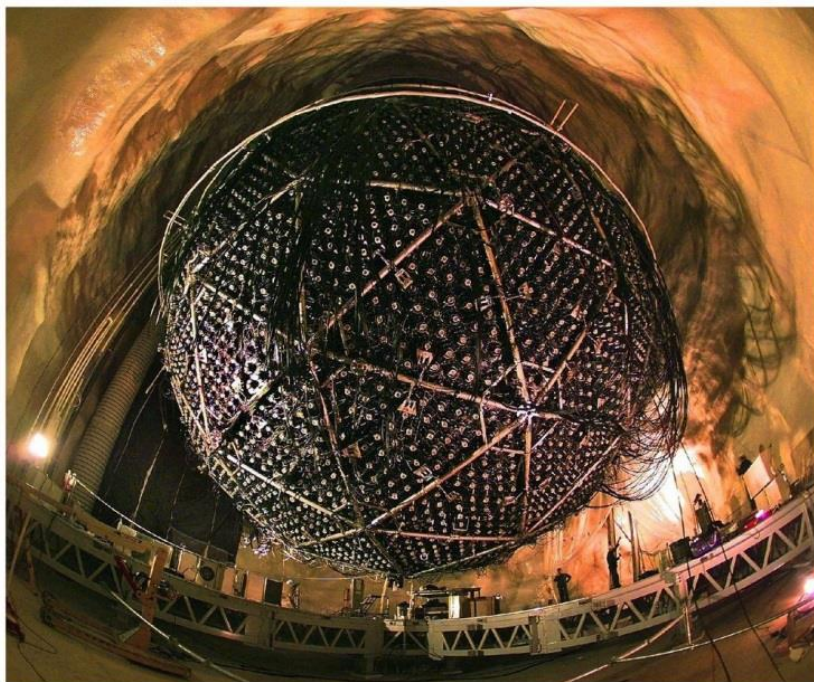


Foton

131
Zima
2015

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI  UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



imgur.com

Neutrino mają masę
Komety - kosmiczne koty, cd.
Jak bada się drewniane zabytki
Do czego przydaje się metoda Monte Carlo

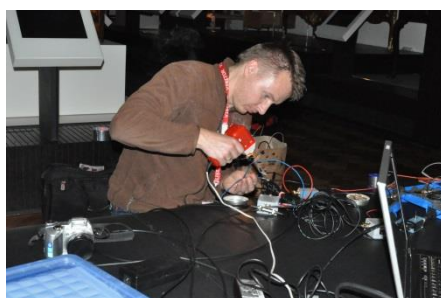
Czym zajmują się młodzi fizycy – różne oblicza fizyki



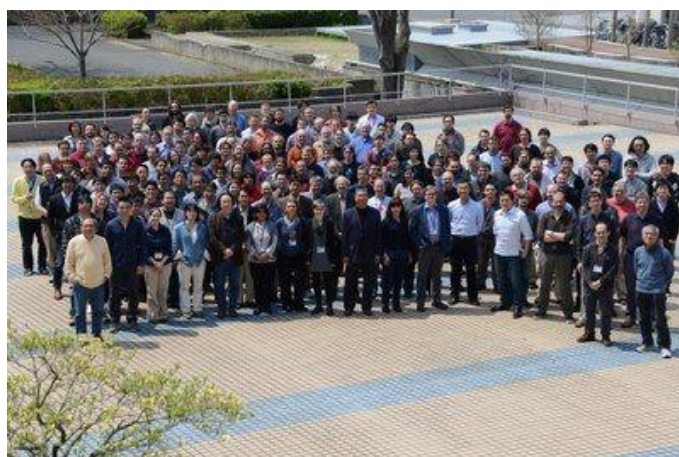
Joanna Zalipska – fizyka neutrin,
praca w wielkim zespole



Mikołaj Oettingen – metody
Monte Carlo do modelowa-
nia zjawisk fizycznych,
np. w reaktorach jądrowych



Marcin Strojecki – metody emisji
akustycznej do badania dzieł sztuki



Mega zespół Super-Kamiokande



Fizyka w szkole i planowana reforma

Nowy rząd planuje radykalną reformę szkolnictwa. *De facto* powrót do systemu, który latami trwał w Polsce powojennej. Było to początkowo 7 + 4, a następnie 8 + 4. Dużo dzieci rozpoczynało naukę w wieku 6 lat. Tak było w mojej klasie. Tak też było w moim roczniku studenckim. Rozpoczynając studia mieliśmy często po siedemnaście lat. Fizyki wtedy uczono w szkole bardzo porządnie. Nauka rozpoczynała się w piątej klasie od dwóch godzin w tygodniu, by w szóstej i siódmej były to już 3 godziny tygodniowo. Po wprowadzeniu ośmiolatki, naukę fizyki rozpoczynano w szóstej klasie. Czy powrót do starego systemu przywróci fizyce jej ważne miejsce? Niestety nie! Czy reforma Handkego związana ze zmianą ustroju Polski była w pełni udana? Niestety, też nie. Najszczytniejsze i słuszne ideały, jeśli nie biorą pod uwagę realiów, nie sprawdzają się. Pospiesznie i źle przygotowana reforma musiała zawieść na wielu frontach. Jej negatywne rezultaty były widoczne, gdy pierwsze roczniki gimnazjalistów skończyły szkoły. Teraz, po latach, gdy usunięto wiele negatywnych skutków tej reformy, gdy nauczyciele odnaleźli się w nowych realiach, pozytywne zmiany zaczynają być widoczne. Wiadomo, co trzeba poprawiać, nad czym pracować, na co wydawać pieniądze budżetowe. Kolejna radykalna reforma zburzy wypracowany porządek. Reformy nie robi się na kolanie, ani w rok, ani w dwa lata, zwłaszcza w sytuacji, gdy z rozmaitych powodów, choćby zmian w sposobach komunikowania się ludzi, niezbędne są w szkolnictwie zmiany, ale niekoniecznie administracyjne. Nowa organizacja szkoły ani nie sprawi, że obecni gimnazjaliści wygrzeczniej, ani nie przywróci fizyce nadanego jej – jeszcze przez komunistów – ważnego miejsca. Obyśmy nie musieli uczyć na zgliszczach obecnej szkoły.

W tym zeszycie *Fotonu* polecamy artykuł o kometach oraz o najnowszych badaniach neutrin. Artykuł uzupełnia wywiad z polską fizyczką, biorącą udział w tych pracach. Oddaliśmy łamy *Fotonu* młodym naukowcom, którzy, prezentując swoje badania naukowe pokazują inne, niż te najczęściej omawiane w szkole, oblicza fizyki. Zapraszamy też do lektury naszych artykułów poświęconych nauczaniu.

Redakcja życzy Wesółych Świąt i Szczęśliwego Nowego Roku 2016



Z.G-M



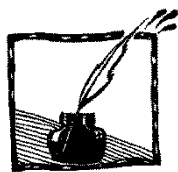
Contents

Is the revolutionary school reform needed? <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	1
Comets – Space Cats, part II <i>Piotr Gronkowski, Marcin Wesolowski</i>	4
Nobel Prize for neutrinos and beyond <i>Joanna Zalipska</i>	15
Interview. Joanna Zalipska on work in neutrino experiments in Japan <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	24
Investigation of micro damage processes development in historical materials using acoustic emission (AE) <i>Marcin Strojecki</i>	27
What playing the Solitaire may lead to? <i>Mikołaj Oettingen</i>	33
On a few anachronisms in teaching physics <i>Marcin Braun</i>	38
Comment on article „On a few anachronisms in teaching physics” <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	42
Determination of the refractive index of water by examination of water waveguide <i>Tadeusz Molenda</i>	44
Remarks to notation of physical quantities and some errors in its use <i>Tadeusz Molenda</i>	50
Physical experiments in creative therapy of children <i>Iwona Iwaszkiewicz-Kostka</i>	57
What to read. <i>Philosophiae naturalis principia mathematica</i> by Issac Newton <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	61
„Physics and Photography” 14 th Competition	63



Spis treści

Fizyka w szkole i planowana reforma <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Komety – kosmiczne koty, cz. II <i>Piotr Gronkowski, Marcin Wesółowski</i>	4
Nagroda Nobla dla neutrin i co dalej <i>Joanna Zalipska</i>	15
Wywiad. Joanna Zalipska o swojej pracy w neutrinowych eksperymentach w Japonii <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	24
Szafa gra <i>Marcin Strojecki</i>	27
Do czego może doprowadzić gra w pasjansa, czyli o metodach Monte Carlo w fizyce reaktorów jądrowych <i>Mikołaj Oettingen</i>	33
O kilku anachronizmach w nauczaniu fizyki <i>Marcin Braun</i>	38
Komentarz do artykułu „O kilku anachronizmach w nauczaniu fizyki” <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	42
Wyznaczanie współczynnika załamania wody z badania światłowodu wodnego <i>Tadeusz Molenda</i>	44
Uwagi o zapisie wielkości fizycznych i pewnych nieprawidłowościach w tym zakresie <i>Tadeusz Molenda</i>	50
Doświadczenia fizyczne w twórczej terapii dzieci <i>Iwona Iwaszkiewicz-Kostka</i>	57
Co czytać. <i>Matematyczne zasady filozofii naturalnej</i> Isaaca Newtona <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	61
XIV Ogólnopolski Konkurs fizyczno-fotograficzny „Zjawiska optyczne wokół nas”	63



Komety – kosmiczne koty, cz. II

Piotr Gronkowski, Marcin Wesółowski

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy,

Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy

Techniczno-Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego

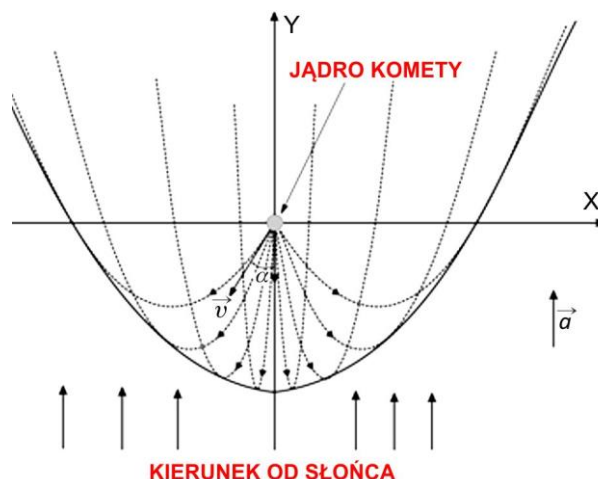
W pierwszej części artykułu zostały przedstawione podstawowe informacje dotyczące pochodzenia komet i struktury jądra komety. Zostały także zaprezentowane podstawowe równania dotyczące fizyki komet, które prowadzą do numerycznego modelowania aktywności sublimacyjnej tych ciał niebieskich.

1. Głowa komety

W poprzedniej części pokazano, że sublimujące gazy kometarne mogą unosić z powierzchni jądra lodowo-pyłowe ziarna, cząstki materii kometarnej. Dzieje się tak wtedy, gdy przy powierzchni jądra komety siła parcia sublimujących gazów kometarnych, działająca na unoszone ziarna kometarne, przewyższa działającą na nie siłę grawitacji pochodzącą od jądra komety. Rozwiązanie przedstawionego poprzednio równania ruchu takich cząstek w pobliżu jądra komety prowadzi do wniosku, że stosunkowo bardzo szybko uzyskują one swoje maksymalne prędkości graniczne rzędu 100 m/s. Dlatego dla uproszczenia dalszych rozważań założymy, że są one emitowane z jądra komety z prędkościami tego rzędu. Wykorzystamy ten fakt w prostym matematycznie opisie kształtu głowy komety. Należy pamiętać o tym, że w ogólnym przypadku w pewnym oddaleniu od jądra komety na uniesione z jego powierzchni ziarno kometarne działają następujące siły: grawitacja komety, grawitacja słoneczna, parcie gazów kometarnych oraz siła związana z ciśnieniem promieniowania słonecznego. Jeśli cząstka dostatecznie daleko oddaliła się od jądra komety, to okazuje się, że dominujące jest działanie ciśnienia promieniowania słonecznego. Wygląd głów kometarnych może być różny, jednak wspólną cechą dla większości komet jest to, że generalnie przyjmują one kształt jasnych chmur, których obwiednie mają kształt zbliżony do parabol. Ten kształt postaramy się szybko i prosto uzasadnić w oparciu o szkolną fizykę. Autorzy mają nadzieję, że proste matematyczne rozumowanie oparte jednak o naukowe podstawy, będzie interesujące dla tych uczniów szkół ponadgimnazjalnych, którzy interesują się astronomią. Przedstawione poniżej rozumowanie z przyczyn „technicznych” będzie jednak znacznym uproszczeniem opisu dynamiki ziaren – cząstek kometarnych w głowie komety.

Założmy, że kometa zbliżając się do Słońca, po orbicie będącej jedną z krzywych stożkowych, jest na tyle blisko niego, że zdążyła już wytworzyć głowę spowijającą jej jądro. Opiszemy geometrię głowy komety w układzie

współrzędnych XY takim, że w jego początku znajduje się jądro komety, a jej orbita zawiera się w płaszczyźnie układu (rys. 1).



Rys. 1. Układ współrzędnych XY, w którym rozważamy ruch cząstek emitowanych z jądra komety. Przyjęto oznaczenia: \vec{v} – prędkość początkowa cząstki wyrzuconej z komety, α – kąt, jaki wektor prędkości początkowej cząstki tworzy z kierunkiem ku Słońcu (z ujemną półosią OY), \vec{a} – przyspieszenie wyrzuconej cząstki pochodzące od ciśnienia promieniowania słonecznego

Załóżmy, że ziarno lodowo-pyłowe zostało wyrzucone z prędkością v z jądra komety pod kątem α do kierunku ujemnej półosi OY. Zgodnie z naszym przybliżeniem odpowiednio daleko od komety poddane jest ono tylko działaniu siły parcia promieniowania słonecznego. Siła ta nadaje jej przyspieszenie o wartości a w ujemnym kierunku osi OY. Równania jej ruchu w przyjętym układzie odniesienia są następujące:

$$x = -vt \sin \alpha, \quad (1)$$

$$y = -vt \cos \alpha + \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

W powyższych równaniach t oznacza czas liczony od momentu emisji cząstki kometarnej z powierzchni jądra. Eliminując czas t z równań (1) i (2) uzyskamy następujące równanie:

$$y = -x \operatorname{ctg} \alpha + \frac{ax^2}{2v^2 \sin^2 \alpha}. \quad (3)$$

Torem ruchu emitowanych z jądra komety cząstek są zatem łuki parabol. Na podstawie otrzymanego równania, przy założeniu, że ziarna są emitowane z jądra komety z tą samą ustaloną prędkością v , lecz pod różnymi kątami α ,

wnioskujemy, że ich tory będą tworzyły rodzinę parabol, której parametrem jest wartość kąta α . Kształt głowy komety zostanie wyznaczony przez obwiednię tej rodziny. W matematyce wyższej istnieją pewne reguły oparte o rachunek różniczkowy, które pozwalają określać obwiednię zadanej rodziny krzywych. W naszym przypadku możemy jednak wykorzystać inną „szkolną” metodę. Z równań (1) i (2) możemy wyeliminować kąt α w oparciu o „jedynkę trygonometryczną” uzyskując następujące równanie:

$$\frac{1}{4}a^2t^4 - (ay + v^2)t^2 + x^2 + y^2 = 0. \quad (4)$$

Otrzymane równanie czwartego stopnia ze względu na czas t jest równaniem, które możemy doprowadzić do następującego równania kwadratowego przez podstawienie $t^2 = z$

$$\frac{1}{4}a^2z^2 - (ay + v^2)z + x^2 + y^2 = 0. \quad (5)$$

Wyróżnik tego równania jest równy:

$$\Delta = (ay + v^2)^2 - a^2(x^2 + y^2). \quad (6)$$

Równanie (6) ma rozwiązania rzeczywiste ze względu na czas t tylko wtedy, gdy jego wyróżnik jest nieujemny: $\Delta \geq 0$. Dlatego równanie obwiedni rodziny parabol wynikające z warunku $\Delta = 0$, można zapisać w postaci:

$$(ay + v^2)^2 - a^2(x^2 + y^2) = 0. \quad (7)$$

lub

$$y = \frac{ax^2}{2v^2} - \frac{v^2}{2a}. \quad (8)$$

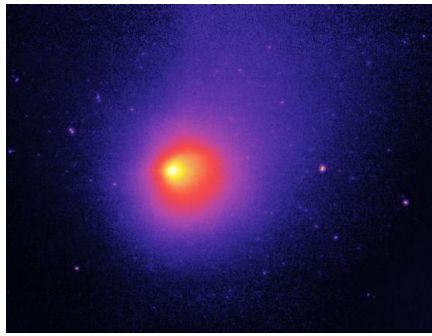
W ten sposób uzyskaliśmy równanie obwiedni torów cząstek wyrzuconych z jądra komety. Na podstawie tego równania wnioskujemy, że jest to parabola zwrócona gałęziami od Słońca, a więc w kierunku dodatnim osi OY. Na podstawie powyższego równania możemy określić promień głowy komety R_1 mierzony w kierunku ku Słońcu, który znajdziemy z zależności $R_1 = |y(0)| = v^2/2a$. Promień głowy komety R_2 liczony w kierunku prostopadłym do Słońca obliczymy podstawiając w równaniu (8) $y = 0$, wtedy $R_2 = x(0) = v^2/a$. Zatem promień głowy w kierunku osi OX jest dwukrotnie większy niż w kierunku osi OY, co jakościowo dość dobrze zgadza się z obserwacjami. Przedstawiony tu uproszczony model emisji ziaren kometarnych z jądra przypomina wypływ strumieni wody z fontanny i dlatego zwany jest niekiedy modelem fontannowym. Warto zauważyć, że równania (1)–(3) są analogiczne do znanych ze szkolnej fizyki równań rzutu ukośnego. Dzieje się tak, gdyż ruch cząsteczek wytryskujących z fontanny w różnych kierunkach jest przykładem rzutu ukośnego w jednorodnym ziem-

skim polu grawitacyjnym. W przypadku emisji cząstek z jądra komety analogiem przyspieszenia ziemskiego g jest przyspieszenie a pochodzące od siły związanej z ciśnieniem światła słonecznego. Ostateczny kształt „pióropusza wodnego” – fontanny wodnej jest zdeterminowany przez obwiednię parabolicznych strumieni wody. Tak więc, komety są niejako „gwiazdnymi fontannami”, co zgodne jest z naszymi estetycznymi impresjami towarzyszącymi nam w czasie kontemplacji widoku tych ciał kosmicznych na sferze niebieskiej.

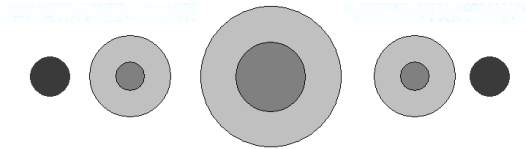
2. Wybuchy blasku komet

Bardzo interesującym zjawiskiem związanym z przejawami aktywności komet są wybuchy ich blasku. Pod pojęciem wybuchu blasku komety nie należy rozumieć eksplozji takiej, jak wybuch granatu, bomby czy miny, lecz tylko nagły wzrost blasku o więcej niż jedną wielkość gwiazdową, najczęściej rzędu 2^m – 5^m . Czasami skok blasku może być wręcz dramatyczny, nawet o 15^m , jak miało to miejsce w 2007 roku w przypadku wybuchu komety 17P/Holmes. Po raz pierwszy to zjawisko zainteresowało astronomów w latach dwudziestych XX wieku, gdy w 1927 roku dwóch astronomów niemieckich Arnold Schwassmann i Arno Arthur Wachmann, pracujących w obserwatorium astronomicznym w Hamburgu, odkryło kometa nazwaną później kometa 29P/Schwassmann-Wachmann 1. Najprawdopodobniej miało to miejsce w czasie maksimum jednego z jej licznych wybuchów. Współcześnie często odnotowuje się wybuchy komet zarówno jednopojawieniowych jak i okresowych, jednak kometa 29P/Schwassmann-Wachmann 1 (dalej w tekście nazywana 29P/SW1) jest najlepiej znaną przedstawicielką tej klasy obiektów kosmicznych. Obiega ona Słońce po prawie kołowej orbicie eliptycznej (o mimośrodku $e = 0,045$), położonej pomiędzy orbitami Jowisza i Saturna. Odległość komety od Słońca zmienia się od 5,5 AU do 7,5 AU w czasie jej orbitalnego okresu wynoszącego około 16 lat. W swojej spokojnej „niewybuchowej fazie” kometa jest obiektem kosmicznym o jasności 18^m – 19^m , o wyglądzie rozmytej tarczy, w której czasami można dostrzec słabo zauważalne centralne zgęszczenie. Wybuch jej jasności następuje nagle i w ciągu kilku godzin lub dni powstaje w jej głowie gwiazdopodobne jasne jądro, które rozszerza się z prędkością rzędu 100–400 m/s formując rodzaj tarczy planetarnej. Następnie przekształca się ono w kometarne halo (otoczkę) o zmniejszającej się na zewnątrz jasności powierzchniowej. W czasie maksimum wybuchu jasność komety jest o kilka wielkości gwiazdowych większa niż w fazie „nieaktywnej” i wynosi przeciętnie 13^m – 14^m . Warto przypomnieć w tym miejscu, że jasność obiektów astronomicznych mierzymy w tzw. wielkościach gwiazdowych, przy czym im wielkość gwiazdowa jest bardziej przesunięta w kierunku wielkości ujemnych, tym ciało kosmiczne jest jaśniejsze. W czasie wybuchu jasności kometa odrzuca masę rzędu 10^8 kg, której energia w postaci energii kinetycznej rozszerzającej się otoczki jest rzędu 10^{12} J. Widmo komety w jej fazie aktywnej „wybuchowej” jest odbitym przez cząstki pyłów i ziarna lodowe widmem sło-

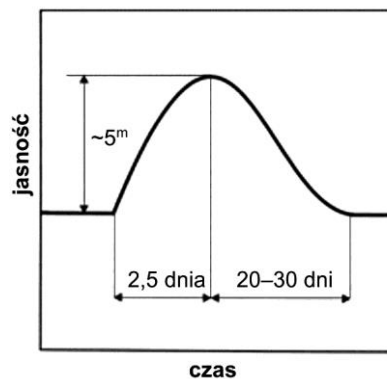
necznym, czasami widoczna jest także emisja CO^+ . Po pewnym czasie, rzędu 5–25 dni, wygląd komety powraca do pierwotnego stanu. Nie odkryto zmian orbity komety związanych z jej wybuchem. Generalnie wybuchy innych komet mają podobny przebieg, jak komety 29P/SW1. Co ciekawe, częstotliwość ich występowania nie wykazuje klarownej zależności od odległości komety od Słońca. Większość ich ma miejsce w odległościach heliocentrycznych mniejszych niż 4 AU; ale zdarzają się wyjątki, takie jak właśnie kometa 29P/SW1, kometa 1P/Halley czy kometa C/1961 R1 Humason.



