu dysku albo ramek tego urządzenia, siła ciężenia wciąż oddziałuje z badanymi próbkami biologicznymi, z tą różnicą, że jest pozbawiona kierunkowości. Powinno się mówić zatem nie tyle o symulacji mikrograwitacji, lecz o stymulacji grawitacyjnej we wszystkich kierunkach. Kolejna sprawa: wibracje z silnika i inne efekty motoryki układu mogą wywołać niekontrolowane artefakty.

Alternatywą klinostatu do symulowania nieważkości jest urządzenie generujące ciągły spadek swobodny zwane FFM – *free fall machine*, wynalezione przez Meslanda, które umożliwia przeprowadzanie eksperymentów na małych próbkach (np. zawieszinach komórkowych). Takie próbki poddawane są spadkowi swobodnemu w polu grawitacji na długości jednego metra w czasie trwającym niewiele mniej niż sekunda. Następnie są one wypychane z powrotem na szczyt aparatury przez zastosowanie impulsu ogromnej siły (ok. 20 G w czasie 20 ms), po czym ponownie opadają. Zasada działania tej maszyny polega na tym, że przez większość czasu próbka pozostaje w stanie swobodnego spadku (0 G), a okresy przeciążenia są zbyt krótkie, aby mogły być rejestrowane przez fizjologiczne procesy w badanym materiale biologicznym. Pytanie, czy stan ciągłego spadku swobodnego z szarpnięciami 20 G jest środowiskiem idealnym dla procesów biochemicznych...

Eksperymenty na stacji kosmicznej

Pomimo dużych wysiłków z dostosowaniem odpowiednich narzędzi umożliwiających badania mikrograwitacyjne na Ziemi, wciąż najlepszym miejscem na ich wykonywanie jest przestrzeń kosmiczna. Podróże kosmiczne, zwłaszcza w ostatnich latach, przyczyniły się do głębszego zrozumienia wpływu oddziaływania siły ciężenia na organizmy żywe. Obiektami badań w eksperymentach były bakterie, grzyby, glony, pierwotniaki, rośliny, komórki ssaków (np. ludzka komórka nerkowa, ludzkie erytrocyty, limfocyty, fibroblasty i osteoblasty) oraz całe organizmy żywe [5]. Badania nad bakteriami dowiodły, że w przypadku mikrograwitacji obserwowane jest zwiększenie liczebności i tempa wzrostu kolonii w porównaniu z grupą kontrolną oraz wzrost odporności na wysokie

dawki promieniowania kosmicznego i, co ciekawe, również na antybiotyki. Eksperymenty przeprowadzone nad grzybem *Physarum polycephalum* pokazały, że w warunkach mikrogravitacji jego cytoplazma zaczyna pulsować, czego nie obserwuje się na Ziemi. U glonów brak siły ciężenia przyczynia się do zmniejszenia objętości chloroplastów, a u pierwotniaka *Paramecium tertarelia* komórki wykazywały zwiększone tempo podziałów i około 20-procentowe zwiększenie szybkości przyrostu objętości. Komórki układu odpornościowego zwane limfocytami w warunkach mikrogravitacji wykazały 90-procentowy spadek aktywności [4]. Uważa się, że powyższy efekt prowadzi do obniżenia odporności immunologicznej kosmonautów. Kolejnym ciekawym zjawiskiem jest ruchliwość plemników w mikrogravitacji [6]. Badania na spermie jeźwców (sperma tego gatunku jest bardziej jednorodna niż w przypadku innych zwierząt, a plemniki są bardziej żywotne), wykazały interesujące różnice w zachowaniu tych komórek. Okazuje się, że ruchliwość plemników jest znacząco większa w stanie nieważkości. Pomimo tego wydajność zapłodnienia maleje ze względu na obniżenie aktywności kluczowego enzymu w procesie uwalniania materiału genetycznego (białka fosfatazy).

Najbardziej fascynującymi badaniami są być może eksperymenty z udziałem samych astronautów, którzy przebywają długoterminowo na stacjach kosmicznych. Eksperymenty te dostarczają cennych danych z zakresu **medycyny grawitacyjnej**. Wynikiem przebywania w warunkach mikrogravitacji jest nie tylko powszechnie znany ubytek masy mięśni i kości, ale również płuc, serca, wątroby, nerek, żołądka oraz jelit. Mięśnie szkieletowe wykształcone w celu utrzymania pionowej pozycji ciała i poruszania poszczególnymi jego częściami, przeciwdziałające sile grawitacji, w nieważkości stają się bezużyteczne i ulegają zanikowi (tzw. atrofii). Przemianom ulega nie tylko ilość, ale i struktura tkanki mięśniowej: powoli kurczące się włókna mięśniowe (tzw. mięśnie gładkie), przeciwstawiające się ciągłym obciążeniom występującym w warunkach ziemskich, zamieniane są na szybko kurczące się włókna mięśniowe, służące do natychmiastowej reakcji [7]. Zanikowi podlega również zbędna w nieważkości, a kosztowna energetycznie dla organizmu, zbroja tkanki kostnej. Utrata kości, zwłaszcza w końcowych odcinkach kości długich, jest wynikiem zahamowania różnicowania komórek prekursorowych (tzw. osteoblastów) w komórki kostne, podczas gdy liczba osteoblastów pozostaje stała. Ostatnie badania wykazały, jak można przeciwdziałać tym procesom. Dwie godziny ćwiczeń fizycznych dziennie wraz z zastosowaniem diety bogatej w wapń i witaminę D mogą znacznie spowolnić proces zaniku kości nie tylko astronautów, ale i cierpiących na osteoporozę.

Istotny wpływ na funkcjonowanie organizmu ludzkiego ma rozkład płynów ustrojowych. W warunkach mikrogravitacji owe płyny wznoszą się do górnych części ciała, wywołując zmniejszenie o około 10% objętości nóg. Dopływ krwi do górnych partii, czyli do klatki piersiowej i głowy, powoduje obrzmienie twa-

rzy (tzw. twarz księżycowa: *moon face*), trudności w oddychaniu oraz przekrwienie błon śluzowych zatok i nosa. Ze względu na chroniczny katar astronauta mają ograniczone czucie smaku i zapachu. Przemieszczenie się płynów jest również przyczyną zmian w gospodarce wodno-elektrolitowej. Przykładem jest zmiana szybkości filtracji nerek oraz 20-procentowe zmniejszenie objętości naczyń krwionośnych prowadzące do nadmiaru erytrocytów. W celu zrównoważenia tych procesów zmniejszona zostaje synteza czerwonych krwinek.

Złożonym zagadnieniem badawczym jest funkcjonowanie układu nerwowego człowieka w kosmosie. Narządy zmysłów i narządy przedsionkowe, znajdujące się w uchu wewnętrznym, mięśnie i stawy, a także receptory dotyku i nacisku biorące udział w percepcji grawitacji przestają być użyteczne. Zmienione warunki grawitacyjne powodują zmianę parametrów sygnałów odbieranych przez te narządy, np. narząd przedsionkowy przestaje rozróżniać kierunek góra-dół. Receptory dotyku i nacisku przestają sygnalizować zwrot przyciągania w dół. Powoduje to szereg złudzeń orientacyjnych, jak np. uczucie odwróconej pozycji, brak odczuwania ruchu pojazdu kosmicznego. Wszystko to przyczynia się do wywołania mdłości, zawrotów głowy i złego samopoczucia nawet do trzech dni po zmianie środowiska grawitacyjnego. Odkrycie mechanizmu adaptacji zmysłów równowagi do zmian grawitacyjnych może pomóc astronautom łagodniej przechodzić przez stany nieważkości i normalnej grawitacji. Badania te mogą również stanowić ważny krok do poznania przyczyn choroby lokomocyjnej oraz w szerszym zakresie wpłynąć na poznanie mechanizmów uczenia się i zapamiętywania.

Badania efektów mikrogravitacji na organizmy żywe wymagają użycia niejednokrotnie skomplikowanej aparatury, na co nie zawsze pozwalają warunki na stacji kosmicznej. Dodatkowo badania te wymagają odpowiednich eksperymentów kontrolnych. Zwykło się je wykonywać na Ziemi i porównywać z eksperymentami przeprowadzanymi w laboratoriach Międzynarodowej Stacji Kosmicznej ISS (International Space Station). Okazuje się jednak, że należy również wziąć pod uwagę inne **czynniki, których nie można zapewnić na Ziemi**. Są to między innymi promieniowanie kosmiczne, wibracje i obecność innych gazów w otoczeniu. Problem badania efektów grawitacyjnych na organizmy żywe jest więc wciąż otwartym wyzwaniem dla wszystkich zainteresowanych. NASA oferuje współpracę, otwiera konkursy i tym samym daje możliwość udziału w biologicznych eksperymentach prowadzonych na stacji ISS. Mamy szansę osobiście uczestniczyć w zgłębianiu natury życia, aby czynić je doskonałym, umożliwiającym opuszczenie kolebki Ziemi i wyruszenie na podbój innych światów.

Bibliografia

- [1] www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/GOCE Earth's gravity revealed in unprecedented detail.
- [2] Kohn F. 2013. *High throughput fluorescent screening of membrane potential and intracellular calcium concentration under variable gravity conditions*. *Microgravity Science and Technology*, 25: 113–120.
- [3] Wakayama S., Kawahara Y., Li C., Yamagata K., Yuge L., Wakayama T. 2009. *Detrimental effects of microgravity on mouse preimplantation development in vitro*. *PLoS One*, 4(8): e6753.
- [4] Schwarzenberg M., Pippia P., Meloni M.A., Cossu G., Cogoli-Greuter M., Cogoli A. 1999. *Signal transduction in T-lymphocytes – a comparison of the data from space, the free fall machine and the random positioning machine*. *Advanced Space Research* 24(6): 793–800.
- [5] Jasik-Ślęzak J., Ślęzak A. 2008. *O biofizycznej roli środowiska grawitacyjnego*. *Zdr. Publ.* 118(1): 65–71.
- [6] Tash J.S., Bracho G.E. 1999. *Microgravity alters protein phosphorylation changes during initiation of sea urchin sperm motility*. *The FASEB Journal* 13(9001): 543–554.
- [7] Monici M., Cialdai F., Romano G. et al. 2013. *Effect of IR laser on myoblasts: prospects of application for countering microgravity – induced muscle atrophy*. *Microgravity Science and Technology* 25(1): 35–42.



„Czas leci” podczas Konkursu „Eksperyment łańcuchowy”



Wyznaczamy współczynnik lepkości cieczy

Stanisław Bednarek

Delta, sierpień 2008

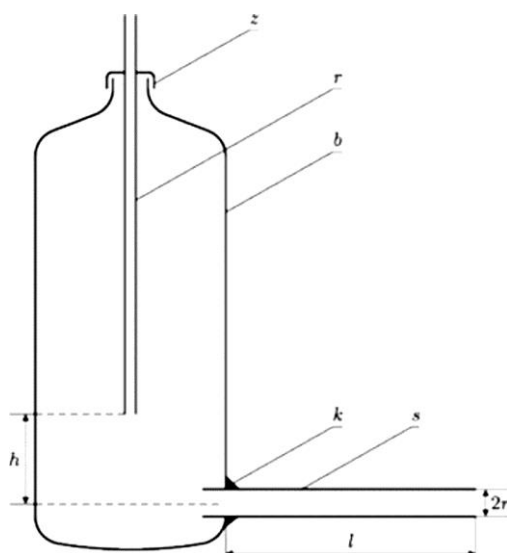
W towarzyszącym *Fotonowi Neutrinie 22* zamieszczamy informację, jak to nazwała prasa (patrz np. GW), o najdłuższym trwającym eksperymencie świata, czyli trwającej od 1944 roku obserwacji spadających kropli paku, frakcji pozostałej po destylacji smoły pogazowej. W lipcu tego roku spadła ósma kropla cieczy wyciekającej z naczynia od 1944 roku. W domu można wykonać pomiar współczynnika lepkości np. oleju.

Ruch dowolnego ciała w cieczy napotyka opór, który zależy od kształtu i wielkości ciała, jego prędkości oraz rodzaju cieczy. Parametrem charakteryzującym rodzaj cieczy w sposób ilościowy jest współczynnik lepkości.

Współczynnik ten decyduje również, jaka objętość cieczy przepłynie przez rurkę o danym promieniu przy określonej różnicy ciśnień i w zadanym czasie. Żeby obliczyć tę objętość ΔV należy skorzystać z wzoru Hagen-Poiseuille'a:

$$\Delta V = \frac{\pi r^4 \Delta p \Delta t}{8 l \mu} \quad (1)$$

We wzorze tym r oznacza promień wewnętrzny rurki, l jej długość, Δp – różnicę ciśnień na końcach rurki, Δt – czas przepływu, natomiast μ jest współczynnikiem lepkości, który postaramy się wyznaczyć doświadczalnie.



Do przeprowadzenia doświadczenia potrzebne będą: przezroczysta butelka z zakrętką, np. po wodzie mineralnej o pojemności 1,5 l, dwa długie kawałki rurki do picia napojów, woda, olej roślinny, linijka z podziałką milimetrową lub lepiej suwmiarka, szybkowiążący klej epoksydowy, np. Poxipol, niewielkie kartonowe pudełko po soku o pojemności 200 ml, stoper, plastelina.

Wygląd butelki Mariotte'a do wyznaczania współczynnika lepkości cieczy

W plastikowej zakrętce wiercimy niewielki otwór. W ten otwór wkładamy słomkę do napojów. Otwór powinien być takiej wielkości, żeby słomkę można było dość ciasno przesunąć w zakrętce. Następnie nawiercamy niewielki otwór w bocznej ścianie w pobliżu dna butelki. W tym otworze umieszczamy drugą słomkę. Miejsce przejścia słomki przez otwór uszczelniamy szybkowiążącym klejem epoksydowym. Zwracamy przy tym uwagę na to, żeby słomka ustawiona była poziomo, a jej wylot zamykamy niewielkim korkiem z plasteliny.

W ten sposób przygotowaliśmy tzw. butelkę Mariotte'a. Jej zaletą jest to, że przez pewien czas prędkość wypływu cieczy z butelki jest stała. Do butelki nalewamy wodę prawie do pełna. Butelkę zamykamy zakrętką z przechodzącą przez nią słomką i ustawiamy na dowolnej podstawie tak, żeby można było postawić naczynie na wodę pod wylot poziomej słomki. Gdy postawimy to naczynie, wyjmujemy plastelinowy korek i obserwujemy wypływ wody. Prędkość tego wypływu jest stała tak długo, aż poziom wody w butelce opadnie poniżej dolnego końca pionowej słomki przechodzącej przez zakrętkę. Można łatwo wykazać, że wartość tej prędkości wyraża się wzorem:

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim. Prędkość wypływu wody możemy regulować przez przesunięcie pionowej słomki w zakrętce. Im wyżej będzie znajdował się koniec tej słomki, tym większa będzie prędkość wypływu, ale tym krócej ta prędkość będzie stała.

Wróćmy teraz do współczynnika lepkości. Wzór (1) przekształcamy do postaci

$$\mu = \frac{\pi r^4 \Delta p \Delta t}{8 l \Delta V} \quad (3)$$

Występująca we wzorze (3) różnica ciśnień Δp wyraża się wzorem

$$\Delta p = \rho gh, \quad (4)$$

w którym ρ oznacza gęstość cieczy.

Po podstawieniu wzoru (4) do wzoru (3) otrzymujemy równanie

$$\mu = \frac{\pi r^4 \rho gh \Delta t}{8 l \Delta V}, \quad (5)$$

z którego można obliczyć współczynnik lepkości μ .

Z równania (5) wynika, że na dokładność wyznaczenia współczynnika lepkości duży wpływ ma dokładność pomiaru r , dlatego promień ten należy zmierzyć możliwie jak najdokładniej (najlepiej użyć do tego celu suwmiarki, wówczas dokładność pomiaru wynosiłaby co najmniej 0,1 mm).

Długość l dolnej słomki oraz wysokość h dolnego końca pionowej słomki nad osią dolnej słomki łatwo zmierzemy linijką. Pozostaje nam jeszcze do zmierzenia objętość ΔV wody, która przepłynęła przez dolną słomkę i czas Δt jej przepływu. Do pomiaru objętości wykorzystamy kartonowe pudełko po soku, które pozbawiamy górnej pokrywy tak, żeby nie zmienić jego pojemności. Puste pudełko podstawiamy pod wylot dolnej słomki. Butelkę uprzednio napełniamy wodą. Wyjmujemy plastikowy korek z wylotu dolnej słomki. Stoperem mierzymy czas, w którym woda wypełni pudełko.

Po wykonaniu pomiarów wszystkich wielkości występujących we wzorze (5) podstawiamy ich wyniki do tego wzoru i obliczamy współczynnik lepkości μ . Porównujemy obliczoną wartość z podanym w tablicach fizycznych wynikiem dla wody: $\mu = 1,0021 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ (w temperaturze 18°C).

Po całkowitym opróżnieniu butelki z wody napełniamy ją olejem roślinnym i powtarzamy pomiar czasu wypływu dla określonej objętości oleju wypełniającego pudełko po soku. Ponownie podstawiamy wyniki do wzoru (5) i obliczamy współczynnik lepkości oleju. Porównujemy obliczoną wartość z wynikiem podanym w tablicach fizycznych dla oleju: $\mu = 84 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$. Na koniec zastanówmy się, jakie czynniki wpływają na rozbieżność lub zgodność uzyskanych przez nas rezultatów z wynikami podanymi w tablicach fizycznych.



„Łańcuchowo odlotowo” podczas Konkursu „Eksperyment łańcuchowy”
– zwycięzca w kategorii szkół gimnazjalnych



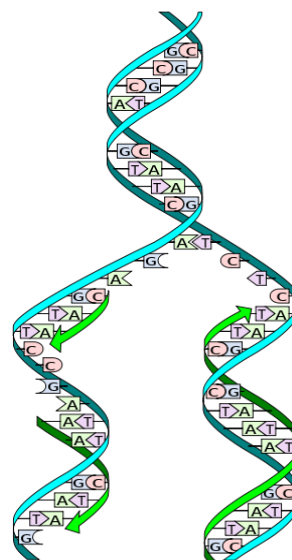
Jak rozwinąć podwójną helisę DNA? Jak działają szczypce optyczne?

Ines Moskal

Studentka Instytutu Fizyki UJ

Podwójna helisa DNA

DNA (kwas dezoksyrybonukleinowy) jest to cząsteczka, która u ludzi i zwierząt pełni wiele ważnych funkcji, takich jak magazynowanie informacji na temat budowy, działania oraz cech osobniczych organizmu. Składa się ona z dwóch nici zbudowanych z cukru deoksyrybozy oraz zasad azotowych (adeniny, tyminy, guaniny oraz cytozyny), a także z reszt kwasu fosforowego. Zasady azotowe łączą się tylko w ściśle określone pary: adenina-tymina i cytozyna-guanina. Obie nici splatają się wokół wspólnej osi tworząc kształt zwany podwójną helisą. Dzięki takiej budowie, DNA można zwinąć do takiej objętości, by w każdej komórce mieścił się około dwumetrowy łańcuch naszego kodu genetycznego. Istnieją jednak sytuacje, kiedy podwójna helisa zostaje „rozkręcona”. Dzieje się to zazwyczaj, gdy materiał genetyczny jest powielany, co nazywamy replikacją DNA. Wtedy kompleks składający się z różnych białek (**replisom**) zaczyna kopiować nić, jednocześnie rozwijając ją w tak zwane widelki replikacyjne (rys. 1). Wszystkie procesy zachodzące przy obecności DNA są wielce istotne w rozwoju i funkcjonowaniu naszego organizmu.



Rys. 1. Duża helisa DNA rozwijająca się do replikacji [1]

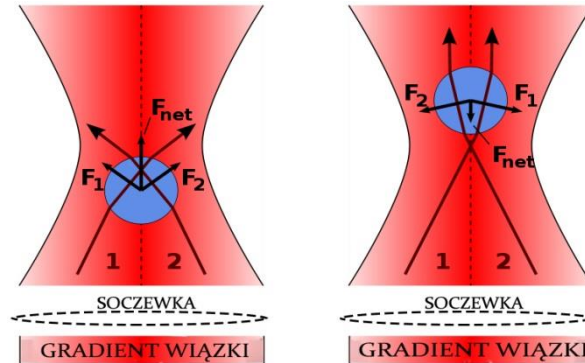
Czy zastanawialiście się, czy człowiekowi może się udać to, co replisomom udaje się z taką łatwością? Albo co się stanie, jeżeli rozwiniemy DNA wokół osi obrotu nici?

Jak działają optyczne szczypce?

Żeby znaleźć odpowiedź na powyższe pytania, trzeba zapoznać się z techniką optycznych szczypiec (z ang. *Optical Tweezer*), która pozwala nam badać mechaniczne właściwości komórek, cząsteczek oraz wielu innych małych organicznych i nieorganicznych przedmiotów. Najważniejszym elementem szczypiec optycznych jest skupiona wiązka lasera, która pozwala „złapać” i przemieszczać interesujący nas mikroskopowy obiekt.

Jak to działa?