Fot. 1. Zdjęcie komety 29/P Schwassmann-Wachmann 1 (foto NASA)



Rys. 2. Schemat zmian wyglądu komety w czasie wybuchu



Rys. 3. Zmiany jasności komety w czasie wybuchu



Fot. 2. Kometa 1P/Halley podczas ostatniego zbliżenia do Słońca w 1986 roku (foto NASA)

Aby wyjaśnić przyczynę zjawiska rozbłysku, a w szczególności źródło jego energii, zaproponowano szereg hipotez. Można je podzielić na dwie kategorie:

- a) hipotezy oparte na zewnętrznych źródłach energii inicjującej wybuch,
- b) hipotezy oparte na wewnętrznych źródłach tej energii.

Do pierwszej grupy potencjalnych przyczyn były proponowane takie zjawiska, jak zderzenia jąder komet z innymi małymi ciałami krążącymi w Układzie Słonecznym (asteroidy czy meteoroidy), wpływ na komety strumieni silnego wiatru słonecznego lub ultrafioletowego promieniowania Słońca. Do drugiej grupy mogą należeć wybuchowe reakcje chemiczne, zachodzące w jądrze komety, powodujące destrukcję części powierzchni jądra komety, gdy ciśnienie par substancji lotnych, uwieczonych w jego obszarach podpowierzchniowych, przewyższy wytrzymałość powierzchniowych warstw jądra komety lub transformację kometarnego wodnego lodu amorficznego do postaci krystalicznej. Dokładna analiza proponowanych hipotez należących do grupy a) pokazuje, że proponowane mechanizmy albo są bardzo mało prawdopodobne, albo nie mogą wyjaśnić szeregu charakterystyk rozważanego zjawiska. I tak hipoteza zderzeniowa okazuje się niesłychanie mało wiarygodna. Również fakt, że nie obserwuje się lokalnego maksimum częstości występowania wybuchów jasności komet w okolicach pasa asteroidów, gdzie prawdopodobieństwo ich zderzeń z drobnymi ciałami krążącymi w Układzie Słonecznym jest największe, generalnie stawia ją pod znakiem zapytania. Oczywiście do kolizji komet z ciałami Układu Słonecznego na pewno może dochodzić – świadczy o tym zderzenie komety D/Shoemaker-Levy 9 z Jowiszem w 1994 roku, ale nie jest to główny mechanizm napędzający aktywność wybuchową komet. Podobnie 11-letni cykl aktywności Słonecznej nie wykazuje klarownej korelacji z częstością występowania wybuchów jasności komet. Dodatkowo, dokładne badania statystyczne zjawiska nie potwierdzają również jednoznacz-

nej jego korelacji z odległością komety od Słońca. Dlatego wpływ Słońca trudno uznać za główną przyczynę zjawiska.

Pierwszą z kolei hipotezą związaną z wewnętrznymi przyczynami zjawiska był mechanizm oparty na założeniu, że niektóre składniki jądra kometarnego mogą w sprzyjających warunkach ulec transformacji w materiał silnie wybuchowy. Wiadomo, że w skład jądra komety wchodzi wolne rodniki, takie jak NH czy OH. Rodnik NH jest stabilny w odpowiednio niskich temperaturach, lecz na skutek ogrzewania transformuje się do azotku amonu NH_4N_3 , który w temperaturze 148 K staje się substancją silnie wybuchową. Potrzebnym źródłem energii cieplnej miałyby być protony słoneczne. Inny rodnik OH przechodzi w H_2O_2 w temperaturze 77 K. Mieszanina nadtlenu wodoru z pyłem węglowym jest silnie wybuchowa i przy dostatecznie dużej koncentracji rodników OH można oczekiwać silnych eksplozji. Jednak dla zapewnienia wzrostu blasku komety o 2^m – 3^m koncentracja rodników w kometach wydaje się być zdecydowanie za niska. Powyższy mechanizm jest również silnie zależny od temperatury, co oznacza, że wybuchy komet byłyby bardzo wyraźną funkcją ich odległości heliocentrycznych. Chemiczne eksplozje mogłyby być jedynie źródłem krótkotrwałych rozbłysków na samym początku wybuchu blasku, ale nie mogą go podtrzymywać w relatywnie długim okresie jego trwania.

Drugim mechanizmem należącym do grupy b) był tzw. mechanizm ciśnieniowy, zaproponowany w celu wyjaśnienia wybuchów blasku komety 29/PSW1. Temperatura powierzchni jądra tej komety w odległości heliocentrycznej 5,5 AU wynosi około 130 K. W tej temperaturze zaczyna sublimować CH_4 . Intensywne sporadyczne parowanie tej substancji może prowadzić do zwiększenia ciśnienia w zagłębieniach struktury porowatej komety i oderwania się od jądra pewnej części zewnętrznej warstwy. W różnych odległościach heliocentrycznych inne substancje stanowiące domieszki lodu wodnego mogłyby być odpowiedzialne za wybuchy, lecz mechanizm byłby zawsze podobny; substancje bardziej lotne niż lód wodny, parując w jamach podpowierzchniowych jądra, powodują znaczny wzrost ciśnienia uwięzionego w nich gazu. Jeżeli jego wartość przewyższy wytrzymałość materiału kometarnego na rozzerwanie, może to doprowadzić do zniszczenia warstwy okrywającej jamy i wyrzutu materii gazowo-pyłowej. Odsłonięcie warstw głębszych, bogatszych w substancje lotne, prowadzi do gwałtownego wzrostu tempa sublimacji i zwiększenia ilości materii w halo komety. Tym samym całkowity przekrój rozproszeniowy cząstek, stanowiących głowę komety, gwałtownie rośnie i kometa rozprasza znacznie więcej światła słonecznego. W ostateczności obserwujemy wybuch blasku komety. Proponowany mechanizm wydaje się realistyczny i w oparciu o niego można wyjaśnić niektóre charakterystyczne cechy wybuchów komety 29P/SW1. Jednak nie można go uznać za jedyny mechanizm odpowiedzialny za wybuchową aktywność wszystkich komet. Po pierwsze, zgodnie z tym mecha-

nizmem, wybuchy komet powinny grupować się w tych odległościach heliocentrycznych, które odpowiadają rozpoczęciu intensywnej sublimacji przez substancje odpowiedzialne za wybuchy. Po drugie, różne substancje, mogące potencjalnie inicjować wybuchy, występują w kometach w różnej koncentracji, co prawdopodobnie prowadziło do istotnych morfologicznych różnic w przebiegu zjawiska. Inaczej mówiąc, przebieg wybuchów i ich częstotliwość występowania byłyby prostymi funkcjami odległości heliocentrycznej komety, czego jednak nie potwierdza zebrany bogaty materiał obserwacyjny. Również kruchość i mała wytrzymałość materii kometarnej czyni możliwość uwięzienia znacznych ilości molekuł pary w zagłębieniach struktury porowatej komet dość problematyczną.

Trzeci, należący do drugiej grupy, proponowany mechanizm jest związany z hipotezą, że pierwotnym budulcem komet był lód wodny w postaci amorficznej, a nie krystalicznej. Hipoteza ta wynika z faktu, że jądra komet były formowane w wyniku akrecji międzygwiazdowego pyłu i granul w warunkach niskiej temperatury i ciśnienia. W tych warunkach preferowaną termodynamicznie strukturą lodu wodnego jest jego odmiana amorficzna. Lód amorficzny może ulegać konwersji do formy krystalicznej o strukturze kubicznej i reakcja ta jest wysoce egzotermiczna. Tempo konwersji jest rosnącą funkcją temperatury. Rozpoczyna się około 120 K i powyżej 140 K staje się bardzo szybkie i wydajne energetycznie. Ponieważ lód amorficzny ma nieco inną gęstość niż kubiczny, więc przejście to powoduje naprężenia niszczące powierzchnię jądra. Wtedy mogą być odsłaniane jego głębsze warstwy bogate w bardziej lotne substancje niż lód wodny, które zaczynają gwałtowniej sublimować, gdyż temperatura powierzchni jądra wzrosła dzięki egzotermicznej transformacji lodu amorficznego. W ostateczności doprowadzić to może do znacznego zwiększenia blasku komety, czyli wybuchu jej jasności. Proponowany mechanizm, mimo że najbardziej spójny, również był krytykowany za pewne swoje słabe strony. Po pierwsze, transformacja lodu amorficznego w kubiczny jest efektywna dopiero przy około 140 K, a więc znacznie powyżej oczekiwanej temperatury dla powierzchni jądra wielu komet, które uległy wybuchom (m.in. 29P/SW1 i 1P/Halley). Po drugie, przyjmując ten mechanizm, należy odpowiedzieć na pytanie, co po pewnym czasie hamuje ten proces? Być może krystalizacja dociera do miejsc o słabej przewodności cieplnej lub ilość uwięzionych molekuł stosunkowo zimnych par w zagłębieniach struktury porowatej jest tak duża, że reakcja staje się endotermiczna. Po trzecie czy w kometach przebiegających blisko Słońca cały lód ulega krystalizacji po jednym zbliżeniu? Mimo wielu znaków zapytania związanych z hipotezą transformacji wodnego lodu amorficznego, której początków należy szukać jeszcze w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia, do dzisiaj powstają w oparciu o nią coraz bardziej zaawansowane teoretyczne próby wyjaśnienia przyczyn rozpatrywanego zjawiska wybuchów blasku komet. Należy jednak pamiętać, że obecnie zwraca się uwagę na jeszcze dwa inne jej słabe

punkty. Jeden z nich związany jest z kwestią czy lód amorficzny dotrwał w kometach od chwili ich powstania do naszych czasów. W czasie długiego czasu rzędu milionów lat, który był typowym czasem formowania się jąder kometarnych w pierwotnej mgławicy, z której powstawał Układ Słoneczny, wodny lód amorficzny mógł ulec konwersji do postaci kubicznej nawet w temperaturze około 85 K. Obecnie nie ma bezpośrednich astrofizycznych dowodów za lub przeciw istnieniu lodu amorficznego w kometach wykazujących wybuchową aktywność. Na przykład wspomniana już wielokrotnie kometa 29P/SW1 okrąża Słońce w średniej odległości około 6 AU, mając temperaturę powierzchni rzędu 110–130 K i dlatego znajduje się ona w pobliżu granicy strefy stabilności lodu amorficznego. Reakcja konwersji wodnego lodu amorficznego do postaci krystalicznej jest silnie egzotermiczna w przypadku, gdy nie jest on domieszkowany innymi substancjami. Jednak w kometach najprawdopodobniej zawiera on różne domieszki innych związków chemicznych. Wtedy, jak pokazują badania laboratoryjne, bilans energetyczny tej reakcji może zmienić się dość dramatycznie. Tempo wydzielania energii może ulec znacznemu zmniejszeniu lub nawet w skrajnych wypadkach reakcja konwersji może stać się endotermiczna! Tak więc hipoteza transformacji wodnego lodu amorficznego jako główna przyczyna zjawiska wybuchów jasności komet ma pewne ograniczenia. Prawdopodobnie transformacja amorficznego lodu wodnego może być przyczyną rozpatrywanego zjawiska w odniesieniu do komet młodych, w których lód amorficzny nie zdążył ulec całkowitej przemianie. Natomiast w odniesieniu do komet starszych, w których lód amorficzny całkowicie uległ krystalizacji, przyczyna ich wybuchów musi być inna. W ostatnich latach ukazało się kilka prac, w których zwraca się uwagę na inną możliwą przyczynę wybuchów jasności komet. Otóż przyczyną zjawiska może być szeroko pojęta termodestrukcja jądra komety. Po pierwsze pod wpływem promieniowania słonecznego w lodowym, krystalicznym jądrze komet mogą powstawać różnego rodzaju naprężenia, stanowiące przyczynę destrukcji warstw powierzchniowych jąder kometarnych, odrzucenia w przestrzeń kosmiczną warstw powierzchniowych jądra i odsłonięcia warstw głębszych, co w ostateczności jak było już wspomniane, może prowadzić do istotnego wzrostu blasku komet. Drugim przejawem destrukcji materii kometarnej może być termodestrukcja lodowo-pyłowych ziaren kometarnych, zarówno położonych na powierzchni jądra komety, jak i uniesionych w jej atmosferę przez molekuly sublimujących lodów kometarnych. Otóż lodowo – pyłowe ziarna kometarne mogą zawierać inkluzje wmrózonych substancji (CO, CO₂), które są bardziej lotne niż lód wodny. Gdy kometa zbliża się stopniowo do Słońca materiał inkluzji zaczyna sublimować i w pewnym momencie ciśnienie jego pary nasyconej może przewyższyć wytrzymałość na rozrywanie spowijających je lodów. Lodowo – pyłowe ziarna kometarne mogą ulec destrukcji – rozpadowi na mniejsze odłamki, których powierzchnia jest znacznie większa niż ziaren macierzystych. W ten sposób bardzo duże zwiększenie

powierzchni odbijającej światło słoneczne może doprowadzić również do wybuchu blasku komety.

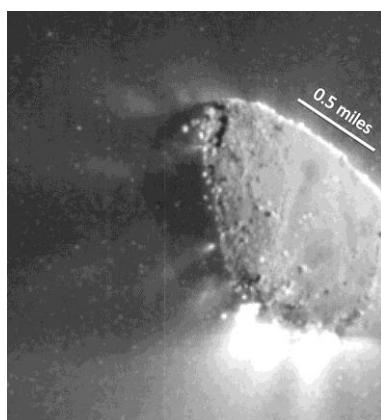
Podsumowanie

Komety, ciała kosmiczne o mglistych, nieostrych zarysach, obdarzone często warkoczami (lub ogonami), pojawiające się na niebie niespodziewanie i relatywnie szybko przesuujące się na tle gwiazdozbiorów, od niepamiętnych czasów budziły wielkie zainteresowanie ludzkości. Z powodu swojego wyglądu były często przez starożytnych nazywane „włochatymi gwiazdami”. Wygląd zakrzywionych warkoczy pyłowych komet kojarzono niekiedy z karzącym mieczem. To dlatego w dawnych wiekach komety wzbudzały zabobonny strach jako zapowiedź klęsk i katastrof. Pomimo tego, już od czasów Arystotelesa próbowano ich pochodzenie wytłumaczyć w sposób naturalny. Początkowo jednak przeważał pogląd, że są to zjawiska o ziemskim pochodzeniu, które zachodzą w atmosferze naszej planety. Dopiero badania takich astronomów jak: Brahe, Kepler, Hewelisz*, Newton i Halley rozpoczęły nowoczesny rozdział badań kometarnych. W niniejszym artykule zostały przedstawione podstawowe równania opisujące fizykę komet oraz ciekawe zjawisko wybuchów ich blasku. W chwili obecnej wydaje się, że głównym powodem tego zjawiska dla komet zawierających wodny lód amorficzny jest jego przemiana w postać krystaliczną, a dla komet zawierających wodny lód krystaliczny – szeroko pojęta termodestrukcja materiału kometarnego. Pamiętać należy jednak o tym, że inne proponowane dotychczas mechanizmy mogą również w sprzyjających warunkach wywoływać znaczne wzrosty blasku tych ciał niebieskich. Przeprowadzone w ciągu dwóch ostatnich dziesięcioleci badania teoretyczne, w tym symulacje komputerowe, badania laboratoryjne, obserwacje teleskopowe oraz szczególnie misje kosmiczne do komet bardzo wzbogaciły naszą wiedzę dotyczącą tych kosmicznych nomadów. Tak więc odkryto np. wyrzuty materii z komet w postaci „dżetów” przypominających zjawisko ziemskich gejzerów, a sondy kometarne pozwoliły na bezpośrednie badanie materii kometarnej. Zdarza się niekiedy, że komety potrafią zachowywać się w sposób dość „kapryśny”. W 2013 roku słynna kometa C/2012 S1 (ISON) miała okazać się wyjątkowo jasnym ciałem kosmicznym w okresie przejścia przez swoje peryhelium. Niestety, nic takiego nie miało miejsca, gdyż uległa ona rozpadowi. Śledzenie orbit tych ciał niebieskich i badanie ich ewolucji przynosiło, przynosi i pewnie nadal będzie przynosić astronomom wiele zaskakujących niespodzianek. Dlatego astronomowie zajmujący się badaniem komet mówią czasami, że są one jak koty – mają ogony i robią to na co mają ochotę.

* Jan Heweliusz z Gdańska w 1668 roku wydał dzieło *Cometografia*.



Fot. 3. Zdjęcia jądra komety Hartley 2 wykonane z sondy kosmicznej Deep Impact (foto NASA)



Fot. 4. Widoczne strugi gazu (dżety), które są wyrzucane z jądra komety 103P/ Hartley (foto NASA)

Powyższy artykuł powstał podczas realizacji dwóch grantów Dziekana Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego UR: WMP/GD-08/2015 oraz WMP/GMN-21/2015.

Literatura

- [1] Artymowicz P., 1995, *Astrofizyka układów planetarnych*, PWN, Warszawa.
- [2] Hughes D., 1990, Cometary outbursts. A review, *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 31, 69–94.
- [3] Gronkowski P., 2002, *Wybuchy komet w znacznych odległościach od Słońca*, Wyd. Uniwersytetu Rzeszowskiego.
- [4] Gronkowski P., 2005, The source of energy of the Comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 outburst activity: the test of the summary, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 360, 1153–1161.
- [5] Mc-Fadden L., Weissman P., Johnson T. (ed.), 2007, *Encyclopedia of the Solar System*, second edition, ELSEVIER, Amsterdam.
- [6] Gronkowski P., 2014, The outbursts of the comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1: A new approach to the old problem, *Astronomische Nachrichten*, 2, 124–134.

Redakcja poleca artykuł Krzysztofa Ziółkowskiego „Lądowanie na komecie”, *Urania* 5/2015, t. LXXXVI, 12–18.



Nagroda Nobla dla neutrin i co dalej

Joanna Zalipska

Zakład Fizyki Wielkich Energii,
Departament Badań Podstawowych,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Warszawa

W 2015 roku Szwedzka Akademia Nauk uhonorowała dwóch naukowców prof. Takaaki Kajitę i prof. Artura B. McDonalda za odkrycie fascynującej własności neutrin – oscylacji i w rezultacie wykazanie, że cząstki te mają niezerową masę. Nie jest to pierwszy raz, kiedy ta prestiżowa nagroda przypadła neutrinom. Za zarejestrowanie owych elementarnych cząstek po raz pierwszy tę nagrodę dostał Frederic Reines w 1995 roku. Jak na ironię 7 lat wcześniej przyznano Nagrodę Nobla za odkrycie neutrina typu mionowego, które miało miejsce 6 lat po eksperymencie Reinesa. W końcu w 2002 roku Komitet Noblowski uznał, że wkład w astrofizykę i zarejestrowanie neutrin kosmicznych warte są nagrodzenia kolejną Nagrodą Nobla prof. Raymonda Davisa i prof. Masatoshi Koshibę. Od odkrycia neutrin w 1956 roku jest to dynamicznie rozwijająca się dziedzina fizyki cząstek elementarnych. Przeprowadzane liczne eksperymenty pozwoliły już wyjaśnić niektóre zagadki związane z neutrinami. Ale zanim stanie się jasne rozwiązanie, których zagadek warte było tegorocznej Nagrody Nobla, zaczniemy od przybliżenia, co to są neutrina, skąd się biorą, co to są oscylacje neutrin i dlaczego prowadzi to do wniosku, że neutrina mają masę, oraz powiemy, jakie eksperymenty należało przeprowadzić, żeby te efekty zmierzyć doświadczalnie.

Neutrina są to najlżejsze cząstki elementarne o zerowym ładunku elektrycznym oddziałujące tylko *ślabo* i *grawitacyjnie*, przez co bardzo trudno jest je zarejestrować. W rezultacie zasługują na miano *cząstek duchów*. W Modelu Standardowym cząstek elementarnych każde neutrimo ma swojego naładowanego partnera, który definiuje jego zapach. W związku z tym, tak jak mamy trzy naładowane leptony – elektron, mion i taon (e , μ , τ) – mamy również ich trzy neutralne odpowiedniki: neutrimo elektronowe, neutrimo mionowe i neutrimo taonowe (ν_e , ν_μ , ν_τ). Nikomu nie udało się jeszcze wyznaczyć masy któregoś z neutrin, ale różne doświadczenia pozwoliły na wyznaczenie granicy ich wartości. I tak wiadomo, że masa ν_e jest mniejsza niż 2,05 eV, natomiast granica sumy mas wszystkich neutrin jest $\sum_j m_j < 0,66$ eV. To wskazuje, że masy neutrin są bardzo małe, 10^6 razy mniejsze niż skala mas naładowanych leptonów czy też kwarków. Dla porównania masa elektronu to 511×10^3 eV, a protonu składającego się z trzech kwarków to 938×10^6 eV. W poznawaniu mas neutrin przychodzi nam z pomocą zjawisko oscylacji. Wiąże się ono z mieszaniem neutrin, które zostało zapostulowane na początku lat 60. XX wieku przez trzech fizyków Z. Makiego, M. Nakagawę i S. Sakatę. Wiąże się to z faktem, że ob-

serwowane przez nas w doświadczeniach neutrino ν_e , ν_μ , ν_τ nie są stanami o zdefiniowanej masie. Istnieją inne stany neutrino ν_1 , ν_2 i ν_3 , które mają odpowiednio masy m_1 , m_2 , m_3 . W rezultacie neutrino ν_e , ν_μ czy ν_τ składają się z mieszanki neutrino ν_1 , ν_2 i ν_3 . W konsekwencji prowadzi to do zjawiska samoczynnej zmiany typu neutrino w czasie jego propagowania się w czasie i przestrzeni. W ten sposób neutrino mionowe może się samoczynnie przemienić w neutrino elektronowe albo taonowe. Mamy wtedy do czynienia z oscylacjami odpowiednio $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oraz $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ (patrz ramka). Szansa na przemianę neutrino zależy od parametrów opisujących ten proces oraz od kwadratu różnicy mas neutrino. Okazuje się, że proces oscylacji nie mógłby zachodzić, gdyby neutrino były bezmasowe.