W przypadku, gdy średnica łapanej cząsteczki jest dużo większa od długości fali światła emitowanego przez laser, światło trafiające na cząsteczkę zostaje załamane. Jest to równoznaczne z tym, że zmienia ono swój bieg i wektor pędu. Znajac III prawo Newtona wiemy, że cząstka również zmieni swój wektor pędu. Schemat działania sił dla obiektów większych niż długość fali światła laserowego został przedstawiony na rys. 2. W naszej pułapce optycznej znajduje się też wypukła soczewka, która skupia światło w płaszczyźnie poziomej. Obiekt więziony jest w miejscu przewężenia (ognisku) wiązki światła. Jeśli złapana cząsteczka wysunie się z ogniska w dół, tak jak pokazano z lewej strony rys. 2, to wtedy działa na nią siła skierowana do góry i wciąga ją z powrotem do ogniska. Analogicznie, jeśli cząsteczka wysunie się do góry, to będzie ściągana w dół. Żeby to wyjaśnić, rozpatrzmy szczegółowo przypadek, gdy cząsteczka jest poniżej ogniska. Wtedy światło padające na nią z lewej strony będzie działać na nią siłą skierowaną w lewą stronę i do góry (na rysunku siłę tę oznaczono przez F_1). Droga promieni z lewej strony oznaczona jest cyfrą 1. Zakrzywiony promień 1 wylatując z cząsteczki skręci w prawo w stosunku do swojego pierwotnego kierunku, a zatem odepchnie cząsteczkę w lewą stronę. Skręt promienia 1 w prawo spowoduje, że składowa jego pędu skierowana do góry będzie mniejsza niż była zanim wszedł do cząsteczki. Zatem z zasady zachowania pędu wynika, że skoro składowa pędu promienia w kierunku pionowym zmniejszy się, to składowa pędu cząsteczki w kierunku pionowym musi się zwiększyć, czyli światło padające na cząsteczkę poniżej ogniska z lewej strony popycha ją w lewo i do góry. Podobnie można wykazać, że światło padające na cząsteczkę poniżej ogniska z prawej strony będzie popychać ją siłą F_2 w prawą stronę. Jeśli cząsteczka jest na środku wiązki, to wtedy siły działające w lewą i w prawą stronę będą się równoważyć, więc zostanie popchnięta tylko do góry i wciśnięta z powrotem do ogniska. Narzuca się jeszcze pytanie: Dlaczego cząsteczka nie wysmyknie się ze szczytów na bok? Żeby temu zapobiec wiązka lasera ma światło gradientowe (to oznacza, że natężenie wiązki maleje idąc od osi wiązki na zewnątrz). Zatem natężenie jest największe w środku wiązki, a najmniejsze na brzegu. Na rys. 2 jest to uwidocznione poprzez ciemny czerwony kolor w pobliżu osi, który blaknie w kierunku brzegu wiązki. Zmniejszanie się natężenia wiązki od centrum do brzegu powoduje, że jeżeli obiekt oddali się od środka pułapki optycznej na przykład na lewo, wtedy z prawej strony będzie padało na niego więcej światła niż z lewej. Jak wiemy światło padające z prawej strony ciągnie cząsteczkę w prawo, a z lewej w lewo. Dlatego jeśli cząstka w ognisku wysunie się nieco w lewo, to wtedy siła ciągnąca w lewo będzie mniejsza niż siła ciągnąca w prawo, bo z lewej będzie mniej światła niż z prawej.

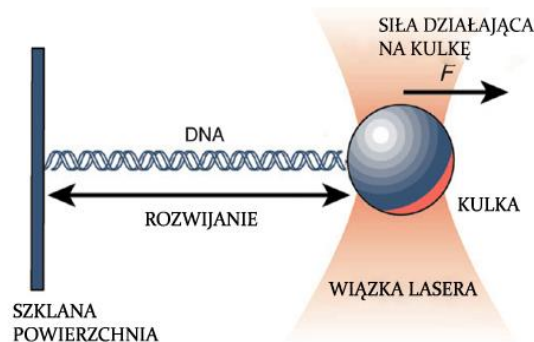


Rys. 2. Schemat działania optycznych szczypiec wraz z oznaczeniami sił działających na obiekt [2]

Jeśli zatem nabierzemy wprawy w obsłudze takich optycznych szczypiec, to możemy spróbować odpowiedzieć na pytanie:

Co się stanie jak będziemy rozciągać łańcuch DNA?

Teraz dochodzimy do najważniejszego aspektu w tym opisie, jak udaje się nam rozwinąć DNA? I co się wtedy dzieje?



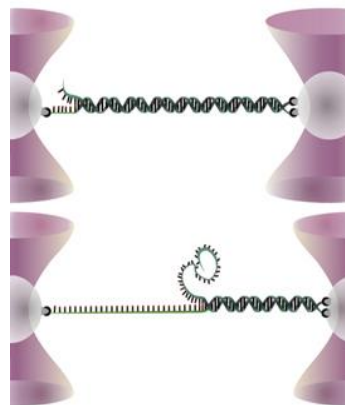
Rys. 3. Metoda rozwijania DNA [3]

Otóż mając możliwość skorzystania z optycznych szczypiec i wiedząc, że możemy w nich uwięzić obiekt i działać na niego siłą, znamy już wszystkie narzędzia potrzebne do rozwinięcia helisy naszego kodu genetycznego. Dla wyizolowanej nici DNA jeden jej koniec przytwierdzamy do szklanej powierzchni, natomiast do drugiego jej końca zostaje przymocowana. Możemy też przytwierdzić kulki z obu stron i każdą łapiemy za pomocą szczypiec optycznych (rys. 4). Istnieje wiele metod, za pomocą których można przytwierdzić podwójną helisę do kulki. Jedną z najczęściej stosowanych jest okrycie polistyrenowej kulki

streptawidyną, która jest białkiem wysoce spowinowaconym z biotyną. Wtedy na koniec molekuly DNA aplikuje się biotynę i powstaje wiązanie. W takim układzie kulka może być dowolnie manipulowana, a wyniki można będzie zobaczyć pod mikroskopem.

Jednak wyniki takiego rozciągania DNA każdego mogą zaskoczyć, gdyż zamiast stopniowo się rozwijać pod wpływem przyłożonej stałej siły, podwójna helisa stawia opór. Nasze DNA nie poddaje się sile ciągnącej kulkę aż do wartości 65 pikonewtonów (w skrócie pN), kiedy nagle zupełnie się rozwija, aż do 1,7-krotności swojej pierwotnej długości! Gdy spojrzymy pod mikroskop, dowiemy się, że nie da się rozkręcić nici bez zniszczenia jej i po użyciu siły większej niż 65 pN wiązania zasad azotowych rozsypują się i oba końce DNA rozpinają się jak suwak⁴ (rys. 4).

Poznając mechaniczne właściwości naszego kodu genetycznego możemy dowiedzieć się, w jaki sposób reagują one z białkami. Takie reakcje mają miejsce w naszym organizmie nieustannie. DNA jest wciąż zwijane, rozciągane lub składane. Gdy zrozumiemy, jak fizycznie zmieniają się jego właściwości, może kiedyś w przyszłości będziemy mogli sami je zmieniać, co pomoże znaleźć lek na wiele chorób genetycznych.



Ilustracja 4. Rozwijanie DNA za pomocą pary optycznych szczypiec [5]

[1, 2] Źródło: wikipedia.pl

[3] Źródło: <http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp>

[4] <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2009/October/19100902.asp>

[5] http://www.nbi.ku.dk/english/news/news11/new_insights_into_dna_under_the_influence_of_strong_forces/



O momencie magnetycznym niepłaskiego obwodu

Jacek Ciborowski*, Maria Sobol**

*Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

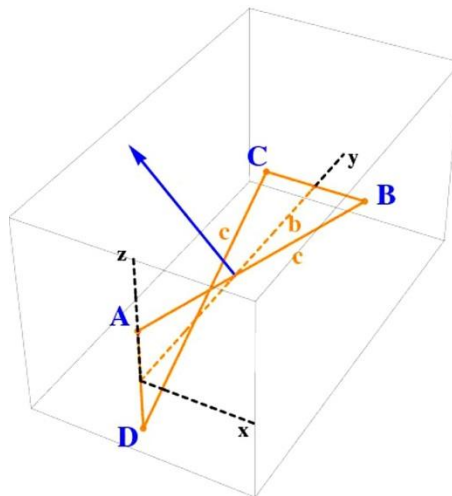
**Warszawski Uniwersytet Medyczny, Zakład Biofizyki i Fizjologii Człowieka

Na wykładach z elektryczności i magnetyzmu studenci uczą się, że płaski obwód (rozważa się zazwyczaj okrąg, trójkąt lub prostokąt), w którym płynie prąd o natężeniu I , jest dipolem magnetycznym posiadającym moment dipolowy o wartości $\mu = IS$, gdzie S jest powierzchnią tego obwodu. Wektor momentu dipolowego skierowany jest prostopadłe do powierzchni obwodu, a jego punktem zaczepienia jest jego środek. Płaską ramkę z drutu można dowolnie zdeformować, zarówno tylko w jej pierwotnej płaszczyźnie (pozostawiając ją jako figurę płaską), jak również wyginając ją tak, aby powstała figura niepłaska. W pierwszym przypadku można łatwo pokazać, że powyższy wzór nadal opisuje moment magnetyczny takiej nieregularnej, lecz płaskiej ramki, a występująca w nim powierzchnia S jest jej powierzchnią. W drugim przypadku – a taki przestrzenny (trójwymiarowy) twór również musi posiadać moment magnetyczny, gdy w przewodniku płynie prąd – narzuca się pytanie, jaka jest interpretacja powierzchni S w powyższym wzorze, gdy obwód jest niepłaski.

Dla ilustracji rozważmy pewien szczególny przykład obwodu powstałego w opisany poniżej sposób. Niech będzie dana prostokątna ramka ze sztywnego przewodnika o bokach o długości: a (krótszy) i c (dłuższy). Ramkę uchwycono palcami obu rąk za krótsze boki i skrócono je, ustawiając prostopadłe do siebie, jak pokazano na rys. 1. Wszystkie boki tak powstałej figury są oczywiście nadal odcinkami prostych. W ramce płynie prąd o natężeniu I . Policzmy wektor momentu magnetycznego tak powstałego obwodu i znajdziemy interpretację powierzchni S we wzorze $\mu = IS$ w tym przypadku.

Korzystamy ze wzoru na siłę elektrodynamiczną (zwaną siłą Ampère'a), która dla odcinka przewodnika o długości l w polu magnetycznym o indukcji \vec{B} ma postać: $\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$. Siły te powodują powstanie momentu siły działającego na ramkę, który zgodnie z definicją wynosi: $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$, gdzie \vec{r} jest odpowiednim ramieniem działania siły do wyznaczenia z geometrii zagadnienia i całość wysumowana jest po wszystkich bokach ramki. Następnie korzystamy z definicji wektora momentu magnetycznego: $\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$, gdzie \vec{M} jest momentem siły działającym na dipol magnetyczny o momencie magnetycznym $\vec{\mu}$ w polu \vec{B} . Przyrównujemy powyższe wyrażenia dla momentu siły i z tej równości wyznaczamy współrzędne wektora momentu magnetycznego.

Ramkę po skręceniu umieścimy w kartezjańskim układzie współrzędnych, jak pokazano na rys. 1. Wierzchołki ramki $ABCD$ znajdują się w punktach o następujących współrzędnych: $A(0, 0, a/2)$, $B(a/2, b, 0)$, $C(-a/2, b, 0)$ oraz $D(0, 0, -a/2)$, gdzie b ($b < c$) jest odległością środków boków AD i BC (patrz niżej). Przyjmijmy, że prąd płynie w kierunku zgodnym z powyższą kolejnością wierzchołków. Przyjmijmy również, że ramka umieszczona jest w polu magnetycznym o indukcji $\vec{B} = [B_x, B_y, B_z]$.



Rys. 1. Trójwymiarowy, zamknięty obwód (ramka), w którym płynie prąd o natężeniu I , jest dipolem magnetycznym. Jaka jest w takim przypadku interpretacja powierzchni S , występującej we wzorze na moment magnetyczny $\mu = IS$?

- Na każdy z boków ramki działa siła Ampère'a, której punkt zaczepienia przyjmiemy w środku danego boku. Środki boków, czyli odcinków AB , BC , CD i DA , mają następujące współrzędne:

$$O_{AB}(a/4, b/2, a/4), O_{BC}(0, b, 0), O_{CD}(-a/4, b/2, -a/4) \text{ oraz } O_{DA}(0, 0, 0);$$

- Środek całej figury znajduje się w punkcie leżącym w połowie odległości między środkami boków AB i CD , czyli ma współrzędne: $O_s(0, b/2, 0)$;
- Wektory reprezentujące poszczególne boki są następujące: $\vec{l}_{BA} = [a/2, b, -a/2]$, $\vec{l}_{CB} = [-a, 0, 0]$, $\vec{l}_{DC} = [a/2, -b, -a/2]$ i $\vec{l}_{AD} = [0, 0, a]$;
- Wektory, będące ramionami działania sił Ampère'a, zaczepione w środku figury i o strzałce w punkcie środkowym danego boku, są następujące:

$$\vec{r}_{AB} = [a/4, 0, a/4], \vec{r}_{BC} = [0, b/2, 0], \vec{r}_{CD} = [-a/4, 0, -a/4] \text{ i } \vec{r}_{DA} = [0, -b/2, 0];$$

- Długości boków AB i CD wynoszą c i stąd możemy obliczyć b :

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} / 2$$

Wektor momentu magnetycznego wyznaczamy z równania:

$$\sum_i \vec{M} = I \sum_i \vec{r}_i \times (\vec{l}_i \times \vec{B}) = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (1)$$

gdzie \sum_i oznacza sumowanie po wszystkich bokach figury, a \vec{r}_i i \vec{l}_i – odpowiednie wielkości określone powyżej. W rachunkach wygodnie jest skorzystać z tożsamości:

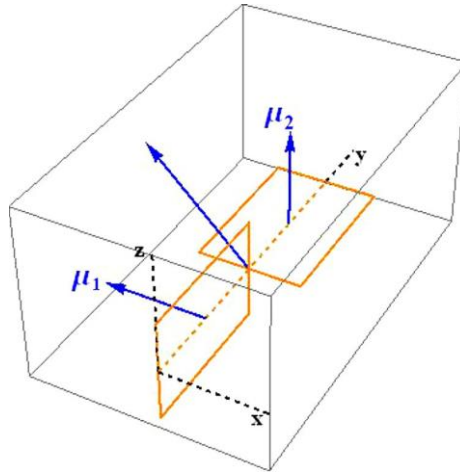
$$\vec{r} \times (\vec{l} \times \vec{B}) = \vec{l}(\vec{r} \cdot \vec{B}) - \vec{B}(\vec{r} \cdot \vec{l}).$$

Rozpiszmy dla przykładu składową x -ową w (1):

$$I \sum_i \left[l_{ix} (r_{ix} B_x + r_{iy} B_y + r_{iz} B_z) - B_x (r_{ix} l_{ix} + r_{iy} l_{iy} + r_{iz} l_{iz}) \right] = \mu_y B_z - \mu_z B_y.$$

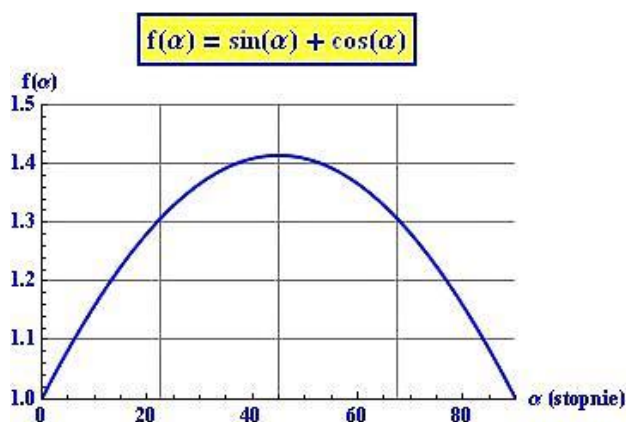
Z porównania współczynników w równaniach dla wszystkich trzech składowych otrzymujemy następujący wynik dla wektora momentu magnetycznego skręconej ramki oraz jego długości:

$$\vec{\mu} = I \frac{ab}{2} (-1, 0, 1) \quad |\vec{\mu}| = \frac{Iab\sqrt{2}}{2} \quad (2)$$

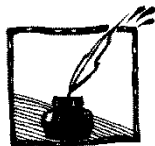


Rys. 2. Ramka z prądem, pokazana na rys. 1, jest dipolem magnetycznym, który można przedstawić równoważnie jako układ dwóch wzajemnie prostopadłych dipoli, utworzonych z ramek o bokach a i $b/2$

Wynik ten, jak łatwo można sprawdzić, jest identyczny z wynikiem, który otrzymalibyśmy zastępując skróconą ramkę z rys. 1 dwiema płaskimi, prostokątnymi ramkami o bokach a i $b/2$, ustawionymi pod kątem prostym, jak pokazano na rys. 2. Każda taka ramka ma moment magnetyczny o wartości równej $Iab/2$, a wektory ich momentów magnetycznych ustawione są względem siebie pod kątem prostym, więc wypadkowy wektor momentu magnetycznego zgodny jest z (2). Poszukajmy teraz interpretacji powierzchni S we wzorze opisującym wartość momentu magnetycznego, $\mu = IS$, w odniesieniu do skróconej ramki z rys. 1. W tym celu obróćmy ramkę w naszym układzie współrzędnych o kąt α , wokół osi Y . Rzut boków ramki na płaszczyznę XY tworzy w ogólności trapez o podstawach $a \cdot \sin \alpha$ i $a \cdot \cos \alpha$ oraz wysokości b . Pole powierzchni tego trapezu, w funkcji kąta α , wynosi: $S(\alpha) = ab(\sin \alpha + \cos \alpha)/2$. Powierzchnia trapezu osiąga maximum, gdy $\alpha = \pi/4$ i wynosi $S_{\max} = \frac{ab\sqrt{2}}{2}$ (rzut boków w tym przypadku tworzy prostokąt). Jest to wartość, którą otrzymaliśmy w rezultacie przeprowadzonych wyżej drobiazgowych rachunków. Tak więc powierzchnia S wchodząca do wzoru na moment magnetyczny $\mu = IS$ stanowi maximum powierzchni rzutu rozważanej figury na płaszczyznę. Funkcja $f(\alpha) = (\sin \alpha + \cos \alpha)$ przedstawiona jest na rys. 3 w funkcji kąta α wyrażonego w stopniach.



Rys. 3. Funkcja $f(\alpha) = \sin \alpha + \cos \alpha$ osiąga maximum dla $\alpha = \pi/4$ i jej wartość w maximum wynosi: $f(\pi/4) = \sqrt{2}$



Szkoły orłów

Zofia Gołąb-Meyer

W tym krótkim artykule przedstawimy trzy szkoły szczególnie zasłużone w „produkcji” wybitnych ludzi. Różni je wiele: wielkość, kraj, czas. Niewątpliwie wszystkie są elitarne. Obecne niezadowolenie ze szkół nie miałoby miejsca gdyby takie szkoły były powszechne. Szkoły domowe były i są odpowiedzią na niedostatki szkół. Tzw. „spółdzielnia” to domowa szkoła, którą założyła wraz ze swoimi kolegami, wybitnymi naukowcami, Maria Skłodowska-Curie. Z działającej dwa lata domowej szkoły wyszło wielu wybitnych uczonych. Niezadowolenie z ówczesnego szkolnictwa prowadziło też do poszukiwania nowego typu szkół, jak np. szkoły Montessori. Lansowaną od wielu lat metodę IBST (ang. *Inquiry Based Science Teaching*), czyli bazującą na samodzielnym eksperymentowaniu i odkrywaniu przez uczniów praw fizyki, próbują przejmować szkoły publiczne. Niestety ma to miejsce jedynie w „lepszych” szkołach. W demokracjach potrzebne są masowe szkoły. Pierwsza z przedstawionych to nieistniejąca już szkoła w Rydzynie – nieduża, elitarna. Dwie inne to współczesne amerykańskie szkoły molochoy.

Nie trzeba wnikliwej analizy, by wyróżnić istotne elementy, które są niezbędne do tego, by szkoła była dobra i by jej absolwenci zostawali wybitnymi ludźmi. Warunkiem absolutnie koniecznym są nauczyciele, którym organizacja szkoły zezwala na taką pracę z uczniami, jaką uważają za najlepszą. Drugi element to stworzenie takich warunków, by uczniowie o podobnych zainteresowaniach i uzdolnieniach mogli z sobą współpracować i rywalizować. Wielcy ludzie nie wyrastają samotnie na pustyni. Czy w nadchodzących czasach kontakty internetowe są w stanie zapewnić takie związki i oddziaływania? Jeśli tak, to szkoły mogą się przepoczwaczyć w jakieś nowe twory. Obserwacja uczestników Turnieju Młodych Fizyków, pracujących wspólnie i spędzających z sobą długie godziny, pokazuje, że kontakty bezpośrednie są nie do zastąpienia. Aby się tworzyły, potrzebni są nauczyciele – liderzy. Rzut oka na listę szkół, z których rekrutują się turniejowicze, jak i zwycięzcy olimpiad fizycznych pokazuje, że za sukcesami uczniów zawsze stoją nauczyciele, i że niestety nie jest ich zbyt wielu.

Szkoła w Rydzynie im. Braci Sulkowski

W Polsce w dwudziestoleciu międzywojennym wielką wagę przykładano do edukacji. Chodziło o nadrobienie wieloletnich zaniedbań z czasów rozbiorowych i ujednoczenie systemu szkolnictwa na terenie całej Polski. Gimnazja

stały na wysokim poziomie i wiele z nich szczyliło się doskonałymi wychowankami. Były one kuźnią polskiej inteligencji. Na tle tych szkół wyróżniała się jedna, zupełnie wyjątkowa, szkoła w Rydzynie koło Leszna założona w 1928 roku. W niej uczył i wykonywał prace naukowe słynny polski fizyk **Arkadiusz Piekara**. Do wybuchu II wojny światowej szkoła doczekała się jedynie 140 absolwentów. Była to męska szkoła dla młodzieży od 12 do 19 lat, aczkolwiek nieliczne dziewczęta, córki nauczycieli, też mogły do niej uczęszczać. Jej twórcą i dyrektorem był **Tadeusz Łopuszański**, słynny pedagog i wychowawca. Powstała na bazie zapisu fundacyjnego księcia ordynata Augusta Sułkowskiego, ustanowionego w 1776 roku na rzecz Komisji Edukacji Narodowej.



Miała wychowywać i kształcić elitę polskiej inteligencji wywodzącą się głównie z niezamożnych ziemiańskich środowisk, które miały utrudniony dostęp do szkół.

Szkoła była na owe czasy bardzo nowoczesna i taką też byłaby obecnie. Uczniowie pracowali, jakbyśmy to dziś powiedzieli, metodą projektów (to również idea szkół Montessori), np. zainteresowani fizyką wykonywali doświadczenia naukowe z fizyki dielektryków pod okiem Arkadiusza Piekary. Inni np. budowali łódź, którą pływali w czasie wakacji. Uczniowie uczestniczyli w żniwach i pomagali okolicznej ludności. Działali w harcerstwie, grupie teatralnej i rozmaitych zespołach sportowych. Duży nacisk położony był na wyrabianie tężyzny fizycznej. Priorytetem szkoły była formacja postaw patriotycznych i społecznych.

Wszyscy ze 140 absolwentów podjęli studia wyższe i w większości je ukończyli mimo wojny, opatentowali 150 wynalazków, ogłosili ponad 1000 publikacji w 14 językach. Ponad 80% Rydzyniaków walczyło na frontach II wojny światowej i niestety aż 29% z nich poległo bądź zginęło w obozach i łagrach. Jednym z absolwentów był wybitny krakowski fizyk jądrowy profesor Jacek Hennel (*Neutrino* 18, 2012, s. 14).