Formalizm oscylacji neutrino

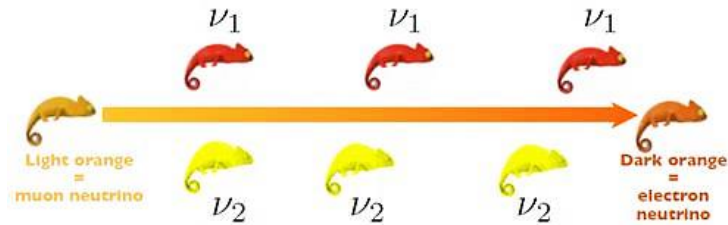
Teoria oscylacji mówi, że obserwowane doświadczalnie neutrino o określonym zapachu, czyli ν_e , ν_μ i ν_τ , nie są tożsame ze stanami własnymi mas neutrino (ν_1 , ν_2 , ν_3), natomiast można je przedstawić jako superpozycję tych stanów masy:

$$|\nu_\alpha\rangle = \sum_i U_{\alpha i} |\nu_i\rangle \quad (1)$$

Macierz U jest to macierz mieszania neutrino, α jest indeksem oznaczającym rodzaj neutrino e , μ , τ , a indeks i oznacza stan własny neutrino 1, 2, 3. Na razie skoncentrujemy się na tym, co dzieje się z neutrino, kiedy propagują się w czasie i przestrzeni. Stany własne masy neutrino propagują się zgodnie z równaniem Schrödingera. W rezultacie zachowanie się neutrino o określonym zapachu można porównać do zachowania kameleona. Neutrino propagując się w czasie i przestrzeni zmieniają swój rodzaj, tak jak kameleon zmienia kolor. Obrazuje to rys. 1 gdzie na początku mamy neutrino mionowe, czyli jasnopomarańczowego kameleona¹, który składa się z dwóch składników: kameleona w kolorze czerwonym ν_1 oraz kameleona w kolorze żółtym ν_2 . W czasie przemieszczania się neutrino mionowego jego składniki propagują się inaczej ze względu na to, że mają różne masy m_1 i m_2 . Na rys. 1 widać, że czerwony i żółty kameleon po pewnym czasie przesuwają się w fazie. W rezultacie na końcu drogi ich mieszanka odpowiada ciemnopomarańczowemu kameleonowi, reprezentującemu neutrino elektronowe. Podsumujmy, co się stało: wyprodukowane neutrino mionowe zamieniło się w neutrino elektronowe, czyli neutrino zmieniło swój zapach – tożsamość, bez żadnej ingerencji z zewnątrz. Mówimy, że neutrino przeoscyloowało. Jeśli czytelnik nadal ma wątpliwości, co to są neutrino i jak oscylują, polecam filmik, na którym sześciolatnia Samantha wyjaśnia, na czym polegają oscylacje neutrino używając do tego analogii lodów o różnych smakach,

<https://www.youtube.com/watch?v=sjN0E08aaFw&feature=youtu.be>

¹ W kolorze w wersji internetowej.



Rys. 1. Diagram obrazujący analogię między oscylacjami neutrin a zmianą koloru u kameleona. Początkowe neutrino mionowe reprezentowane przez jasnopomarańczowego kameleona zmienia się w ciemnopomarańczowego kameleona – neutrino elektronowe, wskutek różnej propagacji jego składowych, ν_1 i ν_2 , czyli kameleonów czerwonego i żółtego

Żeby jednak zrozumieć, jak powiązane są masy neutrin z oscylacjami, trzeba bliżej przyjrzeć się wzorom opisującym ten proces. Zaczniemy od tego, że propagację neutrina o określonym zapachu w czasie i przestrzeni można zapisać jako

$$|v_\alpha, t\rangle = \sum_i U_{\alpha i} e^{-iEt} |v_i\rangle. \quad (2)$$

Poniższy wzór opisuje prawdopodobieństwo oscylacji, a więc szansę na to, że wyprodukowane neutrino v_α przemieni się w neutrino innego typu v_β :

$$P(v_\alpha \rightarrow v_\beta) = \left| \sum_i U_{\alpha i} U_{\beta i}^* \exp(-im_i^2 L/2E) \right|^2, \quad (3)$$

gdzie L oznacza odległość, na jakiej mierzy się oscylacje, a E to energia badanych neutrin.

Dla zrozumienia idei oscylacji ograniczymy się do przypadku dwóch neutrin v_α , v_β , dla których mieszanie się stanów masowych ν_1 i ν_2 można zapisać jako:

$$\begin{pmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Tutaj macierz mieszania U została sparametryzowana za pomocą jednego kąta mieszania θ . Korzystając z tego zapisu prawdopodobieństwo na oscylację $v_\alpha \rightarrow v_\beta$ wyraża się jako:

$$P(v_\alpha \rightarrow v_\beta) = \sin^2 2\theta \sin^2(\Delta m_{21}^2 L/4E), \quad (5)$$

gdzie $\Delta m_{21}^2 = m_2^2 - m_1^2$ to różnica kwadratów mas neutrin ν_1 i ν_2 .

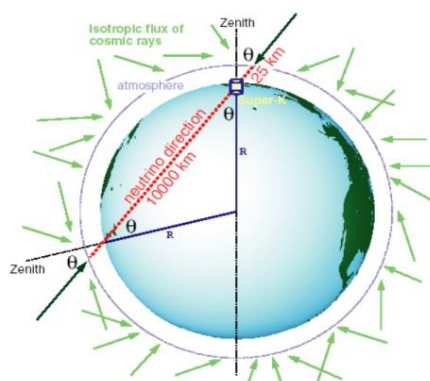
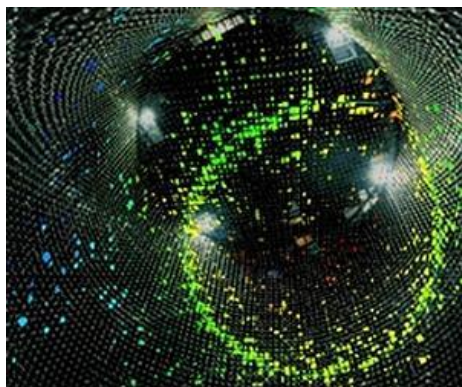
Z tego wzoru jednoznacznie wynika, że oscylacja neutrin zajdzie wtedy, gdy spełnione zostaną dwa warunki. Prawdopodobieństwo na oscylację będzie różne od zera tylko wtedy, gdy stany mas neutrin się mieszają, czyli parametr θ jest różny od zera. Z drugiej strony konieczne jest, aby Δm_{21}^2 było różne od zera, w przeciwnym razie sinus masowy zależny od tej wielkości będzie równy zero, czyli oscylacja neutrin ponownie nie będzie zachodzić. Wymaganie Δm_{21}^2 różnego od zera implikuje, że przynajmniej jedna z mas neutrin m_1 albo m_2 musi być większa od zera. Stąd jasno wynika,

że jeśli udałoby się zaobserwować oscylację neutrin, to dowodziłoby to, że neutrina mają masę. Warto jeszcze zwrócić uwagę na fakt, że prawdopodobieństwo zajścia transformacji neutrin zależy również od energii badanych neutrin E oraz odległości, na których mierzy się oscylacje L .

Sytuacja trochę się komplikuje, gdy weźmiemy pod uwagę, że neutrina mamy trzy, a nie dwa. Wtedy macierz mieszania neutrin U można sparametryzować przy użyciu nie jednego, a trzech kątów mieszania: θ_{12} , θ_{13} i θ_{23} . Wtedy też mamy trzy mieszające się stany własne masy neutrin ν_1 , ν_2 i ν_3 , co daje dwa niezależne kwadraty różnicy mas neutrin, Δm_{12}^2 i Δm_{23}^2 . Ale i z tym można sobie poradzić. Dla zainteresowanych poznaniem formalizmu oscylacji trzech neutrin autorka poleca zapoznanie się z opisem mieszania się neutrin z Particle Data Group <http://pdg.lbl.gov/2015/reviews/rpp2014-rev-neutrino-mixing.pdf>.

Kiedy przebrnęliśmy już przez opis fenomenologii neutrin, czas na przedstawienie eksperymentów, które pozwoliły potwierdzić opisaną wyżej teorię oscylacji. I tu do głosu dochodzą nasi dwaj laureaci tegorocznej Nagrody Nobla, którym udało się istnienie oscylacji potwierdzić doświadczalnie. Pierwszy z nich prof. Kajita zajął się badaniem neutrin atmosferycznych, podczas gdy prof. McDonald mierzył oddziaływania neutrin pochodzących ze Słońca.

Neutrina atmosferyczne są neutrinami produkowanymi w sposób naturalny. Cząstki promieniowania kosmicznego, takie jak np. protony, oddziałując z atomami ziemskiej atmosfery na wysokościach do 30 km nad powierzchnią Ziemi produkują neutrina mionowe i elektronowe, przy czym strumień neutrin mionowych powstający w ten sposób jest dwukrotnie większy niż strumień neutrin elektronowych. Trzeba sobie zdać sprawę również z tego, że neutrina powstają w atmosferze wokół całej kuli ziemskiej, a więc tak samo nad Japonią, nad Biegunem Południowym czy też nad Atlantykiem (rys. 2 po prawej).



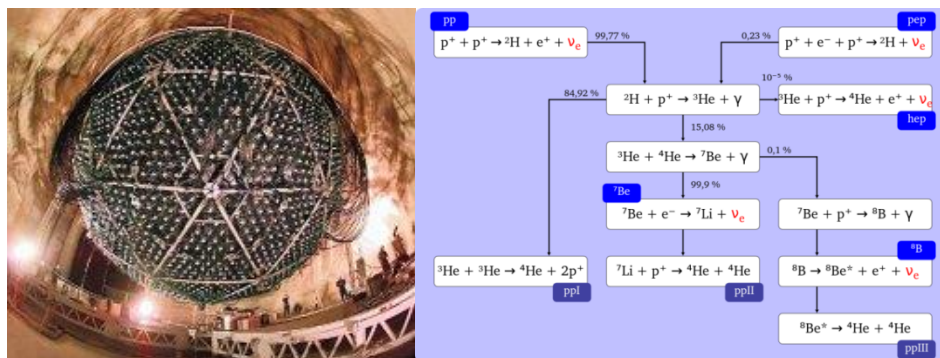
Rys. 2. Zdjęcie po lewej przedstawia wnętrze detektora Super-Kamiokande z pierścieniem światła powstałym w wyniku przejścia elektronu przez wodę. Rysunek po prawej obrazuje neutrina atmosferyczne docierające do detektora Super-Kamiokande z wszystkich kierunków z atmosfery wokół Ziemi

Grupa fizyków z Japonii we współpracy z naukowcami ze Stanów Zjednoczonych oraz z Polski postanowiła zbadać zachowanie się neutrin atmosferycznych i w Alpach Japońskich wybudowała pułapkę na neutrina – detektor Super-Kamiokande (rys. 2 po lewej). Jak już wcześniej wspomniano, neutrina oddziałują tylko słabo, w związku z tym bardzo trudno jest je złapać. Żeby zatrzymać jedno neutrina potrzeba by bloku ołowiu o długości trzech lat świetlnych, czyli 200 tys. razy więcej niż odległość z Ziemi do Słońca. W związku z tym pułapki na neutrina muszą być duże i masywne, żeby w ogóle zaistniała szansa na ich zarejestrowanie. Dlatego też wybudowano detektor Super-Kamiokande będący walcem o wysokości i średnicy 40 m wypełnionym 50 tys. ton ultraczystej wody. Umieszczono go kilometr pod powierzchnią Ziemi w kopalni we wnętrzu góry Ikenoyama, żeby zminimalizować wpływ promieniowania kosmicznego, składającego się głównie z mionów. Znaczna część mionów kosmicznych grzęźnie w skałach nad detektorem, przez co tło do poszukiwanych oddziaływań neutrin jest znacząco zredukowane. Oddziaływania neutrin obserwowane są za pomocą dziesiątków tysięcy fotoczujników (fotopowielaczy) rejestrujących rozbłyski światła powstałe w wyniku oddziaływania neutrin z atomami wody. W tym celu wykorzystuje się tzw. zjawisko promieniowania Czerenkowa. Neutrina mionowe i elektronowe z atmosfery zderzając się z atomami wody produkują odpowiednio leptony naładowane: mion i elektron. Jeśli te naładowane cząstki poruszają się w wodzie z prędkością większą niż prędkość światła w tym ośrodku, to emitują one fotony promieniowania Czerenkowa. Emitowane są one w stożku, w związku z czym tworzą pierścienie światła na ściankach detektora. Badając kształt tych pierścieni można rozróżnić czy fotony zostały wyemitowane przez mion czy też elektron, a w związku z tym można zidentyfikować zapach oddziałującego neutrina, ν_μ albo ν_e . Detektor ten dostarcza również informacji o kierunku, z którego przyszło zarejestrowane neutrina. Trzeba uświadomić sobie, że detektor Super-Kamiokande rejestruje zarówno neutrina powstałe w atmosferze nad detektorem, jak i te powstałe w atmosferze po drugiej stronie kuli ziemskiej. Ziemia jest dla nich przezroczysta i mogą przejść one przez całą średnicę kuli ziemskiej zanim niektóre z nich wejdą w oddziaływanie wewnątrz detektora. Tak więc zaczęto zliczać oddziaływania neutrin przychodzących z różnych kierunków. Okazało się, że zaobserwowano znacznie mniej neutrin mionowych, powstałych po drugiej stronie globu, niż się tego spodziewano z przewidywań strumienia powstałych neutrin atmosferycznych. Jednocześnie ilość neutrin przychodzących z atmosfery nad detektorem była zgodna z przewidywaniami. Oznacza to, że neutrina mionowe przechodząc przez Ziemię znikają. Wyniki te zostały zaprezentowane przez prof. Takaaki Kajitę na konferencji w Takayamie w 1998 roku, gdzie jako wytłumaczenie znikania neutrin mionowych pochodzących z atmosfery podał on oscylacje neutrin. Uzyskane wyniki daje się wytłumaczyć w ramach teorii oscylacji jako transformację neutrin mionowych w neutrina taonowe, czyli oscylację $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$.

Używając naszej analogii między neutrinami a kameleonami można powiedzieć, że jasnopomarańczowy kameleon zzieleniał. Uważny czytelnik zacznie tu wątpić, skąd wiadomo, że neutrino mionowe nie zamieniło się w neutrino elektronowe. Wiąże się to z tym, że nasz detektor rejestrował również oddziaływania neutrin elektronowych powstałych w atmosferze po różnych stronach Ziemi. Strumień ν_e , który zarejestrowano zarówno dla neutrin przychodzących z góry jak i z dołu detektora był zgodny z przewidywaniami modelu opisującego produkcję neutrin atmosferycznych. W związku z tym wykluczona została możliwość zamiany neutrin mionowych w elektronowe, ponieważ wtedy obserwowano by nadwyżkę ν_e przychodzących z dołu detektora. Przeprowadzona analiza oscylacji danych detektora Super-Kamiokande, prowadzona przez prof. Kajitę pozwoliła na wyznaczenie parametrów oscylacji neutrin występujących we wzorze (5). Zmierzony parametr opisujący mieszanie się neutrin to kąt $\theta_{23} \sim 45^\circ$, oraz kwadrat różnicy mas $\Delta m_{23}^2 \sim 2,5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$. Pomiar ten dostarczył dowodu na mieszanie się neutrin i jako jedyny pozwolił na wykazanie, że neutrina mają masę. Wynik ten zapoczątkował serię eksperymentów dedykowanych pomiarom oscylacji neutrin. Ale zanim do tego przejdziemy uwagę należy poświęcić neutrinom słonecznym, za których badanie przypadła druga część tegorocznej Nagrody Nobla dla prof. McDonalda.

Prof. Artur B. McDonald postawił sobie za cel pomiar neutrin słonecznych i przeprowadził eksperymentowi SNO (Sudbury Neutrino Observatory) w Kanadzie. Eksperyment ten zajął się rozwikłaniem zagadki neutrin słonecznych, która nurtowała fizyków cząstek od lat 60. zeszłego wieku.

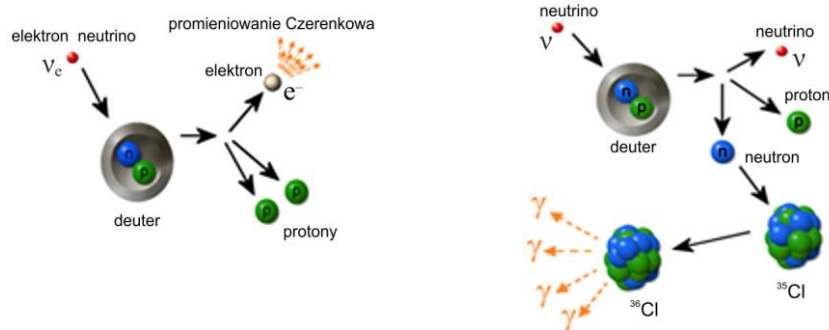
Jak wiadomo, w Słońcu zachodzą reakcje termojądrowe (rys. 3 po prawej), w wyniku których uwalniana jest energia słoneczna. Reakcje te są również źródłem neutrin elektronowych ν_e . W ciągu jednej sekundy na 1 cm^2 dociera na Ziemię 7×10^{10} neutrin pochodzących ze Słońca. Niejeden eksperyment mierzył ν_e pochodzące ze Słońca, ale wynik był zawsze taki, że w zarejestrowanym strumieniu neutrin brakuje od 40 do 65% ν_e w porównaniu do tego, co przewiduje Standardowy Model Słońca. Podejrzewano, że ν_e powstałe w Słońcu oscylują w inne typy neutrin, ale nie było na to żadnego dowodu. Potrzebny był eksperyment czuły na oddziaływania wszystkich rodzajów neutrin. I tak powstał detektor SNO (rys. 3 po lewej). Był on również wodnym detektorem Czerenkowa jak Super-Kamiokande, ale zamiast zwykłej wody używał wody ciężkiej D_2O . W związku z tym był czuły na taki typ oddziaływania ν_e , którego żaden inny detektor przed nim nie mógł zarejestrować.



Rys. 3. Zdjęcie po lewej przedstawia detektor SNO (Kanada) wypełniony ciężką wodą. Diagram po prawej obrazuje reakcje termojądrowe zachodzące w Słońcu i będące źródłem antyneutrino elektronowych, $\bar{\nu}_e$

Neutrino elektronowe mogą oddziaływać z materią na kilka sposobów, jak pokazuje to rys. 4 (po lewej). Unikatowa dla SNO, była możliwość oddziaływania ν_e z deuterem poprzez tzw. proces przez prądy naładowane, który zilustrowany jest na lewym rys. 4. W wyniku oddziaływania neutrino na neutronie z deuteru powstaje w stanie końcowym proton i naładowany elektron, który poruszając się w wodzie emituje promieniowanie Czerenkowa, tak samo jak to miało miejsce dla detektora Super-Kamiokande. Istotne jest, że tylko ν_e może oddziaływać w ten sposób. Ani ν_μ ani ν_τ nie są w stanie wyprodukować naładowanego mionu bądź taonu, ponieważ energia neutrino słonecznych jest zbyt niska, żeby spowodować powstanie ciężkich leptonów. Mierząc ten typ oddziaływań detektor SNO zarejestrował strumień ν_e odpowiadający 35% strumienia przewidywanego przez Model Słońca. Podobnie jak i we wcześniejszych eksperymentach zaobserwowano niedobór ν_e . Rozwiązanie zagadki przyszło wtedy, gdy w SNO w drugiej fazie eksperymentu domieszkowano ciężką wodę solą, w związku z czym można było wyselekcjonować neutrino oddziałujące w inny sposób – przez tzw. prądy neutralne, jak pokazuje to diagram na rys. 4 (po prawej). W wyniku tego typu oddziaływania neutrino z deuterem w stanie końcowym powstaje również niewidoczne neutrino oraz proton i neutron. Sam neutron też jest niewidoczny w detektorze, dopóki nie zostanie wychwycony przez atom ${}^{35}\text{Cl}$, tworząc izotop ${}^{36}\text{Cl}$. Następnie ${}^{36}\text{Cl}$ emituje fotony gamma, które są rejestrowane przez fotodetektory umieszczone na ściankach sfery detektora SNO. Każde neutrino, niezależnie od rodzaju, ν_e , ν_μ czy ν_τ , może w ten sposób oddziaływać. W eksperymencie SNO zmierzono strumień oddziałujących tak neutrino i stwierdzono, że jest on zgodny z przewidywaniami strumienia neutrino elektronowych produkowanych w Słońcu. Wyznaczony stosunek strumieni neutrino obserwowany za pomocą obu opisanych powyżej reakcji to:

$$\phi(\text{reakcja 1})/\phi(\text{reakcja 2}) = \phi_{\nu_e}/(\phi_{\nu_e} + \phi_{\nu_\mu} + \phi_{\nu_\tau}) = 0,340.$$



Rys. 4. Diagramy prezentujące dwa typy oddziaływania neutrin rejestrowane w detektorze SNO. Po lewej – oddziaływanie $\bar{\nu}_e$ zachodzące przez prądy naładowane, z produkcją elektronu, który emituje promieniowanie Czerenkowa. Po prawej – oddziaływanie przez prądy neutralne, które zachodzi dla wszystkich trzech typów neutrin ν_e, ν_μ, ν_τ . W stanie końcowym otrzymujemy oddziałujące neutrino oraz neutron, który jest wychwytywany przez atom ^{35}Cl . Tak powstały ^{36}Cl wysłał fotony gamma będące źródłem światła obserwowanego w detektorze SNO

W reakcji czulej wyłącznie na neutrina elektronowe obserwuje się tylko 35% przypadków w porównaniu do reakcji, która zachodzi dla wszystkich rodzajów neutrin. Wniosek z tego jest jeden, neutrina elektronowe wyprodukowane w Słońcu przeoscyłowały w inny rodzaj neutrin. Eksperyment SNO kierowany przez McDonalda dowiódł, że neutrina powstałe w Słońcu także oscylują. Okazało się, że ν_e nie oscylują na drodze ze Słońca na Ziemię, ale zmieniają swoją tożsamość wewnątrz Słońca. W tym przypadku wyznaczony kąt mieszania to $\theta_{12} \sim 33^\circ$ oraz $\Delta m_{21}^2 \sim 7,5 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$. Dodatkowo efekty związane z przechodzeniem ν_e przez materię słoneczną pozwoliły na stwierdzenie, że to m_2^2 jest cięższe niż m_1^2 .

Dlaczego zatem wyniki wcześniejszych eksperymentów wskazywały różny procentowo strumień rejestrowanych ν_e (od 40 do 65% jak już wcześniej wspomniano). Ten fakt także można wyjaśnić w ramach teorii oscylacji. Emitowane ze Słońca neutrina mają różną energię, a detektory miały różny próg na detekcję ν_e . Jak pokazuje uproszczony wzór (5), prawdopodobieństwo oscylacji zależy od energii neutrin, w związku z tym różny ułamek powstałych w Słońcu neutrin przeoscyłował dla neutrin rejestrowanych w różnych eksperymentach, zatem obserwowany efekt znikania ν_e był inny w zależności od eksperymentu.

W przeprowadzanym obecnie eksperymencie Borexino zlokalizowanym we Włoszech mierzy się bardziej dokładnie spektrum słonecznych ν_e . Zaobserwowano niskoenergetyczne neutrina $50 \times 10^3 \text{ eV}$, podczas gdy SNO było czułe na neutrina o energiach powyżej $15 \times 10^6 \text{ MeV}$. Kilka pomiarów, wykonanych przez eksperyment Borexino i czułych na ν_e powstałe w wyniku różnych proce-

sów zachodzących w Słońcu, potwierdziło teorię oscylacji neutrin wewnątrz Słońca.