Szkoła z internatem była, jak na dzisiejsze warunki, niewielka. Dyrektor szkoły i nauczyciele znali wszystkich uczniów, mieszkali razem. Kadra nauczycielska była doborowa. Fundusze szkoły były zabezpieczone z Fundacji Sułkowskich. Uczniowie niezamożni otrzymywali stypendia oraz darmowy wikt i opierunek.

Niestety, chyba żadnego kraju nie stać na powszechnie dostępne takie szkoły, choć warto się zastanowić nad potrzebą utworzenia kilku takich szkół. Być może tzw. szkoły akademickie mogłyby spełniać tę funkcję.

Amerykanie korzystają z modelu szkoły rydzyńskiej. Tam elitarne (zresztą nie tylko) szkoły liczą setki, a nawet tysiące uczniów. Właśnie do takiej doskonałej elitarniej szkoły uczęszczali w Kalifornii Steve Jobs i Stephen Wozniak.

Szkoła Średnia Homestead w Dolinie Silikonowej w Kalifornii

Homestead High School (Cupertino, California)

http://en.wikipedia.org/wiki/Homestead_High_School_%28Cupertino,_California%29



Szkoła została założona w 1962 roku. Przeznaczona jest dla uczniów ostatnich czterech klas tzw. middle school (9–12 lat). Uznana jest za jedną z lepszych szkół w kraju. Posiada wyróżnienia *California Distinguished School* oraz tzw. *Blue Ribbon*. W roku 2007 uczęszczało do niej 2270 uczniów!

Na stronie internetowej znajdujemy bogatą ofertę szkoły. Jej mocną stroną są przedmioty ściśle oraz informatyka i robotyka. Uczniowie są laureatami olimpiad fizycznych, matematycznych, konkursów w budowaniu robotów i w informatyce.

W Stanach Zjednoczonych rodzice zdolnych dzieci często zmieniają miejsce zamieszkania, by ich dzieci mogło uczęszczać do takich szkół.

Zarówno rodzice Wozniaka jak i przybrani rodzice Jobsa starannie wybrali dla swych synów drogą szkołę. Była to właśnie szkoła w Homestead. Chłopcy mieli szczęście trafić na wyjątkowego nauczyciela informatyki, który pracował z uczniami metodą projektów. Nauczycielem tym był **John McCollum**. Prowadził on zajęcia, na których uczniowie projektowali i konstruowali urządzenia elektroniczne. Redaktor Orliński (GW, Duży Format, 31 maja 2012) słusznie zauważył, że niestety społeczeństwo nie ma zwyczaju dziękować nauczycielom za wyniki i osiągnięcia swoich uczniów. Sukcesy uczniów są na ogół tak przedstawiane, jakby uczniowie absolutnie sami do nich dochodzili. Co gorsza, często sami wybitni ludzie bądź zapominają, bądź też nie zdają sobie sprawy, co zawdzięczają swoim nauczycielom. Jobs spotkał się w szkole z Wozniakiem w klasie prowadzonej przez McColluma, który rozbudził w nich zainteresowania informatyką. Tak więc ich sukces nie zaczął się od zabawy przypadkowych chłopaków w jakimś garażu. Oni zostali przygotowani do wspólnej twórczej pracy.





Słynna Przyrodnicza Szkoła Średnia w Bronx – kuźnia noblistów

http://en.wikipedia.org/wiki/The_Bronx_High_School_of_Science

Na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych znajduje się słynna przyrodnicza szkoła średnia w Bronx, zwana kuźnią noblistów. Istotnie, lista laureatów Nagrody Nobla oraz laureatów innych odznaczeń jest imponująca. Z jej murów rekrutuje się ośmiu noblistów, z czego siedmiu z fizyki.

Szkoła nosi nazwę *The Bronx High School of Science*. Uczęszcza do niej 2800 uczniów ostatnich klas tzw. middle school. Uczniowie przyjmowani są na podstawie egzaminu stanowego NY SHSAT (*Specialized High School Admission Test*). Z prawie 20 tysięcy aplikujących do szkoły przyjmowanych jest 5,3%, czyli nieco ponad tysiąc. Nieco mniej niż 50% przyjętych stanowią dziewczęta. Szkoła założona w 1938 roku była początkowo męska, a dopiero od 1946 zaczęły tam uczyć się dziewczęta. Początkowo specjalnością szkoły była matematyka i przedmioty przyrodnicze, jednak obecnie oferta została poszerzona o nauki społeczne, ekonomię i przedmioty humanistyczne. Spośród absolwentów rekrutuje się sześciu laureatów Nagrody Pulitzera.



Poniżej przytaczamy wywiad przeprowadzony 20 lat temu przez jednego z redaktorów *GIREP Newsletter* (N.L.) z jej wieloletnim dyrektorem (1978–1990) Miltonem Kopelmanem.

<http://www.girep.org/newsletters/newsletter27.pdf>

Idee i działania leżące u podstaw sukcesów szkoły są bardzo efektywne, ponieważ od czasu Kopelmana szkoła stale znajduje się na szczycie w rankingu szkół w USA. Warto więc wysłuchać Kopelmana, by móc wyłuskać niezbędne elementy świadczące o sukcesie szkoły.

Milton Kopelman:

„Przyrodnicza Szkoła Średnia w Bronx jest przeznaczona dla zdolnych uczniów. W programie nauczania nacisk jest położony na matematykę i przedmioty przyrodnicze. Mamy 2800 (rok 1992) uczniów w klasach od 9 do 12. Szkoła została założona w 1938 roku. Podstawową ideą jej założyciela – dr. Morrisa Meistera, który sam był nauczycielem przyrody, była wiara, że *kiedy*

zdolni uczniowie są zgromadzeni razem, nawzajem na siebie oddziałują, stymulują się, tak więc **efekt nauczania nie jest po prostu sumą wyników poszczególnych uczniów**. Od samego początku nacisk został położony na przedmioty przyrodnicze. Meister czuł, że nie uczyniono wystarczająco dużo dla uzdolnionych przyrodniczo dzieci. On rozumiał, że przyszłość zależy nie tylko od zdolnych ludzi, lecz od ich rozumienia nauki, ich zdolności rozwiązywania problemów. Jak powiedziałem, szkoła została założona w 1938 roku w Bronx, w dzielnicy Nowego Jorku, która była wówczas zamieszkała przede wszystkim przez przybyszów z Europy. **Atmosfera w szkole była taka, że naukę uważano za najsilniejszy element życia szkoły.**

Podkreślam raz jeszcze: **środowisko było biedne, lecz przepelnione wiarą w intelektualne wartości**. Wiele czynników składa się na sukces szkoły. Choć szkoła ma niewiele ponad pięćdziesiąt lat, to jednak wśród jej absolwentów mamy czterech laureatów Nagrody Nobla z fizyki, wielu zostało profesorami uniwersytetów, nauczycielami fizyki, naukowcami w instytutach, osobistościami w różnych dziedzinach. Pośród naszych wychowanków znajdują się laureaci literackiej Nagrody Pulitzera. Niedawno właśnie Nagrodę Nobla dostał Melvin Swartz. Leon Cooper jest z klasy 1947 roku, zaś Steve Weinberg i Sheldon Glashow z klasy roku 1950.

N.L.: Czy miał pan jakieś swoje tricki pedagogiczne?

Bardzo mocno wierzę, że dzieci powinny być zachęcane do własnych badań, do rozwiązywania problemów, powinny pracować z kolegami, nauczycielami i ekspertami. Powinny nabrać wycucia, co to znaczy postawić problem, co znaczy zebrać potrzebne informacje.

N.L.: Proszę powiedzieć coś o poziomie tych problemów.

Oczywiście problem musi być dostosowany do poziomu ucznia. To nie musi być trudny problem badawczy, tu raczej chodzi o sam proces rozwiązywania. Uczeń w dziewiątej klasie może się nauczyć stawiać hipotezy, zbierać informacje, zaprojektować doświadczenie weryfikujące te hipotezy. Z takiego ucznia może wyrosnąć przyszły laureat Nagrody Nobla lub nie, ale będzie on świadomy do końca swego życia, co to jest nauka.

N.L.: Czy pan uważa, że problemy dawane uczniom powinny być otwarte?

Najlepsze problemy to właśnie otwarte, bo czyż takimi nie są problemy naukowe? Cóż za sens ma powtarzanie tego, co zrobili inni, jeśli wynik jest znany? W otwartym problemie wszystko trzeba przebadać. To powinno się robić od początku ze wszystkimi dziećmi, to ich pobudza do samodzielnego działania.

N.L.: A jak przygotowywałyby pan nauczycieli do takiego nauczania?

Jest parę przymiotów, które są potrzebne dobremu nauczycielowi. Dwa z nich są najważniejsze. Pierwszy to inteligencja. Następny to wycucie dzieci, wiara w nie. Dzieci trzeba lubić, trzeba odczuwać radość widząc jak się uczą, jak same coś odkrywają. Jeśli dostanę inteligentną osobę, która lubi dzieci, to mogę z niej zrobić dobrego nauczyciela. Rzecz jasna taka osoba musi mieć bazowe wykształcenie akademickie. Ale to zawsze można zdobyć. Natomiast nie sądzę by osoba brylująca w fizyce, lecz nielubiąca dzieci, mogła być kiedykolwiek dobrym, twórczym nauczycielem. Jak powiedziałem, jeśli masz wycucie dzieci i radość z obcowania z nimi, jesteś na dobrej drodze.

N.L.: A jak pan widzi rywalizację, konkursy?

Bardzo popieram rywalizację i konkursy. Rywalizacja to zdrowy duch. Obserwuję, że konkurs szukania młodych talentów Westinghouse gra bardzo ożywczą rolę w mojej szkole¹. Konkurs Westinghouse jest jedyny w swoim rodzaju i bardzo trudny do zaprojektowania i przeprowadzenia. Ktoś może pomyśleć, że to okropne męczyć jeszcze dzieci dodatkową pracą i kazać im walczyć z sobą. W rzeczywistości dzieci są pobudzane do różnego rodzaju badań naukowych i do rozwiązywania problemów. To ich zachęca do pracy, ja to popieram. Uważam, że zarówno Westinghouse, jak i olimpiady fizyczne mają swoje miejsce. Jednakowoż szczególnie lubię Konkurs Westinghouse. Sądzę, że wszystko, co prowokuje młodych ludzi do własnej pracy naukowej i budzi zainteresowanie nauką (cokolwiek rozumiemy pod tym terminem), jest szczególnie cenne. Nasza szkoła popiera ten konkurs. Mieliśmy (do 1979) 160 laureatów w ciągu 50 lat. Następna szkoła miała poniżej 100 laureatów, tak że bez wątpienia jesteśmy czołówką narodu. I wierzę bardzo mocno, że to dzięki metodzie nauczania, jaką wypracowaliśmy w naszej szkole. Tłum. Z.G.-M.

Oto lista laureatów Nagrody Nobla z fizyki – absolwentów szkoły w Bronx
<http://alumni.bxscience.edu/?page=NotableAlumni>

Imię, nazwisko, rok ukończenia szkoły, data przyznania Nagrody Nobla

- Ray G. Glauber ‘41, 2005
- Leon N. Cooper ‘47, 1972
- Melvin Schwartz ‘49, 1988
- Sheldon L. Glashow ‘50, 1979
- Steven Weinberg ‘50, 1979

¹ W 1988 roku w „Fizyce w Szkole” był wydrukowany artykuł Z.G-M na ten temat.