Obecnie naukowcy zdecydowali się badać ten typ oscylacji w eksperymentach akceleratorowych. Na przełomie XX i XXI wieku uruchomiono pierwszy eksperyment, w którym sztucznie produkowano neutrina mionowe ν_μ i wysyłano je na odległość 250 km, mierząc ile z nich znika z wiązki. Mówimy tu o japońskim eksperymencie K2K, w którym celowano wiązką ν_μ w ten sam wielki detektor wodny Super-Kamiokande. Okazało się, że neutrina mionowe znikają z wiązki akceleratorowych neutrin w taki sposób, jak się tego spodziewano z pomiarów oscylacyjnych neutrin atmosferycznych. Mając już potwierdzenie oscylacji neutrin, zaczęto budować kolejne eksperymenty produkujące sztuczne wiązki neutrin mionowych w akceleratorach, takie jak MINOS, T2K czy NOvA. Doświadczenia te pozwoliły na precyzyjne wyznaczenie parametrów oscylacji, a więc θ_{23} i Δm_{23}^2 . W eksperymencie T2K wykryto, że ν_μ przeoscylowuje w ν_e , tyle że odpowiedzialny za ten efekt kąt mieszania θ_{13} jest znacznie mniejszy niż dwa pozostałe, bo wynosi około 9° . Najbardziej precyzyjnego pomiaru tego trzeciego kąta mieszania dostarczył eksperyment DayaBay, będący badaniem zupełnie innego rodzaju niż te dotychczas omawiane. A mianowicie DayaBay analizuje znikanie $\bar{\nu}_e$ powstałych w reaktorach jądrowych w Chinach niedaleko Hongkongu.

Obecnie fizycy neutrin są bardzo zainteresowani produkowaniem w akceleratorach wiązek antyneutrin mionowych. Celem jest zbadanie, czy istnieje symetria między oscylacjami neutrin mionowych i antyneutrin mionowych, czy też symetria ta jest łamana, co powinno uwidaczniać się jako inna wartość prawdopodobieństwa oscylacji $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ i $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$.

W innych badaniach neutrin fizycy skorzystali ponownie ze zjawiska emisji światła Czerenkowa, ale tym razem nie użyli do tego wody, ale lód, budując na Biegunie Południowym eksperyment IceCube. Dzięki temu, że objętość czynna takiego lodowego detektora to więcej niż 1 km^3 , udało się w tym eksperymencie zarejestrować bardzo wysokoenergetyczne neutrina przychodzące z Kosmosu. Może się okazać, że IceCube jest pionierskim eksperymencie, który zapoczątkuje astronomię neutrinową. Wydaje się, że nasze tajemnicze *cząstki duchy* nie powiedziały jeszcze ostatniego słowa i będą nas mogły zadziwić niejednym.



WYWIAD

Dr Joanna Zalipska o swojej pracy w neutrinowych eksperymentach w Japonii

Zofia Gołąb-Meyer

Zofia Gołąb-Meyer – Kiedy powstała u Pani chęć studiowania fizyki? Gdzie chodziła Pani do szkoły?

Joanna Zalipska – Przeważnie ciągnie nas do tego, co nam najlepiej wychodzi, a ja zawsze byłam dobra z przedmiotów ścisłych: matematyki i fizyki. Ponadto fizyka mnie fascynowała. Wydawała się nowatorska – skomplikowane eksperymenty, akceleratory. Współpraca w grupach międzynarodowych, kojarzyła się z ciekawą pracą wśród ciekawych ludzi.

Poznanie odpowiedzi na podstawowe pytania, z czego się składa świat, to był szczytny cel. Już w liceum ciągnęło mnie do fizyki cząstek, chociaż wtedy, gdy się słyszało o kwarkach czy mionach, to była to pełna egzotyka. Pochodzę z Bielska-Białej i tam kończyłam V Liceum Ogólnokształcące. To niewielkie liceum z kilkoma klasami o profilu matematyczno-fizyczno-informatycznym, ale jednak z wieloma osiągnięciami.

Z.G-M – Proszę opowiedzieć o niezwykłym detektorze Super-Kamiokande

J.Z. – Detektor Super-Kamiokande powstał w celu poszukiwania rozpadu protonu. Potrzebny był detektor z dużą ilością protonów, które ewentualnie miałyby się w detektorze rozpaść. Poszukiwano różnych sposobów rozpadu, los jednak płata figle i rozpadu protonu nikomu do tej pory nie udało się jeszcze zaobserwować, natomiast detektor odegrał ważną rolę w fizyce neutrin. Detektor działa od 1996 roku, ale nie jest to pierwsze urządzenie tego typu wybudowane w Japonii. Wcześniej działał detektor Kamiokande, który w 1987 roku zapoczątkował astronomię neutrinową, kiedy to udało mu się zmierzyć neutrina pochodzące z wybuchu supernowej. Stąd też jednym z celów większego detektora Super-Kamiokande jest rejestracja wybuchu kolejnej supernowej. System akwizycji danych jest tak zaprojektowany, że uruchamia się alarm, gdy w detektorze zostaje zarejestrowanych w krótkim odstępie czasu wiele oddziaływań niskoenergetycznych neutrin. Aby nie przeoczyć pojawienia się prawdziwej supernowej uruchamia się od czasu do czasu próbne „alarmy”. Przysparza to emocji fizy-



kom, którzy biorą udział w zbieraniu danych, bowiem biada temu, który by alarmu nie zauważył.

Super-Kamiokande, poza czekaniem na supernową czy rozpad protonu, mierzy neutrina przychodzące z atmosfery ziemskiej (za co przyznano tegoroczną Nagrodę Nobla) oraz te przychodzące ze Słońca. Z tego powodu eksperyment przyczynił się również do rozwikłania zagadki neutrin słonecznych. Jednym z pierwszych rezultatów działania detektora było wykonanie „zdjęcia” Słońca, tyle tylko, że wykonanego nie za pomocą kliszy i światła, lecz za pomocą neutrin, których oddziaływanie rejestrowano w detektorze. Ponadto detektor wykorzystywany jest także przez eksperymenty akceleratorowe. W eksperymencie K2K kierowano z laboratorium KEK wiązkę neutrin do Super-K i potwierdzono wyniki oscylacyjne z neutrin atmosferycznych (to jest eksperyment, w którym głównie uczestniczyłam w trakcie doktoratu). Teraz w kolejnym eksperymencie T2K bada się oscylacje wysyłając wiązki neutrin oraz antyneutrin do Super-K z ośrodka J-PARC.

W samym Super-Kamiokande bierze udział około 100 osób. Od początku tego eksperymentu uczestniczy w nim prof. Danuta Kielczewska z Uniwersytetu Warszawskiego, wprowadzając w fizykę neutrin kolejne osoby z Polski. Obecnie grupa polskich fizyków neutrin liczy około 30 osób i są to fizycy z Warszawy, Krakowa, Wrocławia i Katowic. Większa część grupy bierze udział w eksperymencie z wiązką akceleratorową T2K, liczącym około 500 osób. W skład zespołu wchodzi fizycy z 11 krajów, Europy, Japonii i Ameryki Północnej. W obu eksperymentach, zarówno Super-Kamiokande jak i T2K, istnieją międzynarodowe grupy zajmujące się różnymi analizami fizycznymi. Tak więc jest w Super-K grupa dedykowana analizie neutrin słonecznych i kolejna – badająca neutrina atmosferyczne. Jeszcze inni poszukują sygnału pochodzącego od ciemnej materii, bądź poszukują rozpadu protonu. Grupa stowarzyszona z eksperymentem akceleratorowym T2K analizuje te oddziaływania neutrin w detektorze Super-Kamiokande, które pochodzą z wysłanej z akceleratora wiązki. Zespoły spotykają się na telekonferencjach, gdzie prezentują wyniki badań i dyskutują strategię analizy danych. Oczywiście korzystamy z maila i rozmów na Skype, ale nic nie zastąpi zebrań, na których wszyscy fizycy mogą się z sobą spotkać osobiście. Takie zebrania kolaboracji odbywają się w Japonii kilka razy do roku i tam zjeżdża większość członków eksperymentu, żeby w ciągu tygodnia słuchać prezentacji, dyskutować wyniki i planować dalsze eksperymenty. W sumie eksperyment T2K działa jak niemała firma/korporacja.

Z.G-M – Jak się pani odnajduje, jako kobieta, w zespole japońskim?

Jak bardzo laboratoria na świecie są zunifikowane; czy fizycy pracują wszędzie tak samo, czy są jakieś różnice narodowe?

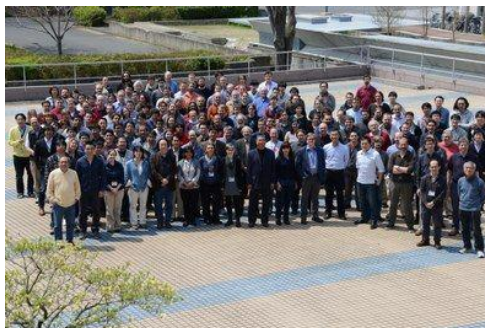
J.Z. – W eksperymencie, w którym teraz pracuję (T2K, ok. 500-osobowa kolaboracja) jest blisko 15% kobiet i wiele z nich jest bardzo aktywnych, koordynu-

jących różne analizujące grupy, Japonek jest tylko kilka. Liczne są grupy kobiet z krajów europejskich, bądź amerykańskich. W tej chwili pracuję w zespole mieszanym, zarówno z kobietami, jak i mężczyznami. W czasie pracy nad doktoratem byłam w grupie jedyną kobietą i na początku koledzy byli do mnie sceptycznie nastawieni. Niewątpliwie musiałam stale udowadniać swoją wartość i nie pozostawać w tyle. W Japonii panuje osobliwy styl pracy. Tam po prostu bardzo dużo się pracuje, od rana do nocy. Niektórzy Japończycy nawet noce spędzają czasem w pracy. Nie jest niczym wyjątkowym, że pracuje się kilka dni na bardzo wysokich obrotach praktycznie nie śpiąc. Jak człowiek chce pracować na równi, to trzeba się do takich warunków przyzwyczaić. Ja byłam jednak szczególnie traktowana, ponieważ pozwalano mi czasami na tydzień urlopu, co dla Japończyka jest chyba fanaberią. Tak właściwie oni wcale nie mają urlopu, jedynie dni świąteczne są wolne od pracy. Kobiety znacznie częściej spotykane są na stanowiskach sekretarek, niż jako równorzędne partnerki w dyskusjach (ale jak zawsze istnieją wyjątki). Muszę podkreślić, że środowisko fizyków jest bardziej elastyczne. Nie panują sztywne warunki pracy, a relacje szef–podwładny nie są takie jak w firmach.

W takich międzynarodowych kolaboracjach panuje duża rywalizacja zarówno między zespołami, jak i poszczególnymi osobami analizującymi dane: czyja analiza, wyniki pomiaru będą uznane za oficjalne i wiodące? Która analiza będzie tylko poboczna? Kogo wybiorą jako speakera na ważną konferencję? Czyj program okaże się lepszy itp. W dużej mierze liczy się też grupa i wsparcie. Obecnie niewątpliwie łatwiej nam się pracuje w polskiej grupie neutrinowej niż kiedyś mojej promotorce prof. Kielczewskiej, kiedy sama zaczynała brać udział w eksperymentach neutrinowych w Japonii. Podkreślam: praca w takich kolaboracjach, to praca zespołowa. Grupa może więcej działać.

Na zakończenie warto wspomnieć o tym, że po Nagrodzie Nobla została przyznana nagroda Breakthrough Prize in Fundamental Physics (http://www.nytimes.com/interactive/2015/11/06/science/breakthrough-prize-winners-2016.html?smid=fb-nytscience&smtyp=cur&_r=0) przez Radę Breakthrough Prize in Life Science Board, w skład której wchodzi twórcy Googla i Facebooka, między innymi Mark Zuckerberg. W tym przypadku nagroda ta przypadła wszystkim fizykom, a nie tylko szefom eksperymentów. W sumie otrzymało ją 1377 osób, w tym również nasza grupa neutrinowa z Polski. Podsumowując, bierzemy udział w docenionej dziedzinie fizyki cząstek, która się teraz dynamicznie rozwija.

Zachęcam młodzież do przyłączenia się do nas (<http://neutrino.ncbj.gov.pl/>).





Szafa gra

Marcin Strojcki

*Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni
im. Jerzego Habera PAN*

Artykuł wyróżniony III nagrodą w konkursie popularyzatorskim „Forum Akademickiego” 2014.

Jak, dzięki emisji akustycznej, usłyszeć, co w trawie piszczy, o czym szumią wierzby, co mówią rzeźby i na co narzekają historyczne meble.

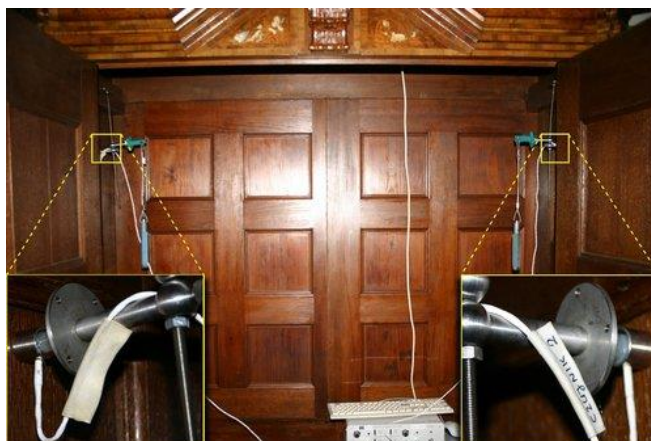
Przez miliony lat ludzkość żyła tak jak zwierzęta. Lecz nagle wydarzyło się coś, co uwolniło moc naszej wyobraźni. Nauczyliśmy się mówić i nauczyliśmy się słuchać. (...) Mowa umożliwiła przekazywanie idei, dzięki czemu ludzie, pracując razem, mogą budować niemożliwe. (...) Z technologią do naszej dyspozycji możliwości są nieograniczone. Wszystko, co musimy zrobić, to upewnić się, że cały czas rozmawiamy.

Stephen Hawking

Jak, dzięki emisji akustycznej, usłyszeć, co w trawie piszczy, o czym szumią wierzby, co mówią rzeźby i na co narzekają historyczne meble.

Po obronie doktoratu z laserowej spektroskopii dwuatomowych cząsteczek van der Waalsa, w maju 2009 roku, pełen zapału i entuzjazmu mieszającego się z pewną dozą obaw i niepokoju zacząłem (trwającą do dzisiaj) moją pracę zawodową. Pracuję w grupie badań nad dziedzictwem kultury w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk. Ten koktajl uczuć wynikał z faktu, że zagadnienia, którymi miałem się zająć, były wtedy dla mnie czymś kompletnie nowym i to pod każdym względem. Moja nowa praca miała nie mieć bowiem nic wspólnego z tym, czym zajmowałem się robiąc doktorat. Mówiąc w skrócie, mój doktorat polegał na podglądaniu najmniejszych cząsteczek dwuatomowych przy użyciu światła laserowego. Podobnie, jak szukając zagubionej rzeczy w ciemnym pokoju posługujemy się latarką, tak ja używałem światła laserowego, aby rozświetlić nieznane mroki struktury cząsteczkowej. W nowej pracy, zamiast podpatrywania cząsteczek, miałem zacząć podsłuchiwać, o czym mówią meble, obrazy i inne zabytki. I podczas kiedy inni słuchali najnowszych singli Lady Gaga czy Adele, ja chodziłem do muzeum słuchać szafy wrocławskiej oraz średniowiecznych rzeźb Madonny z Kruźlowej i Chrystusa Zmartwychwstałego. Koledzy często żartowali, pytając, co słyszeć w szafie? Zaś panie pilnujące ekspozycji w muzeum, widząc mnie z daleka, mówiły: „o, przyszedł pan do szafy”. Podobnie mój brat, uśmiechając się, zapytał kiedyś, czy już wysłuchałem całej dyskografii Madon-

ny. Wiem, że brzmi to co najmniej dziwacznie i zagadkowo, dlatego już wyjaśniam, o co chodzi. Najpierw jednak kilka słów wprowadzenia.



Szafa wrocławska oraz system monitorowania zainstalowany w jej wnętrzu. Dwa czujniki emisji akustycznej (z ang. *acoustic emission* – AE) – przyciepione do przeciwległych ścian szafy za pomocą grawitacyjnych przeciwwag. Szczegóły mocowania pokazane na zbliżeniu w ramkach

Zabytkowy naukowiec

Troska o nasze wspólne dziedzictwo kultury oraz jego ochrona była zadaniem głównie konserwatorów i kuratorów. Doświadczenie zdobywane latami, intuicja oraz znakomita sprawność manualna były najważniejszymi narzędziami wykorzystywanymi w ich codziennej pracy. Jednakże same techniczne umiejętności w wielu przypadkach okazywały się niewystarczające przy podejmowaniu słusznych, naukowo uzasadnionych decyzji dotyczących najlepszych metod ochrony unikatowych zabytków oraz bezcennych artefaktów.

W ostatnich latach nastąpiła znacząca poprawa zrozumienia konieczności rozwoju konserwacji zapobiegawczej, czyli tej, która nie dopuszcza do powstania czy też rozwoju zniszczenia lub to nieuniknione zniszczenie minimalizuje. Drugim rodzajem konserwacji jest tzw. konserwacja naprawcza, polegająca na odtworzeniu, odmalowaniu czy zakamuflowaniu powstałego uszkodzenia. Myślę, że nikomu nie trzeba tłumaczyć, dlaczego powinno się ograniczać konserwację naprawczą. Jestem przekonany, że nasze prawniki będą wolały oglądać nawet trochę zniszczone czy popękane, ale autentyczne i oryginalne dzieła Leonarda da Vinci niż pięknie wyglądające przemalowania i retusze autorstwa najlepszego na świecie konserwatora. Na szczęście środowisko muzealne zrozumiało, że rozwój konserwacji zapobiegawczej powinien być oparty nie tylko na doświadczeniu, intuicji i sprawności manualnej konserwatorów, ale przede wszystkim na solidnych i obiektywnych fundamentach naukowych. Pomocny przy tym okazał się dynamiczny rozwój nieinwazyjnych metod i narzędzi po-

miarowych, który umożliwił adaptację tych narzędzi z dziedziny nauk stosowanych oraz wprowadzenie ich do dziedziny ochrony dziedzictwa kulturowego. W efekcie, ku ogólnemu pożytkowi oraz obopólnym korzyściom obu środowisk, obserwujemy poprawiającą się z roku na rok współpracę pomiędzy środowiskami konserwatorów i naukowców.

Dlatego też, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynku oraz rosnącym potrzebom, moja grupa badawcza postawiła sobie ambitne zadanie stworzenia pomostu pomiędzy światem naukowców i światem sztuki. Można powiedzieć, że jesteśmy naukowcami od zabytków. Zajmujemy się interdyscyplinarnymi badaniami z pogranicza fizyki, chemii oraz inżynierii materiałowej, stosowanymi w obrębie nauk o sztuce. Nasza główna tematyka badawcza dotyczy procesów oraz zjawisk fizykochemicznych odpowiedzialnych za powstawanie i rozwój uszkodzeń w zabytkowych materiałach artystycznych – szczególnie drewnie, ale także kamieniu naturalnym i powłokach dekoracyjnych. Staramy się zrozumieć, dlaczego zabytki się niszczą i jak możemy spowolnić (zatrzymać się niestety nie da) tempo rozwoju tych zniszczeń. Z uwagi na fakt, że docelowymi przedmiotami naszych badań są autentyczne, historyczne i często bezcenne dzieła sztuki, musimy stosować tylko i wyłącznie nieniszczące i jak najmniej inwazyjne metody i techniki pomiarowe – od interferometrii plamkowej do emisji akustycznej, którą ja się zajmuję.

Stetoskop dla rzeźb

Czym jest emisja akustyczna i dlaczego właśnie ją wybraliśmy? Emisja akustyczna (z ang. *acoustic emission* – AE) jest obecnie jedną z lepiej rozwiniętych nieinwazyjnych technik pomiarowych, które z powodzeniem udało się (mówiąc nieskromnie, dzięki naszym wysiłkom) przenieść z „hermetycznych” laboratoriów do egzotycznego świata muzealnego. Termin „emisja akustyczna” ma dwa znaczenia. Jedno z nich używane jest do opisu zjawiska fizycznego, polegającego na powstawaniu fal mechanicznych podczas nagłego uwolnienia energii sprężystej zgromadzonej wewnątrz materiału poddanego deformacji. Uwolnienie dostatecznie dużej porcji energii może wytworzyć słyszalne fale dźwiękowe (np. łamanie szkła, pękanie drewna czy też nawet aktywność życiowa drewnojadów). Dysponując odpowiednio czułym systemem detekcji, można wykrywać bardzo subtelne drgania powierzchni obiektu wywołane najmniejszymi zmianami wewnętrznej mikrostruktury materiału. Stąd też drugie znaczenie emisji akustycznej, określające samą metodę pomiarową obejmującą detekcję, rejestrację oraz analizę tych fal. Dzięki gwałtownemu rozwojowi techniki obecnie przy użyciu AE można „podsluchiwać” najcichsze dźwięki związane ze zjawiskami na poziomie atomowym, takimi jak przemiany fazowe czy ruchy dyslokacji w metalach. Posługując się kolejnym porównaniem można powiedzieć, że dziś naukowcy używają metody AE podobnie jak lekarz stetoskopu, ultrasonografu czy elektrokardiografu.

Metoda AE jest bardzo dobrze ugruntowaną techniką monitorowania stosowaną z powodzeniem od lat w inżynierii materiałowej, np. w systemach monitorowania stanu technicznego konstrukcji (m.in. mosty, maszty, skrzydła samolotów) czy przemyśle naftowym do monitorowania szczelności zbiorników paliwowych lub rurociągów gazowych. Jednak, pomimo swej popularności i skuteczności w naukach technicznych, do tej pory właściwie nikomu poza naszą grupą nie udało się zastosować metody AE w obszarze dziedzictwa kulturowego. Nasze badania potwierdziły przydatność emisji akustycznej jako metody monitorowania szczególnie skutecznej w bezpośrednim śledzeniu intensywności pękania w drewnianych obiektach narażonych na zmiany wilgotności względnej (z ang. *relative humidity* – RH).

Gadające drewno

Drewno od wieków było wykorzystywane w dziełach sztuki z uwagi na swoje piękno, wytrzymałość, trwałość i dostępność. Jako materiał higroskopijny reaguje ono na zmiany RH w swoim otoczeniu, absorbując i desorbując wilgoć, co w konsekwencji wpływa na jego zmiany wymiarowe – pęcznienie i kurczenie się. Ograniczenie możliwości ruchu drewna może mieć szkodliwy wpływ na elementy mebli – drzwi, boki szaf i blaty, ramy lub inne rodzaje dekoracyjnych konstrukcji drewnianych mogą pękać, i co gorsze pękają pod wpływem nagłych zmian RH. Dlatego ustalenie bezpiecznych zakresów zmienności temperatury i RH dla drewnianych mebli i innych konstrukcji przechowywanych i wystawianych w muzeum jest jednym z najważniejszych zadań konserwacji zapobiegawczej.

Istnieją dwa podstawowe podejścia do ustalenia dopuszczalnych zakresów wahań klimatycznych dla obiektu wrażliwego na spowodowane klimatem uszkodzenia – analiza mechaniczna odpowiedzi obiektu na zmiany klimatu oraz analiza historycznego klimatu, do którego obiekt się zaaklimatyzował. Ograniczenia tych dwóch podejść w dokładnym przewidywaniu ryzyka uszkodzenia obiektu zabytkowego w jego specyficznym środowisku doprowadziły do poszukiwania naukowych metod bezpośredniego śledzenia uszkodzeń: nieinwazyjnych, ciągłych, ekonomicznych i zdolnych do pracy w rzeczywistych warunkach muzeów, zabytkowych budynków lub w czasie transportu dzieł sztuki. I tu właśnie z pomocą przychodzi metoda AE.

Z pewnością każdy, u kogo na podłodze w salonie czy przedpokoju położony jest drewniany parkiet, niejednokrotnie słyszał charakterystyczne trzeszczenie, które najczęściej słychać na początku zimy. Wtedy to, zazwyczaj po wilgotnym okresie jesiennym, włączane jest ogrzewanie i napęczniałe drewno zaczyna gwałtownie schnąć. Kurcząc się zaś, wydaje dźwięki. To właśnie odgłosy AE pochodzące od tzw. pracującego drewna. Używając technicznego języka, można powiedzieć, że energia uwolniona na skutek mikroruchu w strukturze materiału poddanego deformacji (spowodowanej zmianą wilgotności) przecho-

dzi przez ten materiał w postaci ultradźwiękowych i słyszalnych fal dźwiękowych i jest wykrywana na powierzchni za pomocą przetwornika piezoelektrycznego. Ponieważ fizyczne uszkodzenie materiału poprzedzone jest zauważalnym wzrostem poziomu aktywności AE, monitorowanie jej jest w stanie, dzięki cyfrowemu rejestrowaniu i przetwarzaniu poszczególnych zdarzeń AE w czasie rzeczywistym, przewidzieć makrouszkodzenie i śledzić propagację pęknięcia. I znów, posługując się metaforą, można powiedzieć, że tak jak dobry lekarz na podstawie analizy wykresu pracy serca potrafi przewidzieć zawał u pacjenta, tak my, dzięki AE, potrafimy przewidzieć pęknięcie w zabytkowym meblu czy rzeźbie.



Średniowieczna rzeźba Madonny z Kruźlowej wraz z systemem monitorowania. Zbliżenie czujnika AE przymocowanego do wnętrza dłoni

Szafa grająca

W moich badaniach metoda AE była używana do monitorowania rozwoju mikrouszkodzeń w osiemnastowiecznej szafie eksponowanej w galerii rzemiosła artystycznego w Muzeum Narodowym w Krakowie. Szafa, znacząco popękana w przeszłości, została wybrana przez pracowników muzeum jako obiekt reprezentatywny dla masywnych mebli prezentowanych w galeriach, a także szczególnie narażony na uszkodzenia wywołane zmianami klimatu. Monitorowanie AE było elementem systematycznej oceny skuteczności zarządzania klimatem,

zwłaszcza skutków niewystarczającego nawilżania powietrza w trakcie powtarzających się spadków RH w zimie. Monitorowanie prowadzono przez okres dwóch lat. Całkowita energia AE zarejestrowana w tym czasie odpowiada 12 mm^2 uszkodzonej powierzchni lub całkowitej propagacji pęknięć równej $1,2 \text{ mm}$ dla panelu o grubości 10 mm (taką grubość miał monitorowany przez nas panel). Tak małego uszkodzenia zarejestrowanego w tak długim okresie nie można zmierzyć żadną inną techniką, co świadczy o dużej skuteczności i niebywałym potencjale metody AE. Mimo że zarejestrowane całkowite uszkodzenie było bardzo małe, korelacja między zdarzeniami związanymi z pękaniem drewna oraz spadkami RH w zimie z powodu niewystarczającego nawilżania jest oczywista. Ryzyko uszkodzenia wyrażone propagacją pęknięcia zostało oszacowane ilościowo w zależności od długości trwania spadków RH związanych z czasem odpowiedzi monitorowanych elementów drewnianych. Uzyskane wyniki pozwalają ustalić akceptowane spadki RH w przypadku, gdy konserwator lub kurator ustali „akceptowalną” roczną propagację pęknięcia.

Wracając na koniec do przytoczonej na wstępie myśli jednego z najwybitniejszych astrofizyków wszechczasów, chciałoby się powiedzieć, że oprócz upewnienia się, czy cały czas rozmawiamy, powinniśmy również zadbać o to, aby cały czas nasłuchiwać.





Do czego może doprowadzić gra w pasjansa, czyli o metodach Monte Carlo w fizyce reaktorów jądrowych

Mikołaj Oettingen

*Katedra Energetyki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej
w Krakowie*

Artykuł nagrodzony I nagrodą w konkursie popularnonaukowym „Forum Akademickiego” dla młodych badaczy.

2 grudnia 1942 roku o godzinie 15.52 na nieużywanym korcie do squasha Uniwersytetu Chicagowskiego został uruchomiony pierwszy w historii ludzkości reaktor jądrowy, nazwany CP1 (Chicago Pile One), o mocy elektrycznej 0,5 wata. 16 lipca 1945 roku o godzinie 5.29.45 pustynią Alamogordo w Nowym Meksyku oświetlił intensywny blask, do tej pory obserwowany jedynie w świetle gwiazd – pomyślnie zakończyły się prace nad pierwszą bombą atomową. W listopadzie tego samego roku dokonano pierwszych na świecie obliczeń za pomocą maszyny elektronicznej o wdzięcznej nazwie ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), co zapoczątkowało erę komputerów. Rok później Stanisław Ulam układał pasjansa.

Pierwsze trzy wydarzenia miały kolosalny wpływ na rozwój współczesnej nauki i techniki, czego skutki, po prawie 70 latach, wciąż odczuwamy w codziennym życiu. Ale czwarte? Co wspólnego ma z tym polski matematyk pochodzący ze Lwowa, a tym bardziej jego zamiłowanie do układania pasjansa i do gier hazardowych? Czy miało ono wpływ na kształtowanie się współczesnej cywilizacji? Co wiąże osławionego „ulamowskiego” pasjansa z moją pracą naukową?

Za mną, czytelniku, poczuj się jak Tezeusz szukający wyjścia z labiryntu Minotaura, a niech ten artykuł będzie twoją nicią Ariadny i niech prowadzi cię do rozwiązania zagadki!

Pierwsza rozgrywka

Gdzież w tej układance miejsce dla doktoranta? Poszedłem „ulamowską drogą”. Moim głównym obszarem badawczym jest dział fizyki reaktorów jądrowych, określane jako neutronika lub analiza neutronowa. Zajmuje się on zagadnieniami transportu cząstki elementarnej zwanej neutronem w rdzeniu reaktora jądrowego. Przez ostatnie pięć lat badałem zachowanie wielu reaktorów jądrowych różnego typu za pomocą metod Monte Carlo – chwila cierpliwości, wyjaśnię je dalej.

Moja przygoda zaczęła się podczas pisania pracy magisterskiej. Przygotowałem ją w ramach międzynarodowego projektu, a dotyczyła ona analizy bezpieczeństwa jądrowego reaktora wysokotemperaturowego, przeznaczonego do produkcji ciepła przemysłowego dla szerokiego spektrum procesów technologicznych. Tutaj pierwszy raz otrzymałem dostęp do komputerów wysokiej mocy obliczeniowej i spotkałem się z pasjonującym światem symulacji numerycznych. Otworzyła się przede mną możliwość uczestniczenia w czymś niepospolitym, niezwykle ważnym, po prostu – innym, przecież nie każdy dostaje szansę zaprojektowania reaktora jądrowego.

Postanowiłem iść za ciosem i w niedługim czasie zdałem pomyślnie egzaminy na studia doktoranckie w dziedzinie technicznej fizyki jądrowej. Przez pierwsze dwa lata szlifowałem swoją wiedzę z zakresu metod Monte Carlo. W tym czasie brałem udział w kolejnym międzynarodowym programie badawczym, mającym na celu zaprojektowanie innowacyjnego reaktora jądrowego, tym razem chłodzonego ciekłym ołowiem. Pierwowzorem tego systemu były reaktory napędzające rosyjskie łodzie podwodne. Pracowałem nad zamianą technologii o wojskowych korzeniach na technologię zapewniającą energię elektryczną tysiącom gospodarstw domowych. Wtedy myślałem, że prawdopodobnie osiągnąłem szczyt marzeń każdego doktoranta. Czy jednak na pewno?

Prolog

W 1942 roku, na polecenie prezydenta F.D. Roosevelta, rozpoczęto amerykański program mający na celu opracowanie bomby jądrowej – projekt Manhattan. Jednym z głównych obszarów badań naukowych, nad którymi pracowali najlepsi fizycy i matematycy świata, były zagadnienia związane z transportem promieniowania w systemach jądrowych, takich jak rdzeń reaktora jądrowego. Naukowcy poszukiwali metody rozwiązania równania transportu promieniowania dla neutronów. Dlaczego neutrony, a nie inne cząstki elementarne? Interakcje neutronów z jądrami pierwiastków ciężkich, takich jak uran, powodują proces rozszczepienia, czego skutkiem jest uwolnienie względnie dużej ilości energii. W przypadku reaktora jądrowego energia ta jest następnie odbierana przez chłodziwo i najczęściej przetwarzana na energię elektryczną.

Praca naukowców nie poszła na marne. Równanie udało się rozwiązać za pomocą tzw. metod deterministycznych. W najprostszej formie sprowadzają się one do bezpośredniego analitycznego rozwiązania naszego równania dla uśrednionego zachowania neutronów w danym systemie. Metody te nie wymagają komputerów dużej mocy obliczeniowej z powodu relatywnie krótkiego czasu symulacji. Jednak słowo klucz to „uśrednione zachowanie”. Jeżeli coś jest uśrednione, to matematyczny opis tego zjawiska nie uwzględnia wszystkich efektów, lecz przyjmuje, że wykorzystane wartości średnie są reprezentatywne dla całego systemu – może to prowadzić do otrzymania niepoprawnych wyników obliczeń. Alternatywą metod deterministycznych są metody Monte Carlo.

Druga rozgrywka

Podczas trzeciego roku studiów doktoranckich zostałem zaproszony na roczny staż naukowy w Instytucie Energii Komisji Europejskiej, Wydział Bezpieczeństwa Przyszłych Reaktorów Jądrowych. Kolejne marzenie stało się rzeczywistością – po raz pierwszy w życiu rozpocząłem pracę ściśle związaną z działaniem prawdziwego reaktora jądrowego. Moim zadaniem było zbudowanie numerycznego modelu reaktora wysokostrumieniowego, który znajduje się w Petten w Holandii. W reaktorze wykonywano eksperymenty naświetlania innowacyjnego paliwa jądrowego. Kapsułki z paliwem zostały wprowadzone do rdzenia. Symulacje numeryczne miały pokazać wpływ ich obecności na pracę reaktora. Miały one również wykazać, czy wyprodukowane paliwo spełnia kryteria bezpieczeństwa i nadaje się do użycia w komercyjnych reaktorach jądrowych. Z pasją zacząłem opracowywać model numeryczny do symulacji Monte Carlo.

Moja praca nad modelem reaktora i towarzyszące jej obliczenia zostały nagle przerwane 11 marca 2011 roku. Tego dnia 15-metrowa fala tsunami, następstwo potężnego trzęsienia ziemi, przelała się przez mury zaporowe japońskiej elektrowni jądrowej Fukushima. Świat patrzył z trwogą na zmagania Japończyków z nieokiełznanymi reaktorami. Zostałem powołany do grupy roboczej, mającej na celu określenie potencjalnego wpływu awarii na środowisko naturalne. Zadanie zostało wykonane po niespełna tygodniu nieustannej pracy. Może nie uratowałem świata, ale wniosłem nieznaczny wkład do oszacowania skutków awarii. Niezapomniana satysfakcja.

Mistrz

Stanisław Ulam, przedstawiciel lwowskiej szkoły matematycznej, był jednym z uczonych pracujących nad rozwojem broni jądrowej w ramach projektu Manhattan. Pewnego razu, układając pasjansa, zadał sobie proste pytanie: jaka jest szansa ułożenia pasjansa z rozdanych kart? Szansę tę można oczywiście określić za pomocą zaawansowanych obliczeń kombinatorycznych, lecz czy nie istnieje prostszy sposób? Można przecież rozłożyć karty np. 100 razy i po prostu policzyć, ile razy udało się ułożyć pasjansa. W ten właśnie sposób powstała idea opisu zagadnień transportu neutronów poprzez proces statystyczny, składający się wyłącznie z szeregu zdarzeń losowych. Podejście to stanowiło alternatywę metod deterministycznych. Nowa metoda charakteryzowała się prostymi podstawami teoretycznymi, zrozumiałymi praktycznie dla każdego i co najważniejsze nie wymagała żadnych uśrednień i uogólnień w matematycznym opisie systemu. Została nazwana Monte Carlo przez analogię z mekką hazardzistów, dzielnicą Monako.

Dobrze, ale czy nawet najwytrwalszy gracz jest w stanie w szybkim tempie ułożyć 100 partii pasjansa? Po opracowaniu teoretycznych podstaw metody Monte Carlo Stanisław Ulam zdał sobie sprawę, że nadają się one idealnie do

obliczeń na pierwszym komputerze, ENIAC-u. W niedługim czasie metoda została przetransformowana na program komputerowy (w formie perforowanych kart) rozumiany przez pierwszy komputer, symulacje ruszyły i trwają do dnia dzisiejszego. Obecnie metody Monte Carlo są używane nie tylko w modelowaniu zagadnień związanych z transportem neutronów, ale również z ekonomią i finansami, informatyką, matematyką, biologią oraz wieloma działami fizyki i inżynierii. Zaletą metody są jej proste podstawy matematyczne, wymaga ona jednak komputerów wysokiej mocy obliczeniowej.

Trzecia rozgrywka

Po powrocie z Holandii postanowiłem skupić się na przygotowaniu rozprawy doktorskiej. Niestety okazało się to niemożliwe, życie zweryfikowało moje plany. Jako jeden z laureatów rządowego programu stypendialnego zostałem wysłany do „miejsca początku”. Moja podróż zawiodła mnie do słonecznej Kalifornii, na Uniwersytet Kalifornijski Berkeley. Pamiętam, że w momencie otrzymania informacji o wyjeździe czułem się jakbym wygrał główną nagrodę na loterii – czysta euforia. To właśnie naukowcy z Uniwersytetu Kalifornijskiego Berkeley w latach czterdziestych XX wieku odkryli kilka nowych pierwiastków, m.in. neptun i pluton. Odegrali oni również kluczową rolę w projekcie Manhattan.

Obecnie na samym uniwersytecie nie prowadzi się prac związanych ściśle z inżynierią czy fizyką jądrową. Uniwersytet zarządza jednak dwoma laboratoriami nuklearnymi, gdzie takie prace są prowadzone do dnia dzisiejszego: Narodowe Laboratorium Lawrence Livermore i Los Alamos. Pierwsze z nich miałem zaszczyt odwiedzić i zapoznać się z unikatowym reaktorem fuzji termojądrowej, czyli urządzeniem pozwalającym okiełznać energię gwiazd. Poznając inne środowiska naukowe, nie rozstawałem się ze swoim problemem badawczym – metody Monte Carlo nadal mi towarzyszyły.

Wygrana

Obecnie pracuję nad dokończeniem rozprawy doktorskiej. Jej tematem jest porównanie składu zużytego paliwa jądrowego otrzymanego na drodze eksperymentu ze składem uzyskanym podczas numerycznej symulacji Monte Carlo. Wyniki są obiecujące. Wieczorami zastanawiam się, co zyskałem podczas pięciu lat poruszania się w pasjonującym świecie metod Monte Carlo. W mojej dotychczasowej pracy naukowej mentalnie i fizycznie podążałem śladami mistrza Ulama. Niewątpliwie jego wygraną było opracowanie metody, która jest obecnie używana do rozwiązywania wielu skomplikowanych problemów z różnych dziedzin nauki i techniki.

Co jednak jest moją wygraną? Może sposobność pracy w dziedzinie naukowej uważanej za szalenie skomplikowaną? Może kontakty, które nawiązałem,

biorąc udział w międzynarodowych projektach badawczych? A może szansa na prowadzenie badań w wiodących ośrodkach naukowych? Myślę, że prawdziwej wygranej należy szukać w samym człowieku. W moim przypadku jest to satysfakcja ze spełnienia marzeń. Jednak każda wygrana obarczona jest pewnym brzemieniem – wyboru dalszej drogi.

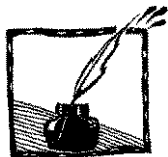
Epilog

Do czego zatem może doprowadzić układanie pasjansa? Nie udzielę na to pytanie jednoznacznej odpowiedzi, lecz zacytuję słowa samego mistrza Stanisława Ulama: „Wciąż jest dla mnie źródłem nieustającego zdziwienia, że kilka znaków nagryzmołonych na tablicy lub na kartce papieru może zmienić bieg ludzkich spraw”.



Od Redakcji:

Polecamy książkę Stanisława Ulama *Przygody Matematyka*, Wyd. Prószyński i S-ka. Pasjonująca lektura, dwa wydania zostały jednak już niemal wyczerpane.



O kilku anachronizmach w nauczaniu fizyki

Marcin Braun

Kiedy byłem uczniem, moje zdumienie wzbudzały niektóre dziwaczne, choć prawdziwe, informacje. Dopiero później, czytając o historii nauki, zacząłem rozumieć, skąd się wzięły w nauczaniu. W tym artykule omawiam kilka przykładów.

Siły spójności i siły przylegania

Czy warto poświęcać cenny czas lekcji na wprowadzanie tak drobiazgowej klasyfikacji sił? Czy nie wystarczy mówić „siły międzycząsteczkowe”, dodając w razie potrzeby „między ... a ...”? A jeśli wystarczy, to skąd przywiązanie wielu nauczycieli do gnębienia uczniów dwoma kolejnymi pojęciami? Szczycimy się przecież tym, że – w odróżnieniu od biologii czy geografii – w fizyce nie ma dużo materiału pamięciowego.

Sprawę wyjaśnić może dopiero historia nauki. Pojęcia sił spójności i przylegania wprowadzono, zanim jeszcze wiadano, jaka jest ich fizyczna natura. Nie znano cząsteczek¹, trudno byłoby więc mówić o „siłach międzycząsteczkowych”.

Rzecz jasna, nie jest to żaden argument za nauczaniem o nich i dzisiaj. Przeciwnie, gdy rozumiemy, że pojęcie należy do dawnego obrazu świata, nieuwzględniającego dzisiejszej wiedzy, wiemy także, że nie warto o nim wspominać w szkole. Zdecydowanie lepiej poświęcić ten czas na wyjaśnienie, że siły międzycząsteczkowe to oddziaływania elektromagnetyczne (młodszym uczniom wystarczy określenie: elektryczne). W ten sposób pokazujemy potęgę i główny cel fizyki – jednolite wyjaśnianie różnych zjawisk.

Prawo Mariotte’a, Joule’a-Lenza...

Skoro nie stawiamy na wiedzę pamięciową, czemu tak wiele różnych faktów fizycznych ma swoje nazwy? Z równania gazu doskonałego można wysnuć trzy oczywiste wnioski (dla $p = \text{const}$, $T = \text{const}$, $V = \text{const}$), a każdy z nich nosi nazwę upamiętniającą średnio 1,67 wybitnego uczonego. Zależność $P = I^2 R$, prosty wniosek z definicji napięcia i prawa Ohma, nosi nazwiska aż dwóch fizyków. Czy rzeczywiście potrzeba było geniusza, aby dokonał przekształcenia wzorów dostępnego dziś dla bardziej rozgarniętego gimnazjalisty?

¹ Dopiero prace Smoluchowskiego i Einsteina o ruchach Browna ostatecznie przekonały fizyków o istnieniu cząsteczek. A był to rok 1905!

Oczywiście, że nie!

Robert Boyle prowadził swoje badania w roku 1662, skądinąd właściwego odkrycia dokonali jego współpracownicy. Edmé Mariotte powtórzył ten wynik kilkanaście lat później. Tymczasem kinetyczna teoria gazów stworzona została dopiero w XIX wieku, a powszechnie przyjęta w wieku XX.

Dopóki prawo Boyle'a-Mariotte'a było niezależnym, fenomenologicznym faktem, musiało się jakoś nazywać. Dziś jednak stanowi prosty wniosek z równania Clapeyrona, po cóż więc mielibyśmy obciążać pamięć uczniów kolejną nazwą, w dodatku sprzeczną z wiedzą historyczną²?

W przypadku prawa Joule'a-Lenza mamy tę pociechę, że nazwano je na cześć faktycznych odkrywców³, z punktu widzenia dydaktyki sytuacja jest jednak identyczna. Zależność mocy od natężenia prądu można wyznaczyć ze znanych praw, po co więc dodatkowa nazwa do pamiętania?

Pamiętajmy, że **istotą fizyki jest wyjaśnianie jak największej liczby zjawisk za pomocą niewielu praw**. Wprowadzając nazwy dla faktów, które dziś są zaledwie wnioskami z ogólniejszych (i znanych uczniom!) zależności, nie tylko obarczamy ich zbyteczną wiedzą pamięciową, ale po prostu źle pokazujemy, czym jest fizyka.

Co wynalazł Łukasiewicz?

Lampę naftową! – odpowie znaczna część społeczeństwa. Tak mówili w szkole. I mówili prawdę, tyle że jeśli nawet uczeń widział taką lampę w muzeum, i tak zostanie mu przekonanie, że polski aptekarz był autorem wynalazku należącego dziś do historii.

Tymczasem Ignacy Łukasiewicz wynalazł destylację ropy naftowej. Bez jego pomysłu nie byłoby benzyny ani oleju napędowego. Nie zbudowano by silnika spalinowego, a więc także samochodów, samolotów, motocykli, nie wspominając drobniczy w rodzaju kosiarek i pił motorowych. Nafta jako paliwo do lamp stała się pierwszym zastosowaniem pochodnych ropy, z perspektywy historii widzimy jednak, że była to sprawa drugorzędna.