- Russell A. Hulse '66, 1993
- H. David Politzer '66, 2004

Siedmiu laureatów *National Medal of Science*, odznaczenia przyznawanego przez prezydenta Stanów Zjednoczonych to absolwenci szkoły w Bronx.

29 absolwentów szkoły w 2012 r. było członkami Amerykańskiej Akademii Nauk (NAS), 22 członkami Akademii Inżynierów (NAE) i 10 członkami Instytutu Medycyny.

W słynnym konkursie *Intel/Westinghouse Science Talent Search competition* było 43 zwycięzców i 40 finalistów.

(Publikacja po raz pierwszy – *Foton* nr 7, 1992).



KOMUNIKAT

Pracownia Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu Śląskiego serdecznie zaprasza na coroczne wrześniowe wykłady z pokazami z fizyki pod wspólnym tytułem **Osobliwości Świata Fizyki**. Wykłady odbywać się będą w dniach **4–30 września 2013 roku**. W tym roku wykłady dotyczyć będą zasad dynamiki Newtona, a także dualnej natury światła oraz jej historii.

Dane kontaktowe:

Pracownia Dydaktyki Fizyki,
Instytut Fizyki im. Augusta Chelkowskiego,
Uniwersytet Śląski
ul. Uniwersytecka 4
40-007 Katowice
Tel. 32-359 1170



Ze względu na ograniczoną liczbę miejsc, organizatorzy proszą o wcześniejszą rezerwację.

Program wykładów oraz inne informacje znajdują się na stronie:

www.dydaktykafizyki.us.edu.pl w zakładce **Osobliwości Świata Fizyki**.

ZAPRASZAMY!



KOMUNIKAT **Nagrody PTF**

Komisja Nagród Dydaktycznych PTF dla wyróżniających się nauczycieli – 4 lipca 2013 r., Warszawa – przyznała:

Nagrodę PTF I stopnia im. Grzegorza Białkowskiego i Medal im. Grzegorza Białkowskiego dla wyróżniających się nauczycieli za rok 2012 otrzymuje:

- **dr Jerzy Bronisław Brojan** z Centralnej Komisji Egzaminacyjnej za wieloletnią pracę na rzecz uczniów w celu podniesienia poziomu nauczania fizyki w Polsce.

Nagrodę PTF II stopnia dla wyróżniających się nauczycieli za rok 2012 otrzymuje:

- **dr Anna Kaczorowska** z XIX Liceum Ogólnokształcącego w Warszawie za wieloletnie i różnorodne osiągnięcia w nauczaniu i popularyzowaniu fizyki.

Nagrodę PTF III stopnia dla wyróżniających się nauczycieli za rok 2012 otrzymuje *ex aequo*:

- **mgr Jarosław Stańko** z Zespołu Szkół Ogólnokształcących w Wolsztynie za różnorodne i niezwykle działania na rzecz popularyzacji fizyki wśród uczniów,
- **mgr Włodzimierz Zielić** z XIV Liceum Ogólnokształcącego im. S. Staszica w Warszawie za sukcesy w pracy z uzdolnioną młodzieżą.

Wyróżnienia dla nauczycieli za rok 2012 otrzymują:

- **Joanna Ciesielska** z VIII Liceum Ogólnokształcącego im. Króla Kazimierza Wielkiego w Białymstoku za opracowanie i wdrożenie wartościowych innowacji pedagogicznych.
- **Krzysztof Gołębiowski** z I Liceum Ogólnokształcącego w Toruniu i Toruńskiego Ośrodka Doradztwa Metodycznego i Doskonalenia Nauczycieli w Toruniu za rozbudzanie zainteresowań uczniów fizyką i astronomią.
- **Wojciech Olszewski** z Gimnazjum nr 21 i Zespołu Szkół Ogólnokształcących i Technicznych nr 13 w Toruniu za tworzenie programów innowacyjnych rozbudzających zainteresowania uczniów fizyką i astronomią.
- **Grzegorz Żakowicz** z VII i XIII Liceum Ogólnokształcącego we Wrocławiu za promowanie nowatorskich form pracy popularyzujących astronomię w kraju i za granicą.

Nagrodę PTF za popularyzację fizyki i Medal im. Krzysztofa Ernsta otrzymał dr inż. **Adam Buczek** z Politechniki Poznańskiej.

Dyplomy za popularyzację fizyki przyznano **Danielowi Dziobowi**, **Justynie Nowak** i **Urszuli Górskiej** z Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz **dr. hab. Jackowi Szczytko** z Uniwersytetu Warszawskiego.

Gratulujemy wszystkim laureatom. Cieszy nas wyróżnienie naszych studentów, którzy tak wspaniale zorganizowali „Eksperyment łańcuchowy” (zob. *Foton* 119).



Rozmowa z Anną Kaczorowską, laureatką nagrody PTF dla nauczycieli fizyki za 2012

Rozmawia Zofia Gołqb-Meyer, lipiec 2013

1. Co daje/dało Pani największą satysfakcję w pracy nauczycielskiej?

Jest taki moment w czasie lekcji, kiedy widzi się na twarzach uczniów zdziwienie, zaskoczenie, radość poznania – takie wstrzymanie oddechu. Czynnikiem generującym bywają doświadczenia, których staram się wykonywać jak najwięcej. Jednocześnie tak je umieszczam w toku lekcji, aby właśnie ich wynik nie był od razu wiadomy. W doświadczeniach nie sprawdzam praw, raczej je odkrywam. Bardzo bym chciała, żeby to była dla moich uczniów choć namiastka, choć przedsmak „iluminacji” tej, do której sięgnął Pan K. Zanussi tworząc film, a czerpał od św. Augustyna. To byłaby taka satysfakcja codzienna.



Od roku 2005 organizuję Ogólnopolski Konkurs „Poszukiwanie Talentów” i w tym roku udało mi się zorganizować jego siódmą edycję. To jest kolejna satysfakcja móc wyszukiwać utalentowaną młodzież, dawać jej możliwość rywalizowania i czerpania z tego pewności siebie, przekonania o własnej wartości. Widzę to, gdy patrzę na finalistów, których zapraszam do Warszawy na Wydział Fizyki. Przyjeżdżają z małych miejscowości, pięknie rywalizują, zdobywają laury. My im dodajemy do tego najciekawszą fizykę na naszym Wydziale. Wielką przyjemnością jest organizacja i wyjazd z szóstką laureatów do centrów fizyki współczesnej w Europie. W tym roku oglądaliśmy elektrownię jądrową w Szwajcarii.

I trzecia satysfakcja to są wychowankowie, w szczególności ci, w których odnajduje się cząstkę siebie..., ale nie tylko tacy. Wielu ich było w czasie kilkudziesięciu lat pracy. Jest jedna klasa, która spotyka się co roku, w określony dzień od 32 lat – teraz przychodzą z rodzinami. To była klasa samych chłopców, matematyczno-fizyczna, a ja byłam początkującą nauczycielką. Przed maturą każdy z nich dostał chusteczkę do butonierki z wyhaftowanymi przeze mnie inicjałami – w ten sposób chciałam być z nimi w każdym ważnym momencie ich życia, bo przecież mężczyzna w ważnym momencie życia zakłada garnitur.

2. Jak (czy) zmieniła się młodzież w ostatnich 30 latach?

Trzydzieści lat temu liceum ogólnokształcące to było pewne jasno określone środowisko. Środowisko kształcenia i wychowania, w którym młody człowiek był cztery lata. Środowisko, które promieniowało na otoczenie – dzielnicę, miasto, wioskę. W takiej szkole funkcjonowała młodzież, która spędzała czas wypełniony nie tylko nauką. Pobyt w szkole był znaczący dla młodego człowieka. Przychodził dzieciak, a wychodził ze szkoły młody człowiek, który na ogół wiedział, co chce robić w przyszłości. Teraz liceum służy przygotowaniu młodzieży do matury i trwa 2,5 roku. Szkoła traktowana jest jak punkt usługowy. Bardzo chciałabym, żeby powrócił system, w którym liceum jest prawdziwie **ogólnokształcące** i trwa cztery lata.

Młodzież, jak my wszyscy, jest atakowana ogromną ilością informacji w większości niepotrzebnych, głupich, niejasnych, które służą tylko manipulacji. To, co jest potrzebne im (bardziej) nam też (choć mniej), to system wartości twardo przestrzegany. Różnica między „kiedyś” a „dziś” polega na rozmyciu, mówiąc inaczej, wmawianym nam jako dobro, relatywizmie. Myślę, że młodzi ludzie i dorośli też, temu relatywizmowi się poddają.

3. Jak ocenia Pani zadania maturalne z fizyki? Czy zmiany są na lepsze?

Maturę, jako egzamin zewnętrzny, w pełni akceptuję. Poziom egzaminu z fizyki na poziomie podstawowym nie budzi moich zastrzeżeń. Natomiast zadania poziomu rozszerzonego są kontrowersyjne. Porównując ich poziom trudności w poszczególnych latach mogę powiedzieć, że jest niejednakowy. No, ale to ocena subiektywna. Natomiast konstrukcja zadań matury rozszerzonej sprawia, że zupełnie zgubiliśmy umiejętność analizowania i rozwiązywania zadań trudnych i wielowątkowych. Każdy problem rozbity jest na części, a odpowiedź do zadania znajduje się w kolejnym punkcie. Zadania takie zasadniczo odbiegają od tych, które uczniowie spotkają już jako studenci na wyższej uczelni.

Rozpoczynamy naukę w klasach drugich z rozszerzoną fizyką. Uczniowie tych klas z pewnością będą zdawać egzamin maturalny z fizyki rozszerzonej, a do dziś nie wiemy, jak on będzie wyglądał.



KOMUNIKAT

Z biuletynu 24/33 Roku Czochralskiego

Paweł Tomaszewski
INTiBS PAN

Historia alternatywna: Lwów, październik 1957

Porażka NSDAP w wyborach 1933 oraz sojusz polsko-francusko-niemiecki zapewniły Europie w pierwszej połowie XX wieku niespotykane warunki rozwoju. Szczególnym ośrodkiem postępu był Lwów, gdzie w środowisku matematyków zaczął wykształcać się nowy nurt. Wokół Stanisława Ulama i Władysława Orlicza zgromadzili się naukowcy zainteresowani obliczeniami maszynowymi. Niedaleko słynnej kawiarni „Szkołkiej” była „Wiedeńska”, gdzie gromadzili się studenci i młodzi wykładowcy Uniwersytetu Jana Kazimierza i Politechniki Lwowskiej, aby rozmawiać o maszynach liczących. Wśród nich było wielu obcokrajowców, ściąganych do Lwowa tyleż przez polską wolność i tolerancję, co legendarną urodę krzesowianek. Wśród nich znaleźli się Andriej Kołmogorow z Jarosławia oraz János Neumann z Budapesztu.

Owoce ich prac była pierwsza elektromechaniczna maszyna licząca zwana Golem. Nazwę ponoć wymyślił student medycyny nazwiskiem Lem, skądinąd bywalec „Wiedeńskiej”. Golem z pomocą wałków i przekładni potrafił obliczać funkcje trygonometryczne i szeregi potęgowe, górując nad powstałą w tym samym czasie w Dreźnie maszyną Zusego.