Sto lat temu każde dziecko widziało lampę naftową, a mało które automobil, nie więc dziwnego, że o wynalazku Łukasiewicza mówiło się w takim kontekście. Dziś sytuacja jest przeciwna, szkoda tylko, że edukacja za tym nie nadąży. Zwłaszcza że w wypadku młodszych uczniów, gdy określenie „destylacja ropy naftowej” jest zbyt trudne, można mówić, że Łukasiewicz wymyślił, jak produkować benzynę, a bez niego nie byłoby motoryzacji.

² Jak już pisałem, Boyle sam nie odkrył „swojego” prawa, a co do Mariotte'a, to od razu powątpiewano w niezależność jego badań, skoro wyniki zespołu Boyle'a były od dawna znane.

³ Oryginalną pracę Joule'a możemy znaleźć pod adresem <https://books.google.com.au/books?id=hJEOAAAIAAJ&pg=PA260&hl=pl#v=onepage&q&f=false>.

1 : 3 : 5 : ...

Jest oczywiście prawdą, że drogi pokonywane w kolejnych jednakowych odcinkach czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym tworzą taką właśnie proporcję. Ale dlaczego uważać ją za coś szczególnie ważnego? Okazuje się, że w tym przypadku sięgniemy w głąb historii jeszcze dalej – do średniowiecza.

Otóż jednym z ważnych, choć nieco już zapomnianych matematyków tego okresu był Mikołaj Oresme. To właśnie on stworzył pojęcie funkcji i jej wykresu⁴. Między innymi rysował coś, co my nazwalibyśmy wykresem $v(t)$ w ruchu jednostajnie przyspieszonym, zauważył, że droga równa jest polu pod wykresem, a stąd wyciągnął wniosek o proporcji 1 : 3 : 5 : ...

Gdy Galileusz zaczął badać spadek swobodny, skorzystał z tego właśnie kryterium, aby upewnić się, że ma do czynienia z ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Tylko jakie to wszystko ma znaczenie dzisiaj?

Eudoksos i równe drogi

Tyle było o historii, a jeszcze nie powiedziałem „już starożytni Grecy...” Pora to nadrobić.

Otóż już starożytni Grecy wiedzieli, że piękno świata wyraża się w liczbach. W każdym razie sądzili tak za czasów Pitagorasa. Niestety, wkrótce odkryli niewymierność, a ponieważ „liczbami” nazywali tylko liczby naturalne większe od jedności(!), w ich języku proporcja przekątnej kwadratu i jego boku nie wyrażała się stosunkiem liczb. Ta pożałowania godna sytuacja doprowadziła do powstania teorii proporcji Eudoksosa⁵.

Teoria ta stanowiła niewątpliwie wielkie dzieło abstrakcyjnego rozumowania, była jednak na tyle skomplikowana, że niektórzy historycy widzą w niej jedną z przyczyn upadku matematyki greckiej – na tym poziomie abstrakcji trudno było pracować.

Zgodnie z jednym z aksjomatów Eudoksosa porównywać można tylko wielkości jednego rodzaju. Nie możemy więc tworzyć proporcji z drogi i czasu. Dzieląc 10 m przez 5 s, pytamy, ile razy 10 m jest większe od 5 s, a przecież to nie ma sensu! Porównywać możemy za to bezwymiarowe proporcje, np. (proporcję drogi do jednostki długości) z (proporcją czasu do jednostki czasu).

Teoria Eudoksosa spisana została w *Elementach* Euklidesa i cieszyła się takim poważaniem, że przez wieki zdania formułowano w postaci „w dwa razy większym czasie ciało przebywa dwa razy dłuższą drogę”. Tak sformalizowany język dawno zarzucono, do dziś jednak można spotkać się z zabytkową definicją: „ruch jednostajny to taki ruch, w którym w jednakowych przedziałach cza-

⁴ Już wcześniej ktoś miał podobny pomysł, ale prace Mikołaja Oresme miały największe znaczenie.

⁵ Zainteresowanych odsyłam do *Historii matematyki* Marka Kordosa.

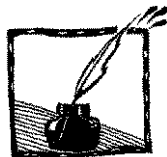
su ciało przebywa jednakowe drogi”. Drogę porównujemy tylko z drogą, czas tylko z czasem. Eudoksos byłby zachwycony.

Ta definicja pozwala zdefiniować ruch jednostajny, nie odwołując się do pojęcia prędkości. Tylko komu miałyby to być potrzebne? Licealiści z rozszerzenia może doceniliby ścisłość, ale oni od dawna wiedzą, co to jest prędkość. Gimnazjaliści z kolei nie rozumieją, dlaczego brak formalnej definicji prędkości miałby być przeszkodą w posługiwaniu się tym pojęciem, doskonale znanym im z życia codziennego. Definicja „eudoksosowa” tylko zaciemnia banalnie proste pojęcie, które można bez problemu wyjaśnić jako „ruch ze stałą prędkością”.

Refleksja ogólna

Podobnych anachronizmów można z pewnością znaleźć więcej, moim celem nie było wymienienie wszystkich. Chciałem tylko zwrócić uwagę, że trzeba się zastanawiać nad celem nauczania poszczególnych zagadnień, nawet jeśli „tak się zawsze robiło”. Może się bowiem okazać, że dzisiaj akcenty należy rozłożyć zupełnie inaczej.

Marcin Braun jest jednym z autorów podręczników *Na tropach przyrody* dla szkoły podstawowej, *To jest fizyka* dla gimnazjum, *Odkryć fizykę* dla zakresu podstawowego szkoły ponadgimnazjalnej oraz *Zrozumieć fizykę* dla zakresu rozszerzonego.



Komentarz do artykułu „O kilku anachronizmach w nauczaniu fizyki”

Zofia Gołqb-Meyer

Marcin Braun poruszył ważny w dydaktyce fizyki temat, dotyczący wpływu historii fizyki na nauczanie. Napisał: „Pamiętajmy, że **„istotą fizyki jest wyjaśnianie jak największej liczby zjawisk za pomocą niewielu praw”**. I dalej: „Wprowadzając nazwy dla faktów, które dziś są zaledwie wnioskami z ogólniejszych (i znanych uczniom!) zależności, nie tylko obarczamy ich zbyteczną wiedzą pamięciową, ale po prostu źle pokazujemy, czym jest fizyka”. Główny atak Marcina Brauna skierowany jest przeciwko historycznym naleciałościom w nauczaniu, przeciwko ustalonej tradycji. Ponieważ kiedyś tak uczono, to po latach czyni się podobnie. Redakcja (Z.G-M) jednak zamierza polemizować z niektórymi stwierdzeniami autora. Choć trudno się nie zgodzić z jego poglądem dotyczącym istoty fizyki, to jednak wniosek z tego płynący jest niekoniecznie poprawny.

Autor, choć wytrawny i doświadczony nauczyciel, jakby nie zauważał istniejącego konfliktu pomiędzy współczesnym opisem rzeczywistości a historyczną, niekiedy dramatyczną drogą dochodzenia do niego. Zapomina, że zgodnie z ugruntowaną psychologią genetyczną Piageta, dzieci i młodzież (ludzie) w swoim rozwoju osobniczym, w eksploracji i rozumieniu świata jakby powtarzają najeżoną przeszkodami drogę rozwoju ludzkości. Droga od ogółu do szczegółu jest obca dzieciom i młodzieży. Jest wprawdzie „ekonomiczna czasowo”, jest estetyczna, ukazuje od razu potęgę fizyki, ale jest nieprzyswajalna. Może powodować alienację fizyki, oderwanie od tłumaczenia otaczającej rzeczywistości. Kurczowe trzymanie się drogi historycznej w nauczaniu też jest błędne. Nasz świat jest inny, niż ten, choćby tylko sto lat temu. Nie ma idealnej recepty na całokształt nauczania fizyki. Wszystkie przypadki są warte przedyskutowania.

Argument Marcina Brauna przeciwko wprowadzaniu historycznych nazw na poszczególne prawa też wymaga rozpatrzenia każdego przypadku z osobna, bo przecież nikt nie chce uczniów przeciążać nadmiarem encyklopedycznych wiadomości, których ogrom może blokować myślenie. Z drugiej strony nazwy ułatwiają komunikację i poruszanie się po źródłach informacji, takich jak internet czy encyklopedie. Budują także ogólną kulturę. Informacja dotycząca np. nazw jednostek, takich jak niuton, wolt, amper czy dżul, i ich pochodzenia od nazwisk wielkich fizyków, związanych ze zjawiskami dotyczącymi tych jednostek, „humanizuje” fizykę, wnosi istotne informacje do zrozumienia historii naszej cywilizacji. Uważamy, że to jest bardzo ważne w zatomizowanej, zawie-

rającej niezwiązane z sobą fragmenty, wiedzy. Nawet, jeśli nie jest to wiedza w bardzo wąskim sensie użyteczna, to w szerszym, społecznym jest niezmiernie potrzebna.

Rozpatrzmy cytowane przez Marcina Brauna niektóre przypadki.

Siły spójności i siły przylegania. Jesteśmy za używaniem tych terminów. Pojawiają się one na bardzo wstępnym etapie nauczania. Nazwy kryją w sobie istotę zjawiska. Właściwie niepotrzebna jest definicja, tylko przykłady, kiedy się te siły obserwuje.

Siły międzycząsteczkowe tłumaczą zjawisko przylegania i fakt, że są one natury elektrycznej jest już następnym etapem w nauczaniu. Nie jest zresztą proste tłumaczenie, czemu neutralne drobiny się przyciągają. Nikt rozsądny jednak nie zaczyna omawiania sił spójności od sił van der Waalsa.

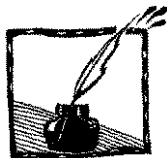
Prawa gazowe. Marcin Braun ma rację. Podawanie w nazwach praw aż sześciu nazwisk uczonych jest faktyczne przesadą. Trzeba jednak pamiętać, iż złudne jest przekonanie iż nazwy przemian izobarycznej, izochorycznej, izotermicznej i adiabatycznej są samonośne, zrozumiałe. Znajomość tych słów greckiego pochodzenia jest nikła. Warto je zatem wprowadzić i mieć „jak w banku” przy innych okazjach, nie tylko na lekcjach fizyki.

Nauki elektromagnetyzmu nie rozpoczniemy od praw Maxwella, choć uporządkowałyby to naukę. Rozważalibyśmy następnie poszczególne przypadki. Jednakże niektórzy studenci właśnie w takim podejściu mają trudności poznawcze. Dlatego zaczyna się naukę od wprowadzania w poszczególne zjawiska i prawa. Jest użyteczne pamiętanie prawa Ohma, łącznie z nazwą. Są przewodniki ohmowe i nieomowe.

Możemy dyskutować, czy pamiętanie nazwy prawa Hooke'a jest potrzebne, ale pamiętanie nazwy prawa Archimidesa, Euklidesa i praw Newtona wchodzi w kanon wiedzy powszechnej. Galileusza, Keplera i Kopernika też raczej nie wyrzucimy na śmietnik, choć niekoniecznie musimy uczyć uczniów reguły, jak ja nazwał Marcin Braun, 1:3:5.

Stuprocentową rację ma Marcin Braun, kiedy cytuje kiepskie nauczanie o Łukasiewiczu czy niedydaktyczne nauczanie kinematyki.

Jeśli nauczanie fizyki nie ma się ograniczyć do zbioru użytecznych wiadomości, tylko ma być zintegrowane z całością, również humanistycznego oglądu na świat, powinno zawierać elementy historii i częściowo – historyczną drogę odkryć w fizyce, właśnie po to, by pokazać prawdziwe oblicze fizyki.



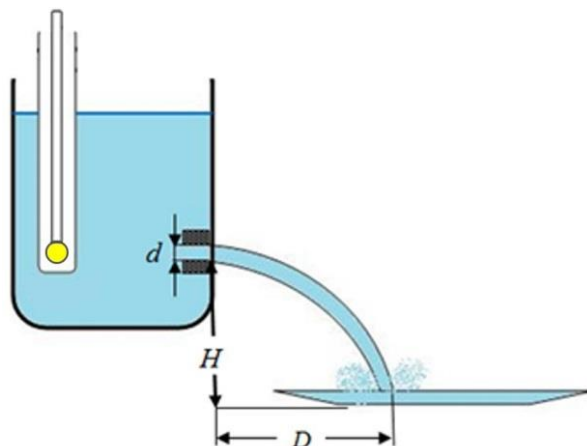
Wyznaczanie współczynnika załamania wody z badania światłowodu wodnego

Zadanie z XX Olimpiady fizycznej 1970/1971¹

Opracował Tadeusz Molenda

Zawody Stopnia I, zadanie doświadczalne

W ścianie szerokiego, nieprzezroczystego naczynia zrób otwór. Zatkań go korkiem z wstawioną weń rurką o przekroju kołowym ($d \sim 0,5$ cm). Wewnątrz naczynia, na przedłużeniu osi rurki umieść źródło światła (rys. 1). Może nim być żaróweczka zasilana z bateryjki lub transformatora².



Rys. 1

Do tak przygotowanego naczynia wlej wodę i pozwól jej wypływać równym strumieniem np. do podstawionej niżej kuwety. Początkowo, gdy zasięg strumienia jest duży, światło biegnie dokładnie wzdłuż strumienia, dając na dnie

¹ Zadanie zostało udostępnione z bazy zadań Olimpiady Fizycznej w Szczecinie i dla *Fotonu* przygotowane przez przewodniczącego Komitetu Okręgowego OF w Szczecinie dra Tadeusza Molendę.

Zadanie wraz z rozwiązaniem zostało opublikowane w zbiorze „Olimpiada Fizyczna XIX i XX”, WSiP, Warszawa 1974, s. 123–128, przez Waldemara Gorzkowskiego, ówczesnego sekretarza naukowego z Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej.

Zadania z olimpiad fizycznych są na ogół oryginalne. Pomysły pochodzą z różnych źródeł, składanych również przez nauczycieli i samych zawodników olimpiady. Propozycje zadań były zmieniane w wyniku dyskusji w Komitecie Głównym OF i często nie przypominają tekstu „pomysłodawcy” (przyj. – T. Molenda, Instytut Fizyki, Uniwersytet Szczeciński).

² Obecnie byłoby powszechnie dostępne źródło światła z lasera (przyj. – T. Molenda).

kuwety jasną plamkę. Gdy zasięg zmniejszy się poniżej pewnej wartości, światło zaczyna uciekać ze strumienia na boki, co można zaobserwować na ekranie ustawionym w pobliżu strugi wody.

- a) Wyjaśnij obserwowane zjawisko.
- b) Wyznacz współczynnik załamania wody na podstawie pomiarów średnicy strumienia d , zasięgu strumienia D , przy którym światło zaczyna uciekać ze strumienia oraz wysokości H .
- c) Oszacuj niepewność wyniku i porównaj otrzymaną wartość współczynnika załamania z wartością podaną w tablicach. Jeżeli wartość, którą otrzymałeś, różni się od wartości tablicowej, to wyjaśnij przyczynę tego faktu.
- d) Jak można ulepszyć opisany układ doświadczalny?

Uwaga: Źródło światła powinno znajdować się w pewnej odległości od końca rurki tak, aby można było przyjąć, że do rurki wpada równoległa wiązka światła. Jeżeli do zasilania żarówki korzystasz z transformatora, nie używaj napięcia wyższego niż 30 V (ze względów bezpieczeństwa). Doświadczenie wykonaj w zaciemnionym pomieszczeniu.

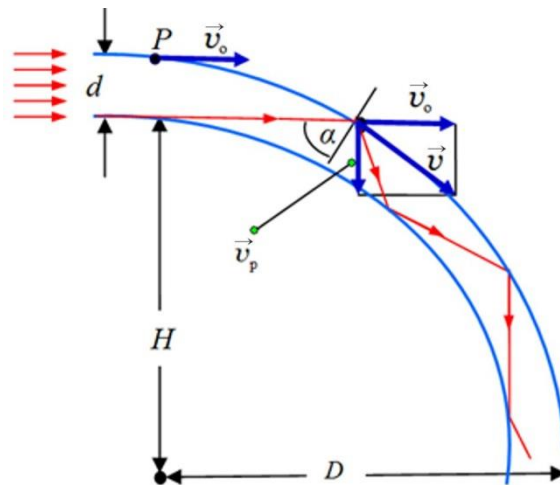
Rozwiązanie

Światło wyjdzie ze strumienia, jeżeli padnie na powierzchnię strumienia od wewnątrz pod kątem mniejszym od kąta granicznego. Początkowo, gdy zasięg strumienia jest duży, światło podczas kolejnych odbić od powierzchni strumienia pada pod kątami większymi od kąta granicznego. Dzięki temu nie może ono wyjść ze strumienia, mimo że jest on wygięty. W efekcie światło wraz ze strumieniem pada na dno kuwety dając jasną plamkę (rys. 2). Strumień prowadzi światło. Mówimy, że jest on światłowodem.

Uchodzenie światła na boki zacznie się wtedy, gdy kąt zaznaczony na rysunku, będzie równy kątowi granicznemu. Łatwo bowiem zauważyć, że podczas pierwszego odbicia kąt padania jest najmniejszy, gdyż nachylenie krzywych ograniczających strumień wzrasta w miarę oddalania się od końca rurki.

W celu wyprowadzenia potrzebnych zależności założmy, że każdy mały element cieczy porusza się niezależnie od innych, tj. że każdy element cieczy po opuszczeniu rurki porusza się tak, jak przy rzucie poziomym z prędkością początkową równą prędkości wypływającej cieczy v_0 . Ścisłe biorąc, założenie to nie jest zupełnie słuszne: gdyby poszczególne elementy cieczy poruszały się w ten sposób, to ich ruch względny musiałby być ruchem jednostajnym. Poszczególne elementy cieczy musiałyby się oddalać od siebie, a to przy stałym przekroju strumienia nie byłoby możliwe bez jego rozerwania. Z obserwacji strumienia wody wypływającej z rurki widać, że – poza niewielkim obszarem tuż przy wylocie rurki – zmiana szerokości strumienia jest prawie niedostrzegalna, co świadczy o tym, że odstępstwa spowodowane niespełnieniem naszego założenia są małe i poza obszarem tuż przy wylocie można je zaniedbać. Za-

gadnienie szerokości strumienia omówimy dokładnie przy dyskusowaniu wyniku, tymczasem dla prostoty założmy, że strumień ma stałą szerokość równą szerokości rurki.



Rys. 2

Weźmy pod uwagę element cieczy P poruszający się w górnej części strumienia. Zgodnie z naszym założeniem element ten porusza się tak, jak podczas rzutu poziomego z prędkością v_0 . W miejscu, gdzie odbija się skrajny dolny promień wpadający przez rurkę do strumienia, element ten ma prędkość v , której składowa pozioma wynosi v_0 (w kierunku poziomym ruch jest jednostajny), a wartość pionowej składowej $v_p = \sqrt{2gd}$ (w pionie ruch naszego elementu cieczy jest jednostajnie przyspieszony z przyspieszeniem g i zerową prędkością początkową).

Prędkość \vec{v} jest styczna do strumienia, zatem kąt między wektorami \vec{v}_p i \vec{v} musi równać się kątowi padania α rozpatrywanego promienia na powierzchnię strumienia. Mamy więc

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_0}{\sqrt{2gd}}.$$

Uciekanie światła ze strumienia zaczyna zachodzić wtedy, gdy kąt α staje się równy kątowi granicznemu α_{gr} dla powierzchni granicznej woda–powietrze. Zatem

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{gr}} = \frac{v_0}{\sqrt{2gd}}.$$

Zasięg strumienia w rozpatrywanym przypadku granicznym wynosi

$$D_{\text{gr}} = v_0 t,$$

gdzie t jest czasem, po jakim nasz element cieczy osiągnie dno kuwety, licząc od chwili opuszczenia przezeń rurki. Ponieważ w kierunku pionowym mamy swobodny spadek z prędkością początkową równą zero, zatem

$$t = \sqrt{\frac{2(H+d)}{g}},$$

czyli

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}},$$

gdź $d \ll H$. Podstawiając to do wzoru na D_{gr} otrzymujemy:

$$D_{\text{gr}} = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} = 2\sqrt{dH} \frac{v_0}{\sqrt{2gd}} = 2\sqrt{dH} \operatorname{tg} \alpha_{\text{gr}}.$$

Stąd

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{gr}} = \frac{D_{\text{gr}}}{2\sqrt{dH}}.$$

Mając $\operatorname{tg} \alpha_{\text{gr}}$ bez trudu możemy obliczyć $\sin \alpha_{\text{gr}}$

$$\sin \alpha_{\text{gr}} = 1 / \sqrt{1 + \frac{4dH}{D_{\text{gr}}^2}}.$$

Ale jak wiemy, musi zachodzić związek

$$\sin \alpha_{\text{gr}} = \frac{1}{n},$$

gdzie n oznacza współczynnik załamania światła dla wody, a zatem

$$n = \sqrt{1 + \frac{4dH}{D_{\text{gr}}^2}}.$$

Tak więc, mierząc d (suwmiarką), H oraz D_{gr} (linijką) i stosując powyższy wzór możemy wyznaczyć współczynnik załamania wody n . Podczas kontrolnego sprawdzenia zadania przed zatwierdzeniem go na zawody, wykonano 10 pomiarów, na podstawie których otrzymano następującą wartość

$$n = 1,5 \pm 0,1.$$

Podana tu niepewność jest tzw. niepewnością graniczną³. Wartość n jest większa od wartości tablicowej $n \approx 1,33$. Przyczyną różnicy tego jest błąd systematyczny popełniany podczas pomiarów, wiążący się z tym, że na ekranie trzymanym koło strumienia nie powstaje ostra plamka, którą można by łatwo dostrzec i z tym, że początkowo ze strumienia ucieka zbyt mało światła, by od razu dostrzec zmianę oświetlenia ekranu. W związku z tym mierzona przez nas wartość D_{gr} jest nieco mniejsza niż wartość, która powinna odpowiadać granicznemu kątowi padania α_{gr} . Jak widać ze wzoru na n , zmniejszenie D_{gr} powoduje wzrost wartości współczynnika załamania. Nie są to jednak jedyne przyczyny niepewności pomiarowej. Otóż może się wydać dziwne, ale założenie, że średnica strumienia opuszczającego rurkę jest taka sama jak średnica rurki, jest niezbyt dobrze spełnione. Średnica strumienia niezbyt daleko wylotu rurki jest praktycznie stała, ale nie dotyczy to obszaru tuż przy wylocie. Można wykazać, że w przypadku cieczy nielepkiej stosunek średnicy strumienia do średnicy rurki zależy od tego jak daleko od ścianek znajduje się w naczyniu koniec rurki, przez który wpływa woda. Gdy koniec ten jest daleko od ścianek, to powyższy stosunek wynosi $1/\sqrt{2}$. Z rozważań tych wynika, że do wzoru na n na miejsce d należy podstawić rzeczywistą średnicę strumienia, a nie średnicę rurki. Zauważmy, że gdybyśmy do naszego wzoru zamiast d podstawili $d_{rurki}/\sqrt{2}$, to otrzymalibyśmy $n \approx 1,37$, co jest znacznie bliższe wartości rzeczywistej równej około 1,33, chociaż też zbyt duże.