Prawdziwy przełom nastąpił w roku 1941, kiedy lwowscy matematycy nawiązali współpracę z Janem Czochralskim. Ów ulubieniec sanacyjnych elit stworzył Instytut Badań Zaawansowanych, oferując hojne stypendia i środki na badania zagranicznym naukowcom. To dzięki nim udało się ściągnąć do Warszawy takie znakomitości, jak: William Shockley, Tommy Flowers i Herman Goldstine. Po połączeniu wysiłków zespołów lwowskich i warszawskich światło dzienne ujrzał Golem II, pierwsza maszyna bez mechanicznych części, bazująca nie tylko na lampach, ale także na półprzewodnikach pochodzących z laboratorium Czochralskiego.

Warto dodać, że hojnym sponsorem było Wojsko Polskie. Do roku 1950 dysponowało kilkoma wersjami Golema wykorzystywanymi do łamania szyfrów oraz prowadzenia gier wojennych. Demonstracja możliwości maszyny przed prezydentami Arciszewskim, von Papenem i Herriotem odbiła się echem w całej Europie.

Tymczasem we Lwowie jak grzyby po deszczu wyrastały przedsiębiorstwa konstruujące zminiaturyzowane wersje Golema, bazujące na technice półprzewodników. Pierwszym milionerem „epoki krzemu” był Bronisław Poznański, wnuk słynnego łódzkiego przemysłowca, Izraela.

Już jutro, 30 października 1957 r., z lwowskiej fabryki Poznańskiego wyjedzie Golemi 1, pierwsza osobista maszyna obliczeniowa, która jednocześnie ma być przenośnym radiem, komunikatorem i kalkulatorem. Ma także grać melodie niczym pianola, ale rolę taśmy przesuwanej na wałkach ponoć przejmie program zapisany w półprzewodnikowej

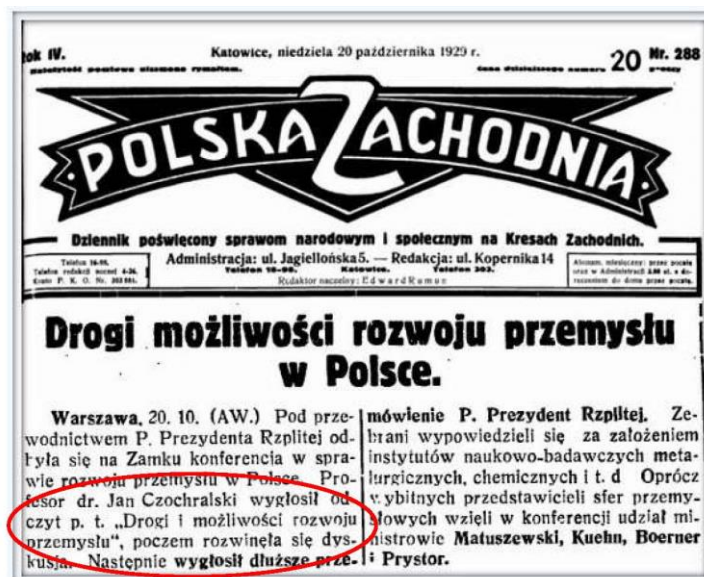
pamięci. Jednocześnie Politechnikę Lwowską inauguruje nowy kierunek studiów: programowanie maszyn obliczeniowych...

Jakub Chabik

(www.computerworld.pl/artykuly/386237/Lwow.pazdziernik.1957.html)

Odkrycia

Pan Roman Tadych znalazł w Bibliotece Uniwersyteckiej we Wrocławiu ciekawą notatkę prasową z 20 października 1929 roku o konferencji na Zamku w Warszawie.



Zapowiedzi

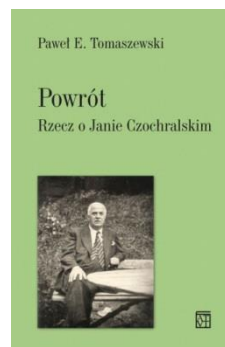
- ♦ 15 listopada 2013 – Politechnika Warszawska (Wydział Fizyki) – interaktywna wystawa „wędrawna” (w 2014 r. powinna odwiedzić 10 miast).



CO CZYTAĆ

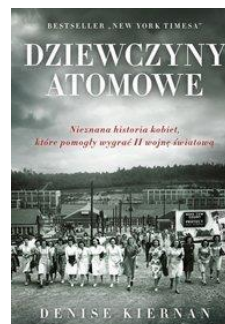
Gorąco polecamy naszym czytelnikom doskonałą książkę o Janie Czochralskim Pawła Tomaszewskiego *Powrót. Rzecz o Janie Czochralskim* (Oficyna Wydawnicza ATUT – Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe www.atut.ig.pl, tam też można zamówić książkę).

Jan Czochralski zasługuje w Polsce nie tylko na pomniki, nazwy ulic i szkół, lecz również na szeroką popularyzację jego życiorysu, który może być arcyciekawym scenariuszem filmu. Nasz wielki wynalazca był geniuszem, a przyszło mu „żyć w ciekawych czasach” wojennych, międzywojennych i komunistycznych. Urodzony w Polsce, wielką karierę zrobił w Niemczech, ożenił się z Niemką, wrócił do Polski w roku 1929 roku, popierany przez polski rząd, „podgryzany” przez zazdrosnych politechnicznych profesorów, wspierający Armię Krajową, za czasów komunistycznych oskarżany o zdradę. Jak pisze w omówieniu książki Michał Leszczyński: „Paweł Tomaszewski pisze pięknie – z podziwu nie mogę wyjść, że fizyk może tak zdania zgrabnie składać. Kto zacznie książkę czytać, odkłada ją po ostatniej stronie”.



Polecamy naszym czytelnikom także książkę Denise Kiernan *Dziewczyny atomowe. Nieznana historia kobiet, które pomogły wygrać II wojnę światową* (wyd. Otwarte, Kraków 2013). Książka dotyczy projektu Manhattan. Projekt Manhattan kojarzy się głównie z Los Alamos i produkcją bomb uranowej i plutonowej. Tymczasem projekt brytyjsko-amerykański i kanadyjski składał się oprócz Los Alamos z innych jednostek.

Kluczowa była produkcja Uranu 238. Było to ogromne wyzwanie inżynieryjno-logistyczne. Na szczęście udało się zgromadzić odpowiednie ilości rudy uranowej, głównie z Konga. Rozwijano równocześnie parę metod separacji uranu. Jedna z nich wymagała zbudowania największej wtedy na świecie hali przemysłowej. W rekordowym czasie zbudowano tajne miasto Oak Ridge w stanie Tennessee. Podczas wojny nazywano zakłady przemysłowe CEW (*Clinton Engineer Works*). W niecałe trzy lata 3-tysięczne miasto zamieniło się w duże 75-tysięczne. Miasto z komunikacją miejską, szpitalem, boiskami sportowymi i szkołami. Przedsięwzięcie można porównać do budowy Nowej Huty, z tą różnicą, że w przypadku Oak Ridge miasto i produkcja w nim były okryte absolutną tajemnicą. Historię Projektu poznajemy przez opis losów bardzo młodych dziewcząt zwerbowanych do pracy, które aż do zrzucenia bomb na Hiroszimę nie wiedziały, nad czym pracują.





Nowe wyniki eksperymentów w CERN

Małgorzata Nowina-Konopka

IFJ PAN Kraków

I. Eksperyment AMS mierzy nadwyżkę antymaterii w przestrzeni

Promieniowanie kosmiczne to naładowane, wysokoenergetyczne cząstki poruszające się w przestrzeni kosmicznej. Eksperyment AMS, umieszczony na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, ma na celu badanie promieniowania kosmicznego, zanim wejdzie ono w oddziaływanie z atmosferą ziemską.

Eksperyment AMS – Alpha Magnetic Spectrometer – jest prowadzony przez międzynarodowy zespół pod kierunkiem prof. Samuela Tinga (laureata Nagrody Nobla w 1976 roku). Zespół współpracowników liczy około 600 osób z Chin, Danii, Finlandii, Francji, Niemiec, Włoch, Korei, Meksyku, Holandii, Portugalii, Hiszpanii, Szwajcarii, Tajwanu i Stanów Zjednoczonych. Detektor AMS został zmontowany w CERN, przetestowany w Holandii, a w maju 2011 roku na pokładzie Kosmicznego Wahadłowca Endeavour z NASA wysłany do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Tam rejestruje ślady padających cząstek naładowanych (protonów, elektronów) i cząstek antymaterii (np. pozytonów), tworząc z niezwykłą precyzją mapę strumienia promieni kosmicznych.

Wyniki wykazują nadwyżkę pozytonów w strumieniu promieniowania kosmicznego. Są one oparte na około 25 miliardach zdarzeń zarejestrowanych w czasie półtora roku. Zaobserwowano 400 000 pozytonów o energiach pomiędzy 0,5 a 350 GeV. To największa ilość antymaterii, jaką kiedykolwiek zarejestrowano w kosmosie. Widać wyraźny wzrost udziału pozytonów o energii pomiędzy 10 a 250 GeV. Dane nie wskazują, żeby jakikolwiek kierunek, z którego pozytony przylatują, był wyróżniony. Nie widać też żadnej zmiany w czasie. Te wyniki potwierdzają hipotezę, że pozytony kosmiczne pochodzą z anihilacji ciemnej materii w kosmosie, jednak nie wystarczają do wykluczenia innych hipotez.

Nadwyżka pozytonów w strumieniu promieni kosmicznych została po raz pierwszy zaobserwowana około 20 lat temu, jednak ich pochodzenie nadal pozostaje niewyjaśnione. Według przewidywań tzw. teorii supersymetrycznej pozytony powstają podczas zderzenia i anihilacji dwóch cząstek ciemnej materii. Zakładając izotropowy rozkład ciemnej materii w kosmosie, teoria ta tłumaczyłaby obserwację dokonaną przez AMS. Niemniej dotychczasowa obserwacja nie może wykluczyć innego wytłumaczenia: że pozytony pochodzą z pulsarów rozrzuconych wokół płaszczyzny galaktyki. Teorie supersymetryczne dodatkowo przewidują istnienie tzw. górnego obcięcia widma pozytonów związanego z zakresem masy cząstek ciemnej materii. Takie obcięcie nie zostało jak dotąd zaobserwowane. W ciągu nadchodzących lat eksperyment AMS planuje popra-

wić dokładność swoich pomiarów i wyjaśnić zachowanie się udziału pozytonów w zakresie energii powyżej 250 GeV.

Ciemna materia stanowi jedną z najważniejszych zagadek współczesnej fizyki. Odpowiada za ponad czwartą część masy Wszechświata i może być obserwowana pośrednio dzięki oddziaływaniu z widzialną materią, ale jak dotąd nie została bezpośrednio wykryta. Poszukiwania ciemnej materii są prowadzone zarówno w kosmosie, jak w przypadku eksperymentu AMS, jak i na Ziemi na Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) oraz innych eksperymentach mieszczących się głęboko w podziemnych laboratoriach. – „Wynik ogłoszony przez AMS jest wspaniałym przykładem uzupełniania się eksperymentów na Ziemi i w kosmosie – powiedział dyrektor naczelny CERN Rolf Heuer – myślę, że dzięki takiej współpracy możemy się spodziewać rozwiązania zagadki ciemnej materii w ciągu następnych kilku lat”.

II. Eksperyment LHCb zauważa nową różnicę pomiędzy materią i antymaterią

Uważa się, że materia i antymateria istniały w równych ilościach na początku Wszechświata. Dzisiaj wydaje się, że Wszechświat jest zbudowany głównie z materii. Przez badanie subtelnych różnic pomiędzy zachowaniem cząstek i antycząstek eksperymenty w LHC poszukują wyjaśnienia tej dominacji materii nad antymaterią.

Pracujący w ramach projektu LHCb w CERN przekazali do publikacji w „Physical Review Letters” komunikat o pierwszej obserwacji asymetrii pomiędzy materią i antymaterią w rozpadzie cząstki znanej pod nazwą B_s^0 . Jest to czwarta subatomowa cząstka znana z takiego zachowania.

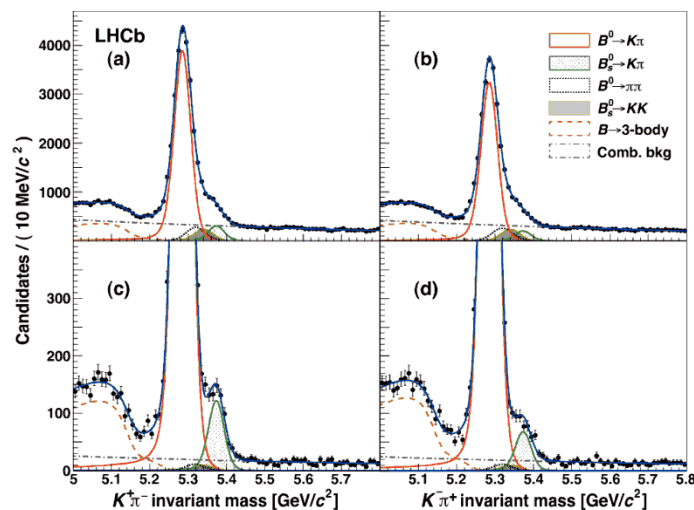
Ostatnio eksperyment LHCb zaobserwował przewagę materii nad antymaterią, znaną jako łamanie symetrii CP w rozpadzie neutralnych cząstek B_s^0 . Wyniki są oparte na analizie danych zebranych przez eksperyment w roku 2011. „Odkrycie asymetrycznego zachowania cząstki B_s^0 , z dokładnością większą niż 5 sigma – to wynik, który był możliwy jedynie dzięki dużej liczbie danych dostarczonych przez LHC i zdolnościom identyfikacji cząstek detektora LHCb – powiedziała Pierluigi Campana koordynatorka naukowców współpracujących w ramach eksperymentu LHCb – żadne inne eksperymenty nie miały możliwości zarejestrowania takiej liczby rozpadów B_s^0 ”.

W fizyce mówimy, że przekształcenie jest symetryczne, jeśli nie można rozróżnić czy obserwujemy układ przed tym przekształceniem, czy po jego dokonaniu. Takim przekształceniem jest np. zmiana ładunku C cząstki na przeciwny, albo odbicie lustrzane P w przestrzeni lub odwrócenie kierunku czasu T . Przez długie lata myślano, że wszystkie symetrie C , P oraz T są zachowane w przyrodzie. I rzeczywiście, oddziaływania elektromagnetyczne oraz silne są symetryczne względem tych przekształceń. Łamanie symetrii CP zaobserwowano pierwszy raz w USA w Brookhaven Laboratory w 1960 roku w rozpadach neu-

tralnych cząstek zwanych kaonami. Około 40 lat później w USA i Japonii zauważono podobne zachowanie cząstki o nazwie mezon B^0 . Ostatnio eksperymenty w tzw. B fabrykach i eksperyment LHCb w CERN wykazały, że symetria CP jest łamana również w rozpadzie mezonu B^+ .

Wszystkie zjawiska łamania symetrii CP mogą być opisane przez Model Standardowy, chociaż niektóre rozbieżności wymagają dokładniejszych badań. „Wiemy również, że całkowite efekty wywołane przez łamanie CP w Modelu Standardowym są za małe, aby wytłumaczyć dominację materii nad antymaterią we Wszechświecie – powiedziała Pierluigi Campana – jednakże przez badanie tych efektów szukamy kawałków brakujących puzzli, które stanowią test dla teorii i są istotną próbą dla wyjaśnienia czy istnieje fizyka poza Modelem Standardowym”.

Wyniki LHCb przedstawiono w postaci czterech wykresów (rys. 1). Są wydzielone różne składowe, jak opisuje legenda w górnym prawym rogu rysunku. Różna kombinacja ładunku K i π pokazuje czy rozpadająca się cząstka B^0 lub B_s^0 jest cząstką materii, czy antymaterii. Z dwóch górnych wykresów widać, że rozpady mezonów B^0 są różne, jak już ustalono w poprzednich eksperymentach. Powiększenie na dwóch dolnych wykresach pokazuje, że różnica jest też widoczna wokół masy mezonu B_s^0 , jak wskazano przez dwa zielone rozkłady Gaussa. Matematycznie ta różnica jest opisana przez asymetrię $A_{CP}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+) = +0,27 \pm 0,04 \pm 0,01$, która jest różna od zera z dokładnością przewyższającą pięć odchyłeń standardowych. Ten wynik oznacza pierwszą obserwację łamania symetrii CP dla mezonu B_s^0 . Odpowiednia asymetria dla rozpadu mezonu B^0 przedstawionego na dwóch górnych rysunkach wynosi $A_{CP}(B^0 \rightarrow K^+ \pi^-) = -0,080 \pm 0,007 \pm 0,003$ i jest obecnie najdokładniejszym pomiarem tej wielkości.



Rys. 1. Wyniki eksperymentu LHCb

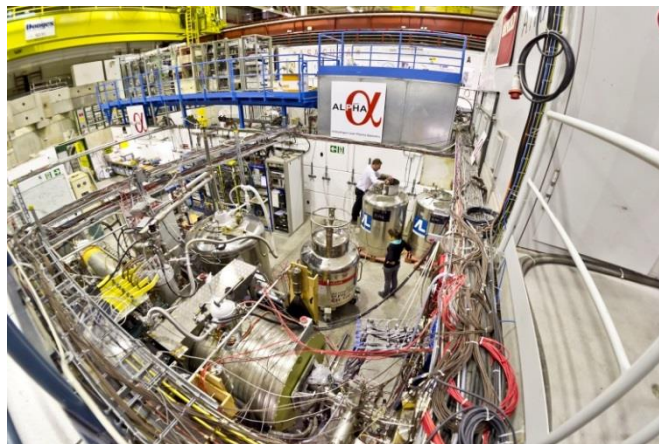
W zespole współpracującym w eksperymencie LHCb uczestniczy około 620 fizyków (rys. 2), reprezentujących 63 różne uniwersytety i laboratoria (włącznie z pięcioma instytucjami stowarzyszonymi) z 17 krajów, a także 250 techników i inżynierów, którzy utrzymują aparaturę w sprawności eksperymentalnej. Pracują tam też zespoły z Polski: z Krakowa z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN oraz Akademii Górniczo-Hutniczej i z Warszawy z Narodowego Centrum Badań Jądrowych.



Rys. 2. Zespół współpracujący w eksperymencie LHCb

III. Eksperyment ALPHA przedstawia nowe badania efektu grawitacji na antimaterii

Geneva, 30 kwietnia 2013 r. Naukowcy pracujący w eksperymencie ALPHA w CERN opublikowali w „Nature Communications” wyniki opisujące pierwszą bezpośrednią analizę wpływu grawitacji na antimaterię. ALPHA był pierwszym eksperymentem, który wychwycił atomy antywodoru – neutralne atomy antimaterii i za pomocą silnego pola magnetycznego utrzymał je w miejscu przez 1000 sekund. Głównym celem obecnego eksperymentu nie było zbadanie grawitacji, lecz analiza zebranych wcześniej danych, które mogą być istotne dla efektów grawitacyjnych (rys. 3).



Rys. 3. Aparatura eksperymentu ALPHA

„Przyrząd ALPHA może zatrzymywać atomy antywodoru, które następnie zamierzamy uwolnić” – powiedziała Jeffrey Hangst z Uniwersytetu w Aarhus, koordynatorka eksperymentu ALPHA – użyliśmy naszego detektora, czułego na lokalną anihilację, aby zbadać, czy możliwe jest zaobserwowanie wpływu grawitacji na uwalniane atomy” (rys. 4).

Badania teoretyczne przewidują, że atomy wodoru i antywodoru mają taką samą masę, więc powinny podlegać grawitacji w identyczny sposób. Na uwolniony atom działa siła skierowana w dół bez względu na to, czy jest on zbudowany z materii czy antimaterii. Uczni z eksperymentu ALPHA powtórnie przeanalizowali, jak się poruszają uwolnione atomy antywodoru, co im pozwoliło wstępnie oszacować efekty grawitacyjne.

W ciągu roku 2014 zostanie wznowiony eksperyment, jako ALPHA-2, z odnowionym i ulepszonym pułapkowaniem antimaterii. Program antimaterii w CERN się rozwija. Powstają dwa nowe eksperymenty AEGIS i GBAR skupione na pomiarze wpływu grawitacji na antywodór.



Rys. 4. Elektrody (złote) do pułapkowania ALPHA wprowadzone do komory próżniowej układu kriostatu. Jest to pułapka używana do połączenia pozytonów i antyprotonów w celu utworzenia antywodoru

ZAPROSZENIE



Mikołaja Kopernika Harmonia Sfer to tytuł **krakowskich obchodów 540 rocznicy urodzin i 470 rocznicy śmierci Mikołaja Kopernika**, przedsięwzięcia organizowanego przez Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, we współpracy z Biblioteką Jagiellońską, Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Maius i Uniwersytetem Papieskim Jana Pawła II.

Uroczyste otwarcie obchodów odbędzie się w Bibliotece Jagiellońskiej **30 października 2013 roku**. W ramach wydarzenia organizowana jest sesja naukowa, którą rozpocznie dyrektor Biblioteki Jagiellońskiej, prof. Zdzisław Pietrzyk, a zakończy książd prof. Michał Heller wykładem *Człowiek w świecie Kopernika*. Zapraszamy również na wystawy przygotowane przez Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego, Obserwatorium Astronomiczne UJ oraz Bibliotekę Jagiellońską, a także na spacer z astronomem po Krakowie – *Śladami Kopernika*. Zwieńczeniem obchodów i najbardziej spektakularną ich częścią będzie wieczorny koncert w Bazylice Franciszkanów św. Franciszka z Asyżu w Krakowie, podczas którego wykonane zostanie **Oratorium Braniewskie Mikołaj Kopernik**.

Oratorium zostało skomponowane przez dyrygenta i kompozytora **Piotra Palkę**, do słów siostry Miriam Brzozowskiej OCD. Składa się ono z trzech części, nawiązujących do Pisma Świętego. Podczas oratorium odczytywane są też wybrane teksty z dzieła Mikołaja Kopernika *O obrotach sfer niebieskich*. Premiera tego oratorium odbyła się w maju 2010 roku w Braniewie, z okazji powtórnego pochówku wielkiego uczonego. W krakowskim wykonaniu Oratorium wystąpią: **Elżbieta Towarnicka** (sopran), **Marcin Jajkiewicz** (baryton), **Piotr Piecha** (aktor), orkiestra symfoniczna **Dell'Arte** oraz chór **Voce Angeli**, któremu towarzyszyć będą inne krakowskie chóry.

Zapraszamy na stronę internetową wydarzenia:

www.mikolaj.kopernik.uj.edu.pl

Eksperyment łańcuchowy
Kraków, park im. H. Jordana, 1 czerwca 2013