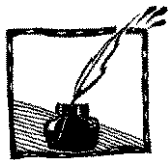
Nasz układ doświadczalny można nieco ulepszyć. W przypadku wody wpływającej swobodnie z naczynia zasięg strumienia zmienia się z biegiem czasu, niezależnie od naszej woli. Utrudnia to pomiary. Łatwo jednak stworzyć sobie możliwość wygodnego regulowania tego zasięgu⁴. Wystarczy w tym celu zatkać naczynie u góry korkiem z jakąś rurką połączoną węzłem z kranem. Odkręcając kran możemy świadomie regulować zasięg strumienia, a to znacznie ułatwia pomiar D_{gr} . Oczywiście nawet w tak ulepszonym układzie pomiary nadal będą obarczone wspomnianym błędem systematycznym.

Omówionej metody wyznaczania n nie stosuje się w praktyce. Znamy wiele innych wygodniejszych i dokładniejszych metod. Jednym z celów tego zadania było zainteresowanie młodzieży ciekawym zjawiskiem, jakim jest niewątpliwie „prowadzenie” światła w strumieniu wody.

³ Według obecnego nazewnictwa jest to błąd graniczny dopuszczalny; wówczas błąd maksymalny (przyp. T. Molenda).

⁴ Również korzystając z naczynia Mariotte’a, którego działanie było treścią zad. doświadczalnego III stopnia IX Olimpiady Fizycznej. Dokładny opis znajdziemy w książkach: A. Nowicka – *Olimpiady Fizyczne IX i X*, PZWS, Warszawa 1965; W. Gorzkowski, A. Kotlicki – *Olimpiada fizyczna. Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami*. Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne”, Poznań 1994. Zadanie znajduje się na stronie w bazie zadań olimpiady fizycznej – www.olimpiada.fizyka.szc.pl (przyp. – T. Molenda).

Zjawisko prowadzenia światła w falowodach ma zastosowania praktyczne. Światłowodem może być m.in. laska szklana bądź cienkie elastyczne włókno szklane lub plastikowe. Wyobraźmy sobie, że wiele takich włókien ułożyliśmy równoległe i związaliśmy w wiązki. Jeżeli na płasko ścięty koniec takiej wiązki rzutujemy (np. za pomocą soczewki) obraz jakiegoś przedmiotu, to każde włókno niezależnie od innych przeniesie padający nań element obrazu na drugi koniec wiązki. W rezultacie na drugim końcu wiązki powstanie obraz, który rzutowaliśmy na jej pierwszy koniec. Tak więc, za pomocą rozważanej, giętkiej wiązki złożonej z elastycznych, cienkich włókien szklanych lub plastikowych można „przenosić” obrazy. Wiązki takie umożliwiają obserwację np. wnętrza silnika w czasie pracy lub też żołądka ludzkiego. Gdyby włókna w wiązce nie były równoległe, lecz nieco „poplątane”, tak że z jednego końca względne położenia poszczególnych włókien byłyby inne niż z drugiego, to obraz rzutowany na jeden koniec, po przejściu przez wiązkę byłby zupełnie nie do poznania. Fakt ten można wykorzystać do kodowania bądź dekodowania tajnych informacji. Nie będziemy tu podawać dalszych zastosowań omawianych wiązek. Z pewnością Czytelnik sam znajdzie ich dziesiątki. Na koniec warto powiedzieć, że w ostatnich latach powstała nowa dziedzina fizyki, która zajmuje się m.in. opisanymi tu zjawiskami. Jest nią optyka włókien.



Uwagi o zapisie wielkości fizycznych i pewnych nieprawidłowościach w tym zakresie

Tadeusz Molenda

Instytut Fizyki, Uniwersytet Szczeciński

Przeglądając prace uczniów, studentów, a nawet w podręcznikach nadal spotykamy wiele dowolności w zapisie wielkości fizycznych (ściślej – wartości wielkości fizycznej). Przykładowo dla zapisu $s = 5 \text{ m}$ możemy spotkać bardzo wiele kombinacji, jak

- 1) brak odstępu (spacji) między znakami, np. $s = 5\text{m}$, $s= 5\text{m}$, $s=5 \text{ m}$ itp.
- 2) symbol wielkości fizycznej zapisany czcionką prostą, a jednostka czy liczba zapisana czcionką pochyłą, np. $s = 5 \text{ m}$, $s = 5 \text{ m}$, $s = 5 \text{ m}$ itp.
- 3) symbol jednostki fizycznej zapisany w nawiasie, np. $s = 5 \text{ [m]}$.

Spotyka też się zapis postaci $s = 5 = 5 \text{ m}$, w którym w części pominięto jednostkę. Taki sposób jest praktykowany przez niektórych nauczycieli, gdy dokonuje się przekształceń na wartościach liczbowych a na końcu dopisuje się jednostkę. Takie zapisy można spotkać w starszych książkach, niemniej pojawiają się również w nowo wydanych, a często w pracach uczniów, co wynika z praktyki szkolnej.

Reguły dotyczące zapisu wielkości fizycznych wynikają wprost z definicji, jej zapisu oraz zastosowania w sytuacjach wątpliwych zasady brzytwy Ockhama, natomiast opisują wytyczne Międzynarodowego Biura Miar i Wąg (BIPM) [1], a w Polsce – rozporządzenia w sprawie legalnych jednostek [2].

Niech A oznacza symbol wielkości fizycznej, którą piszemy *kursywą*. Wartość wielkości fizycznej A zapisujemy jako iloczyn liczby $\{A\}$ i jednostki $[A]$:

$$A = \{A\} [A], \quad (1)$$

przy czym

$\{A\}$ – wartość liczbową wielkości fizycznej A , w druku czcionka prosta;

$[A]$ – jednostka miary wielkości fizycznej A , w druku jako czcionka prosta, zazwyczaj szeryfowa np. typu Times New Roman;

między $\{A\}$ i $[A]$ nie stawiamy symbolu iloczynu – kropki, stosujemy odstęp – półpauzę (odstęp na jedną spację) za wyjątkiem oznaczeń miar kąta płaskiego: stopnia – $^\circ$, minuty – $'$ i sekundy – $''$ zgodnie z zaleceniem BIPM [1] i Rozporządzeniami [2].

Z (1) bezpośrednio wynika kształt zapisu i sposób postępowania.

Przykład. Niech wartość przebytej drogi s wynosi 5 metrów. W zapisie mamy $s = 5 \text{ m}$.

Oznacza to, że:

1. Wartość liczbową przebytej drogi s , w przyjętym układzie jednostek SI, wynosi 5, co zapisujemy: $\{s\} = 5$.

2. Jednostką przebytej drogi s , w przyjętym układzie jednostek SI, wynosi m , co zapisujemy: $[s] = m$.

Powyższe oznacza nie tylko sposób zapisu, ale i postępowania.

Oznaczenia $\{ \}$ i $[]$ są operacjami. Stosowanie ich do innych celów daje kolizję oznaczeń i może być źródłem nieporozumień. Oznaczenie $[m]$ w zapisie powinno być jednoznacznie odczytane jako operacja brania jednostki z wielkości „ m ” znajdującej się w nawiasie kwadratowym co w wyniku daje kg . Jednak w praktyce taki zapis czasami stosuje się do oznaczenia jednostki pisząc $s = 5 [m]$, co nie powinno mieć miejsca.

Zgodnie z przyjętymi konwencjami międzynarodowymi i normami, można przytoczyć następujące obowiązujące reguły, które autor opracował dla potrzeb zapisu zadań w Olimpiadzie Fizycznej [8, 9]:

1. Symbole wielkości fizycznych skalarnych piszemy kursywą.
2. Symbole wielkości fizycznych wektorowych piszemy:
 - zwykłymi literami z jedną strzałką nad literą (w niektórych podręcznikach jest zapis kursywą);
 - lub literami pochyłymi pogrubionymi (bez strzałki).

Czcionka indeksów – prosta czy pochylona, reguła taka sama jakbyśmy indeks traktowali jako samodzielny znak tj.

- czcionka pochylona, jeśli jest to symbol wielkości fizycznej albo wskaźnik bieżący np.: C_p (p – ciśnienie), R_{ij} (i, j – wskaźniki bieżące) a_x (x – współrzędna)
 - czcionka prosta dla cyfry, nazwy, skrótu nazwy, np.: E_k (k – kinetyczna), ϵ_r (r – względne).
3. Oznaczenia jednostek drukuje się taką czcionką, jak cały tekst, natomiast oznaczenia wielkości fizycznych i wszelkich ich wskaźników, powinny być drukowane czcionką szeryfową.
 4. Wartości liczbowe wielkości fizycznych piszemy czcionką prostą, np. 5 m, 1200 W itd.
 5. Symbole jednostek miar piszemy drukiem prostym i literami małymi za wyjątkiem, gdy pochodzą od nazwisk, np. A (amper).
 - Samą nazwę jednostki zapisujemy zawsze małą literą, np. niuton (N), metr (m).
 - Symbol jednostki nie jest skrótem, lecz wielkością matematyczną. Operacjami matematycznymi nie można działać na nazwy jednostek. Można zapisać np. metr na sekundę, ale nie metr/sekunda.
 6. Wartość liczbowo i symbol jednostki wielkości fizycznej muszą być oddzielone przerwą jednostkową, np. 23 cm, a nie 23cm czy 23 cm (dwie spacje). Również dla symboli $^{\circ}C$, % (procent nie jest wielkością fizyczną tylko znakiem dzielenia przez sto) – piszemy 10 %, a nie 10%, 23 $^{\circ}C$, a nie 23 $^{\circ}C$ (spacja po wartości liczbowej, do 2006 r. bez spacji [1]).

7. Symbole pierwiastków chemicznych, związków chemicznych, nuklidów, cząstek piszemy czcionką prostą, np.: He, Cu, nukleon – N, proton – p, cząstka alfa – α ; foton, promieniowanie gamma – γ itd.
8. Symbol punktu – piszemy dużą literą, czcionką pochyłą, np. *A*, *B*.
9. Liczby, wartości liczbowe wielkości fizycznych, symbole stałych matematycznych piszemy czcionką prostą, np. π , *e*.
10. Oznaczenia symboli nazw funkcji matematycznych – piszemy czcionką prostą, np. $\sin x$, $\cos x$, $\tan x$, $\log x$, $\ln x$ itd., stosujemy przed „*x*” półspację, np. rozstrzelenie czcionki o 1,5 pt. Symbol pochodnej „ d/dx ”, *d* – czcionka prosta, np.: $\frac{dx}{dt}$.

Symbole funkcji $y(x)$, $f(x)$ – piszemy czcionką pochyłą, nawiasy – czcionką prostą.

Przy zapisie komputerowym należy zwrócić uwagę:

- aby stosować między wartością liczbową a jednostką spację nierozdzielającą w tych przypadkach, gdy odstęp między nimi jest większy niż na jedną spację. Pojawia się to często w tekstach ze względu na justowanie (rozciągnięcie tekstu do marginesów).
- aby symbol prędkości „*v*” nie wyglądał jak „*v*”, czyli jak symbol częstotliwości. Mianowicie dobrą czcionką dla „*v*” jest Georgia (stosowana jest też czcionka Book Antiqua – *v*, jednak jest mniej „wyraźna” od „*v*” dla czcionki z zestawu Georgia).

11. Znaki matematyczne – stosujemy odstęp przed i po znaku, np.:

dla znaków „+”, „–”, „=” spację jednostkową

$$a - b, \quad a + b, \quad a = b;$$

12. Opis osi współrzędnych (zebrane propozycje):

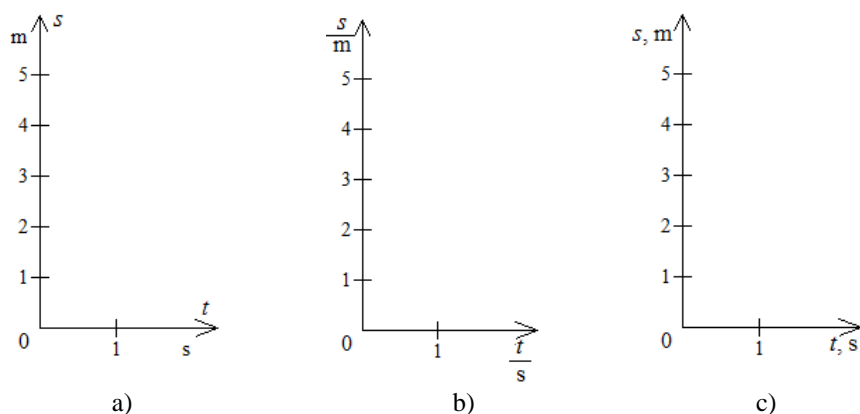
- a) z lewej strony osi rzędnych (obok strzałki) i pod osią odciętych piszemy: symbol wielkości (kursywa), przecinek, spacja, symbol jednostki, np. *s*, *m* – rys. 1c;

lub bardziej przejrzysta

- b) z lewej strony osi rzędnych (obok strzałki) i pod osią odciętych (pod strzałką) piszemy: symbol jednostki (czcionką prostą); natomiast symbol wielkości fizycznej (kursywa) z prawej strony osi rzędnych (obok strzałki) i nad osią odciętych (nad strzałką) – rys. 1a.

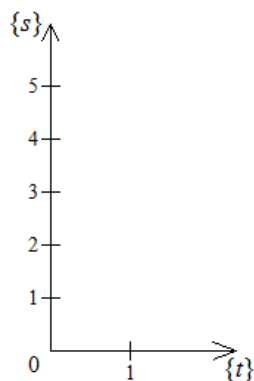
W tym oznaczeniu mamy nad i po wartościach liczbowych symbol jednostki, a obok i nad, oddzielone końcem osi (gdzie strzałka), symbole wielkości fizycznych (rys. 1a).

- c) w postaci ilorazowej: $A/[A]$ (rys. 1b) według zaleceń BIPM [1].



Rys. 1. Sposoby oznaczania jednostek i symboli wielkości fizycznych przy osiach układów współrzędnych

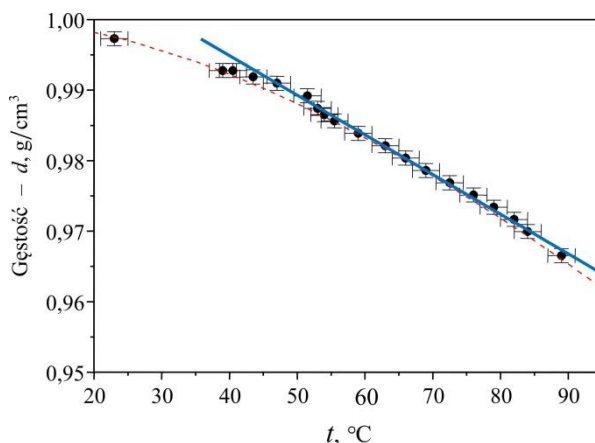
Przykład na rys. 1: a) oznaczenia symboli jednostek na przedłużeniu wartości liczbowych, symbole wielkości po wewnętrznej stronie układu współrzędnych – wydają się bardzo dogodnymi do stosowania tablicowego i dawno temu zastosowane w opracowaniu zadań z olimpiad fizycznych, np. [12]; b) sposób według zalecenia BIPM [1], stosowany też od dawna np. w podręcznikach w Niemczech. Aby uniknąć komplikacji z zapisem dla ułamka – kreski ułamkowej, wygodniej jest użyć ukośnika; c) zamiast zapisu jednostek w nawiasach, zgodne z podaniem wielkości fizycznej: symbol – A , $[A]$ – jednostka, np. s , m .



Rys. 2. Sposób oznaczania osi za pomocą symbolu wartości liczbowej wielkości fizycznej. Jednostka wielkości fizycznej, której brak, na ogół jest znana, można ją podać pod opisem rys., przykład rys. 4

Jakie natomiast należałoby przyjąć rozwiązanie, w szczególności, gdy na osiach nie ma strzałki, a opis „osi” jest pośrodku? Wydaje się, że postępując zgodnie z definiowaniem wielkości fizycznej, dla której podajemy symbol

oznaczenia i jednostkę w takiej właśnie kolejności, należałoby się skłaniać do oznaczania jak na rys. 1c. Jako ilustrację dla tego przypadku, niech posłuży rys. 3, który został zaczerpnięty z rozwiązania zadania z Olimpiady Fizycznej. W tym przypadku, przy „osi” odciętych – dodatkowo podano nazwę wielkości fizycznej oraz zastosowano zapis w pionie – do niej równoległy, co zwiększa przejrzystość. Dla zapisu jednostki – g/cm^3 , skorzystano z ukośnika.



Rys. 3. Zależność gęstości nieznanego roztworu od temperatury. Linia ciągłą zaznaczono dopasowaną prostą, natomiast linia przerywana przedstawia zależność gęstości wody od temperatury (dane z tablic). (Skorzystano z wykresu z rozwiązania zadania doświadczalnego zawodów II stopnia XLVI Olimpiady Fizycznej [13], http://www.of.szc.pl/pdf/46OF3D_roz469.pdf)

Skorzystanie z zalecenia BIPM, którego zapis ilorazowy jest związany z działaniem matematycznym dzielenia, w wielu przypadkach prowadzi do zapisu w postaci ułamka piętrowego, tak np. byłoby dla opisu osi rzędnych na rys. 3, co staje się kłopotliwe. Zwróćmy uwagę, że zamiana zapisu przy osi odciętych z postaci $t, ^\circ\text{C}$ na zapis przy użyciu ukośnika $t/^\circ\text{C}$, niewiele zmienia.

Oznaczenie osi za pomocą symbolu wartości liczbowej wielkości fizycznej jak na rys. 2 może zilustrować wykres zaczerpnięty z rozwiązania zadania z Olimpiady Fizycznej zawodów finałowych – rys. 4 [13].

W tym przypadku gdybyśmy skorzystali z zalecenia BIPM należałoby

a) opis osi zapisać jako

$$\log(R/m) \text{ lub } \log\left(\frac{R}{m}\right)$$

$$\log((\Delta x/n)/m), \text{ lub } \log\left(\frac{\Delta x/n}{m}\right), \text{ lub } \log\left(\frac{\Delta x}{n \cdot m}\right).$$

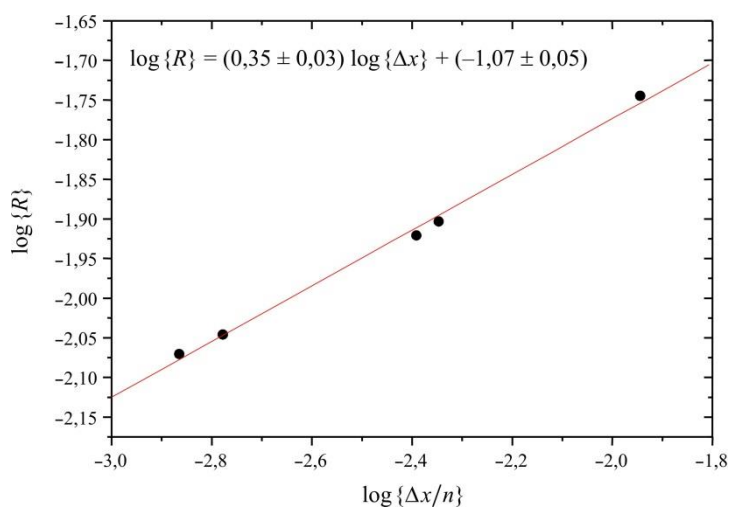
Ostatni zapis dla osi odciętych jest uciążliwy. Wydaje się, że w przypadku zapisów piętrowych należałoby skorzystać z drugiej postaci – mieszanej. Sym-

bole tego samego rodzaju byłyby oddzielane ukośnikiem a różnego rodzaju – kreską ułankową, tj. linią poziomą oddzielającą w ułamku licznik od mianownika. Jednak obrót do pozycji pionowej takiego ułamka (dla osi rzędnych jak na rys. 3) wymaga bardziej specjalistycznego narzędzia.

b) Natomiast równanie prostej znajdujące się w oknie wykresu jako

$$\log \frac{R}{m} = (0,35 \pm 0,03) \log \frac{\Delta x}{m} + (-1,07 \pm 0,05).$$

Zapis za pomocą symbolu wartości liczbowej jest bardziej wygodny, jednak narzuca potrzebę opisu pod rysunkiem – rys. 4.



Rys. 4. Zależność logarytmu wydluzenia Δx sprężyny przypadającej na liczbę n zwojów sprężyny od logarytmu jej promienia R . Jednostka $[R] = [\Delta x] = m$, nawias klamrowy $\{ \}$ oznacza wartość liczbową. (Skorzystano z wykresu z rozwiązania zadania doświadczalnego zawodów finałowych XLVIII Olimpiady Fizycznej [13], http://www.of.szc.pl/pdf/48OF4D._roz561.pdf)

13. Opis w tabelce:

- symbol wielkości (kursywa), przecinek, spacja, symbol jednostki (czcionka prosta), np. F , N ;

Lp.	x , cm	x' , cm	$n = x/x'$	$v = c/n$, m/s
-----	----------	-----------	------------	-----------------

lub

- podzielona część główki tabelki na górną, gdzie znajdują się symbole wielkości fizycznych i dolną, gdzie są symbole jednostek – po lewej i po prawej jako iloraz.

Lp.	x	x'
	cm	cm

Lp.	$\frac{x}{cm}$	$\frac{x'}{cm}$
-----	----------------	-----------------

Przykład główki tabeli przy wyznaczaniu ciepła właściwego żelaza.

Lp.	stal		woda		t_k	stal	
	m_s	t_s	m_w	t_w		c	$\Delta c/c$
	kg	°C	kg	°C		°C	J/(kg · K)

Podsumowanie

W procesie kształcenia przy wprowadzaniu pojęć fizycznych należy zadbać zarówno o prawidłową kolejność poszczególnych faz ich kształtowania i poprawność znaczeniową oraz merytoryczną, jak również zgodność oznaczeń z zaleceniami i przyjętymi ustaleniami. Dotyczy to w szczególności zapisu symboli wielkości fizycznych i ich jednostek.

Literatura

- [1] *The International System of Units (SI)*, 8th edition, BIPM, S'evres, 2006; http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf; SI Brochure: *The International System of Units (SI)* [8th edition, 2006; updated in 2014]; www.bipm.org/en/publications/si-brochure/
- [2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 listopada 2006 r. w sprawie legalnych jednostek miar. Dz.U. Nr 225, poz. 1638; Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 stycznia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie legalnych jednostek miar. Dz.U. Nr 9, poz. 61
- [3] Nelson R.A., *Guide for Metric Practice, Physics Today*, August 1996, BG 15; August 1998, BG 13; http://www.public.iastate.edu/~bkh/teaching/518/metric_practice.pdf
- [4] Błażejowski S., *Najważniejsze jednostki miar*, PWT, Warszawa 1960
- [5] Massalski J.M., Studnicki J., *Legalne jednostki miar i stałe fizyczne*. Wyd. IV, poprawione i poszerzone, PWN, Warszawa 1999
- [6] Massalski J.M., Praktyka stosowania SI, *Fizyka w Szkole* nr 3, 150 (1998)
- [7] Massalski J.M., O układzie SI i symbolach, *Postępy Fizyki* 48, 227 (1997)
- [8] Molenda T.M., *Wytyczne do zapisu zadań z olimpiady fizycznej*; <http://of.szc.pl/index.php?strona=16>
- [9] Molenda T.M., *O nieprawidłowościach w oznaczeniach wielkości fizycznych i pojęciu ciepła*; Problemy dydaktyki fizyki, Krośnice–Wrocław 2011. ISDN 978-83-7432-732-9, str. 169 – 174; http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/pdf/pdf_161.pdf
- [10] Musiał E., *Pisownia oraz wymowa nazw i oznaczeń jednostek miar*; http://redinpe.d2.pl/attachments/article/231/INPE_175-176-art_01.pdf
- [11] *Symbols, Units and Nomenclature in Physics*, Document IUPAP 25 (1987) – International Union of Pure and Applied Physics SUN Commission
- [12] Czarnecki S., *Olimpiady Fizyczne I–IV*, PZWS, Warszawa 1956
- [13] Komitet Główny Olimpiady Fizycznej – A. Wismołek (ówczesny kierownik ds. zadań doświadczalnych)



Doświadczenia fizyczne w twórczej terapii dzieci

Iwona Iwaszkiewicz-Kostka

*Wydział Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Pracownia Podstaw Eksperymentu Fizycznego*

Dlaczego w ogóle pomyślałam o szpitalu, przecież prowadziłam już zajęcia dla dzieci przedszkolnych i wczesnoszkolnych, młodzieży młodszej i starszej, a teraz szpital... Widziałam jak wyglądają dni pobytu dzieci w szpitalu. Do południa coś się dzieje – panie salowe sprzątają, śniadanie, wizyty lekarskie, przychodzą pielęgniarki, zabiegi, jeśli jest na oddziale szpitalna świetlica, to można tam podejść i panie nauczycielki wymyślają ciekawe zajęcia plastyczne, potem obiad, i powoli robi się spokojnie. Z maluszkami są rodzice, starsi już sami, wpatrzeni w swoją komórkę serfują po sieci. Nudno. Tak myślałam. Obserwowałam matki, zmęczone, bo nocki przesypiały na krzeselku (ja zresztą też), dzieci, które ciągle coś chciały robić, a nie zawsze mogły, bo miały kropłówkę czy też nie mogły opuścić z jakiś przyczyn szpitalnego łóżka. Różne przypadki, różne choroby, różne historie.

Narodził się pomysł. Potem były rozmowy – kontakt z przyszpitalną szkołą, aprobatą, i tak rozpoczęłam pilotażowe zajęcia dla pacjentów Szpitala Dziecięcego przy ul. Krysiewicza w Poznaniu. Jedyne co miało mnie ograniczać, to czas (aby zdążyć przed szpitalnym obiadem, który podają około 12.00, odwiedzić zaplanowane oddziały) oraz wyeliminowanie doświadczeń głośnych, dymiących, wybuchających, zapachowych i takich, które w jakikolwiek sposób zagrażałyby zdrowiu pacjentów.

Na początku myślałam, że zajęcia w szpitalu to nic trudnego, zajęcia jak każde inne. Przyjdę, poopowiadam, pokażę, razem coś zbudujemy, a następnie przetestujemy. Wszyscy będą zadowoleni, a szczególnie dzieci, a ja... No właśnie, tak myślałam, jednak po pierwszych zajęciach musiałam zmodyfikować, i to dość poważnie, mój sposób podejścia do nich.

Pierwsze zajęcia – byłam pewna, że będą tylko dzieci, i były, owszem, ale z rodzicami, a same to przyszły nastolatki. Dzieci były bardzo zainteresowane, opiekunowie zaciekawieni, co też Pani będzie opowiadać takim maluchom o fizyce, której oni nie wspominali najlepiej, a młodzież znudzona, bo kazali im przyjść i to na co, na fizykę, i ja – zdenerwowana. Na dodatek przysłuchiwał się moim opowieścią personel szpitala obecny w tym czasie w pracy. W ciągu paru sekund przez mają głowę przebiegło kłębowisko myśli, począwszy od chęci opuszczenia lokalu, przeproszenia, że to jednak była pomyłka, że nie dam rady, wątpliwości – jak mam mówić do wszystkich, aby ci wszyscy mnie jednocześnie zrozumieli i nie zniechęcić przy tym nikogo do fizyki, bo to byłoby katastrofą? Na całe szczęście nikt nie zauważył moich rozterek i rozpoczęłam

z drżącym sercem. Pierwsze zdania, pytania, pokazy, i czułam, że się dobrze rozumiemy, że jestem jak najbardziej na właściwym miejscu, a moje audytorium czeka z niecierpliwością na jeszcze więcej. I wtedy weszła pielęgniarka po jedną z dziewczynek. Kolejna nowość, pacjenci są, a za moment wychodzą, by potem znów powrócić. I ta dziewczynka złapała mnie za rękę i zapytała się „Będzie pani jak wrócę, ja tylko na chwilę wychodzę. Poczekaj pani? Ja przyjdę!”. Serce ścisnęło mi się ze wzruszenia.

Takich wzruszających chwil było jeszcze wiele. Pytania o to, kiedy znowu przyjdę, i czy to będzie jutro. Dzieci przeprowadzały pokazane przeze mnie doświadczenia jeszcze przez kilka dni, same prezentując je swoim nowym współlokatorom szpitalnych sal.

Opinia jednej z nauczycielek pracujących w przyszpitalnej szkole:

„Spotkania z fizyką cieszą się dużą popularnością na dziecięcym oddziale szpitalnym. Mali pacjenci mają niepowtarzalną okazję, poprzez zabawę, zrozumieć wiele zjawisk otaczającego świata, a ich rodzice nie ukrywają wdzięczności, że ktoś podjął bezinteresowny trud odpowiedzi na trudne pytania wieku dziecięcego. Ten niekonwencjonalny sposób przekazywania wiedzy, bo i sytuacja jest nietypowa (oddział szpitalny), jest wspaniałą formą rehabilitacji chorych dzieci. Pojawia się uśmiech, chęć do działania i pracy w grupie oraz ogromna satysfakcja z pomyślnie przeprowadzonych doświadczeń.

Dzieci, które ponownie trafiają na nasz oddział mile wspominają spotkania z „Panią Fizyką” i liczą na kolejne. Zajęcia te, nie kojarzą się im z często stresującymi i „sztywnymi” lekcjami w szkole, lecz są dla nich prawdziwym relaksem, który pozwala szybciej przyswoić wiedzę i choć na chwilę zapomnieć o chorobie.”

Doświadczenia

1. Prawo Pascala – do podziurawionego woreczka foliowego nalewamy wody i ściskamy go (w warunkach szpitalnych trzeba być ostrożnym, aby nikogo nie pomoczyć wodą, dzieci są bardzo wrażliwe i gdy cokolwiek im się stanie – płaczą; dobrze jest mieć ze sobą dużą i głęboką miskę).
2. Owocowo-warzywne prawo Archimedesesa – sprawdzamy, które owoce i warzywa pływają, a które z nich toną; rozpatrujemy różne sytuacje w zależności od tego czy dany owoc jest ze skórką, czy też bez (pomarańcza, mandarynka), jest cały lub przekrojony (papryka).
3. Plastelinowy statek pływa czy tonie? – kawałek plasteliny w kształcie kuli oraz w kształcie łódki.
4. Nurek Kartezjusza – butelka plastikowa napełniona wodą, a w niej „nurek” (słomka z plasteliną i spinaczem).
5. „Syjamskie” balony – próba płuc, czyli „rozdzielania” zawieszonych na sznurku obok siebie balonów, poprzez wdmuchiwanie pomiędzy nie powietrza.

6. Błyskawice na stole – pokazanie zasady działania maszyny elektrostatycznej – każdy chętny mógł sam wytworzyć iskrę.
7. Ping-pong elektrostatyczny – piłeczka pomalowana farbą grafitową zawieszona na jedwabnej nitce pomiędzy okładkami kondensatora podłączonymi do maszyny elektrostatycznej.
8. Naładowane słomki – plastikowe słomki, przez które przeciągnięto nitkę zawiązaną na supełek, pocierano pojedynczo lub grupowo o włosy i zawieszano na przygotowanym wcześniej słomkowym wieszaczku; słomki odpychały się od siebie, ale „przyklejały się” do przybliżonej dłoni.
9. Lepkie balony – pocierane o włosy balony „przyklejały” się do nich oraz efektownie ozdabiały szpitalną ścianę.
10. Sznurkowy telefon – dwa kubki po jogurcie połączone ze sobą sznurkiem (wełną); jedno dziecko trzyma kubeczek przy uchu, a drugie, po przeciwnej stronie sznurka, mówi do drugiego kubka; sznurek powinien być naprężony.
11. Muzyka kieliszków – kieliszki od wina napelniamy wodą i zwilżonym palcem pocieramy o brzeg naczynia.
12. Tańczące nasionka – na litrowy szklany stoik naciągamy przecięty balon i sypimy na niego ziarenka ryżu (kolorowa posypka, płatki owsiane lub cokolwiek innego, ale podobnego i lekkiego), a następnie z niedużej odległości uderzamy w metalową puszkę drewnianym tłuczkiem.
13. Elektryczny slalom – korzystając z nerwusometru, czyli powyginanego kawałka drutu, którego jeden koniec jest połączony z biegunem baterii płaskiej poprzez diodę i brzęczyk, należy wykonać slalom, czyli obwieść ten kształt drucianą pętelką, połączoną z drugim biegunem baterii, nie dotykając go. Jeżeli pętelka zetknie się z drutem, zapala się dioda i słyszymy przyjemny dla ucha dziecka dźwięk (wersja dla mniej spokojnych – nie dopuszczamy do sytuacji, kiedy nie świeci się i nie brzęczy – ten sposób cieszył się największym zainteresowaniem).
14. Złudna optyka – plansze ze złudzeniami optycznymi; dodatkowo: pisanie swojego imienia na kartce przyłożonej do czoła; pisanie pojedynczych słów na kartce, patrząc na odbicie tej kartki i ruch ołówka w lustrze.
15. Kolorowe bączki – na płytę CD naklejano kolorowe wycinki koła, a następnie w środek wkładano ołówek oklejony plasteliną, i tak przygotowany bączek wprowadzono w ruch wirowy.





Czy moja działalność pomaga lekarzom? Czy dzieci szybciej wracają do zdrowia?

Jak wynika z definicji słowa terapia, jest to „szereg czynności [...], którego celem jest przywrócenie zdrowia choremu lub poprawa jego jakości życia”. Moim zdaniem, zaproponowane zajęcia doświadczalne z fizyki są rozszerzeniem pojęcia terapii zajęciowej. Dotychczas terapię zajęciową rozumiano jako prowadzenie wszelkiego rodzaju prac ręcznych, na przykład takich jak malarstwo, rzeźbiarstwo, wikliniarstwo, tkactwo, a także takich, w których można jednocześnie ćwiczyć motorykę i rozwijać zdolności manualne, koordynację ruchową i kreatywność. W literaturze anglojęzycznej wyróżnia się także formę „*play therapy*”, czyli formę terapii wykorzystującej gry i zabawy. Moja propozycja łączy te dwie formy terapii, poszerzając je o nowe obszary związane z wiedzą naukową. Podobnie jak terapia gier i zabaw, **terapia twórczego eksperymentu** może stanowić ważny element, szczególnie w terapii dzieci, gdyż wyzwała wiele pozytywnych emocji.

Wnioski

1. W warunkach oddziału szpitalnego można, zachowując bezpieczeństwo i przestrzegając zasad obowiązujących na oddziałach, eksperymentować.
2. Wykonanie osobiście przez dzieci doświadczeń, wzbudzało ogromne zainteresowanie i olbrzymią radość.
3. Dzieci przekonały się, że fizyka jest ciekawym i interesującym przedmiotem.
4. Dzięki zajęciom mali pacjenci i ich rodzice zapominali o swoich problemach.
5. Uśmiech na twarzach dzieci i pytania o kolejne zajęcia były dla mnie największą nagrodą.

Dziękuję Dyrekcji Zespołu Szkół nr 108 przy Specjalistycznym ZOZ nad Matką i Dzieckiem w Poznaniu przy ul. B. Krysiwicza 7/8 za przychylność i otwartość na moje pomysły.



CO CZYTAĆ

Matematyczne zasady filozofii naturalnej Isaaca Newtona

Zofia Gołąb-Meyer

„Principia” Newtona znowu w księgarniach

W księgarniach pojawiło się nowe wydanie jednego z najważniejszych dzieł w historii nauki *Matematyczne zasady filozofii naturalnej* Isaaca Newtona. „Principia” Newtona to jedno z dzieł, które najsilniej wpłynęły na nowożytną naukę o przyrodzie.

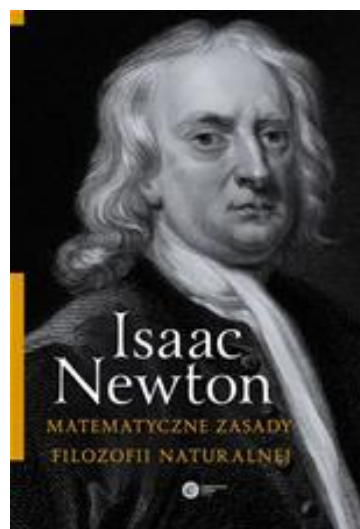
W swoim dziele *Philosophiae naturalis principia mathematica* Newton przedstawił prawo powszechnego ciężenia, a także prawa ruchu leżące u podstaw mechaniki klasycznej. Zostało ono opublikowane 5 lipca 1687 roku.

Dzieło stanowi gruntowne podsumowanie XVII-wiecznej wiedzy na temat podstawowych praw mechaniki, rozbudowane o wyniki własnych przemyśleń, badań teoretycznych, eksperymentów i astronomicznych obserwacji Newtona.

Kolejne (trzy) oryginalne łacińskie wydania „Principiów” różnią się między sobą, gdyż Newton stopniowo rozszerzał wykład i zmieniał niektóre fragmenty. Wydanie trzecie uznawane jest za jego „ostatnie słowo”. Ten właśnie tekst (w angielskim tłumaczeniu Andrew Motte’a z roku 1729) stał się podstawą polskiego przekładu autorstwa fizyka, dra Sławomira Brzezowskiego, opublikowanego przez Copernicus Center Press.

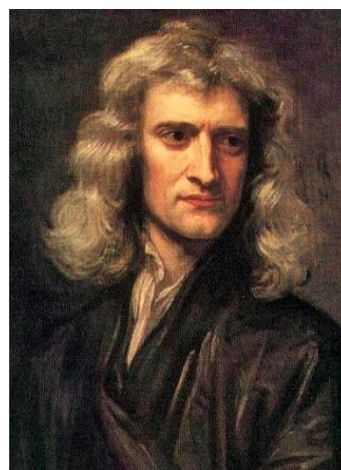
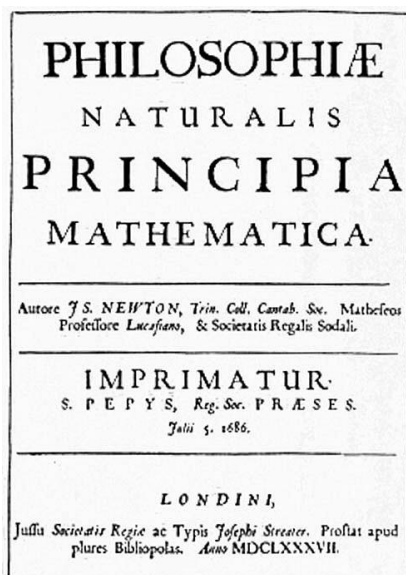
Jak zauważa tłumacz, „Principia” mają formalną strukturę. Składają się z twierdzeń (tez), zadań i scholiów, czyli mniej formalnych objaśnień ilustrujących omawiane zagadnienia, a także wniosków i przykładów. Newton skrupulatnie strzeże logicznej spójności wykładu, odwołując się w dowodach do właściwych twierdzeń wyłożonych wcześniej. Odnośniki te zwykle umieszcza w nawiasach, wtrącając je do tekstu.

W czasach Newtona nie prowadzono jeszcze algebraicznych rachunków w takiej formie, jakiej używamy dziś powszechnie; królowały metody geometryczne, polegające na przekładaniu wartości wielkości fizycznych na długości odcinków i łuków, konstruowaniu z nich odpowiednich figur geometrycznych,

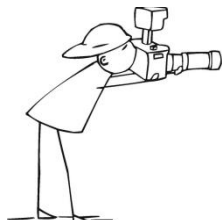


badaniu relacji zachodzących między elementami tych figur i budowaniu w ten sposób dowodów twierdzeń. Ślady tego podejścia pozostały do dziś w postaci graficznego obrazu wektora, jako strzałki i szkolnej metody sumowania wektorów. Podobne do współczesnych rachunki algebraiczne znajdujemy u Newtona w formie zaczątkowej i w zapisie niekiedy trudnym w odbiorze dla współczesnego czytelnika – zwraca uwagę wydawca.

Przekład Sławomira Brzezowskiego to kolejne wydanie „Principiów” na polskim rynku. Pierwsze tłumaczenie na język polski ukazało się w 2011 roku. *Matematyczne zasady filozofii przyrody* w przekładzie dra Jarosława Wawrzynskiego. Zostało wydane przez Wyższą Szkołę Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie przy współpracy z Fundacją Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych w Krakowie, które to centrum założył i nim kieruje ks. prof. dr Michał Heller.



Na temat „Principiów” polecamy wykład profesora Andrzeja Kajetana Wróblewskiego: www.fuw.edu.pl/~akw/Principia_Newtona.pdf



**XIV Ogólnopolski Konkurs
fizyczno-fotograficzny
„Zjawiska optyczne wokół nas”**



Oferta dla uczniów z gimnazjów i szkół ponadgimnazjalnych
grudzień 2015 – maj 2016

Konkurs jest adresowany do indywidualnych uczestników – **uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych (13–19 lat)**. Warunkiem udziału w konkursie jest przesłanie lub osobiste dostarczenie do Powiatowego Młodzieżowego Domu Kultury i Sportu, **WŁASNORĘCZNIE WYKONANYCH ZDJĘĆ**, przedstawiających dowolnie wybrane zjawiska optyczne (np. barwy nieba, wody) dostrzeżone w otaczającej przyrodzie lub świadomie wyeksponowane w przeprowadzonym przez ucznia eksperymencie. Każdy uczestnik konkursu powinien dołączyć płytę CD z zapisem cyfrowym przesłanych zdjęć. Oczekujemy od Was na fotografii barwne lub czarno-białe, formatu 15 × 21 cm i poprawne technicznie.

Konkurs rozstrzygniemy w dwóch kategoriach:

- a) fotografie przedstawiające określone **zjawiska optyczne zaobserwowane w otaczającej przyrodzie**;
- b) serie zdjęć ilustrujące **eksperymenty fizyczne z udziałem światła**.

Termin nadsyłania prac – do 20 maja 2016 r. (decyduje data stempla pocztowego)

Rozstrzygnięcie konkursu nastąpi do 3 czerwca 2016 r.

- Wyniki konkursu zostaną zamieszczone na stronie internetowej Powiatowego Młodzieżowego Domu Kultury i Sportu **www.pmdkis-wielun.pl**
- Nagrody rzeczowe i dyplomy dla laureatów konkursu prześlemy pocztą przed zakończeniem roku szkolnego.
- Prace nagrodzone i wyróżnione zostaną zamieszczone na stronie internetowej PMDKiS, zaprezentowane na **Ogólnopolskich Warsztatach Polskiego Stowarzyszenia Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych**, a także wyeksponowane w galerii Powiatowego Młodzieżowego Domu Kultury i Sportu.
- Prac nadesłanych na konkurs nie odsyłamy, stanowią one własność organizatora.

- **Organizatorzy zastrzegają sobie prawo do ewentualnego opublikowania nadesłanych zdjęć z podaniem danych autora.**
- Komisja konkursowa nie będzie kwalifikować prac niesamodzielnych (np. „ściągniętych” z internetu).

Informacji o konkursie udziela i prace przyjmuje:

Sekretariat PMDKiS, ul. 3 Maja 29, 98-300 Wieluń, Tel. (43) 843 87 80.
www.pmdkis-wielun.pl, e-mail: mdkwielun@wp.pl

**Laureaci XIII Ogólnopolskiego konkursu fizyczno-fotograficznego
„Zjawiska optyczne wokół nas” w 2015 r.**

Kategoria: obserwacje

Miejsce	Nazwisko i imię	Nazwa szkoły
I	Pawłowska Dominika	Gimnazjum im. Karola Wojtyły w Brzozie
II	Łysiak Klaudia	Zespół Szkół nr1 im. Ambrożego Towarnickiego w Rzeszowie
II	Pawliczek Konrad	Gimnazjum nr 1 im. Ks. Tomasza Wuwera w Pawłowicach
III	Zasacka Agata	Zespół Szkół, Publiczne Gimnazjum im. Ks. Jerzego Popiełuszki w Górsku

Kategoria: eksperyment

Miejsce	Nazwisko i imię	Nazwa szkoły
I	Pijaj Marcin	Gimnazjum nr 4 w Wolbromiu
II	Jaworska Olga	V Liceum Ogólnokształcące im. Janusza Korczaka w Tarnowie
III	Nawrot Mateusz	Katolickie Gimnazjum im. Świętej Rodziny z Nazaretu w Krakowie

Najciekawsze, nagrodzone fotografie kolejnych edycji konkursu były prezentowane na Europejskich Festiwalach „Science on Stage”: w Grenoble w 2007 r., w Kopenhadze w 2011 r., w Słubicach – Frankfurcie nad Odrą w 2013 r.

Zdjęcia z Ogólnopolskich Konkursów fizyczno-fotograficznych „ZJAWISKA FIZYCZNE WOKÓŁ NAS” są również publikowane w Biuletynach Polskiego Stowarzyszenia Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych – „NAUCZANIE PRZEDMIOTÓW PRZYRODNICZYCH”.

Prezentacja nagrodzonych i wyróżnionych zdjęć poszczególnych edycji jest dostępna na stronie:

www.pmdkis-wielun.pl/konkursy/zjawiska-fizyczne-wokol-nas

Studia w Krakowie - raz w życiu taka okazja
Fizyka na światowym poziomie
Nowoczesne laboratoria
Nowy budynek na nowym kampusie
Studenckie Koła Naukowe



UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

WYDZIAŁ FIZYKI, ASTRONOMII
I INFORMATYKI STOSOWANEJ

Bądź inspiracją
Twórz przyszłość



www.fais.uj.edu.pl