

Foton

126
Jesień
2014

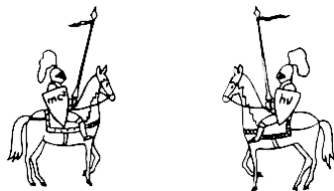
Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI  UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



technews.fr

Łamanie symetrii T
Czy fizycy mogą sprowokować koniec świata?
W poszukiwaniu najniższych temperatur
25 lat Turnieju Młodych Fizyków



25-lecie Turnieju Młodych Fizyków w Polsce



Polska drużyna w Shrewsbury 2014 – zdobywcy złotego medalu
na międzynarodowym turnieju w Anglii

Od lewej: Tymoteusz Miara, Paweł Czyż, Radost Waszkiewicz, Filip Moldzyński, Łukasz Gładczuk (opiekun) i Anna Wald (kapitan drużyny)



Instytut Fizyki i *Foton* na nowym III Kampusie Uniwersytetu Jagiellońskiego

Serce rosło na widok tłumów szturmujących nowy budynek Instytutu Fizyki UJ na nowym kampusie podczas Małopolskiej Nocy Naukowców. Przybyło przeszło trzy i pół tysiąca odwiedzających! Było bardzo dużo rodzin z dziećmi, i to nawet z bardzo małymi. A przecież tłumy były nie tylko na UJ. Noc Naukowców, jak Polska jak długa i szeroka, gromadziła rzesze głodnych wiedzy uczestników. Można mieć nadzieję, że uniwersytety się w przyszłości nie wyludnią.

Muszą jednak zmienić formę. I zmieniają. Jeszcze pilniejsze są zmiany, które powinny zająć w szkołach i w zarządzaniu edukacją. Istnieje dużo sprawdzonych pomysłów dydaktycznych. Które z nich zaakceptuje społeczeństwo? Czy zechce więcejłożyć na edukację swoich dzieci? Żyjemy w ciekawych czasach.

I choć niektórzy nauczyciele mają rozmaite doskonałe pomysły to, niestety, pewne propozycje MEN, dotyczące np. podręczników i zasobów internetowych wydawnictw, wydają się być jakimś nieporozumieniem, zupełnie niezrozumiałym.

W chwili obecnej, wbrew pozorom, nie jest łatwo o dzielenie się z innymi ideami, propozycjami i pomysłami. Bardzo trudno wyławiać z morza informacji te cenne i poprawne. Społeczność międzynarodowa nauczycieli fizyki czyni starania, by okiełznać i recenzować propozycje internetowe. Zachęcam do lektury artykułu Ewy Dębowskiej na temat stron poświęconych nauczaniu fizyki kwantowej.

Fizyka coraz częściej przebija się do zwykłych mediów. Często „straszy” się czytelników. Krzysztof Fiałkowski wyjaśnia, czy rzeczywiście mamy się obawiać potencjalnej katastrofy wywołanej przez fizyków. W świecie fizyków jest pewną sensacją odkrycie niezachowania parzystości T – o tym traktuje artykuł Pawła Moskala. W bieżącym roku Nagroda Nobla została przyznana za fizykę inżynierską, za niebieskie diody elektroluminescencyjne (LEDY), które uważa się za symbol XXI wieku. Optyka atomowa i jej osiągnięcia w uzyskiwaniu najniższych temperatur to temat artykułu Adama Wojciechowskiego. Problemy ściśle dydaktyczne są przedmiotem felietonu Ludwika Lehmana i jego dyskusantów. Powróciliśmy do ciągle żywego tematu paradoksu bliźniąt (artykuł Leszka Sokołowskiego), choć obiecujemy, że to po raz ostatni, istnieje bowiem bardzo bogata literatura na ten temat. Zapraszamy do lektury *Fotonu*.

Z.G-M

Nowy adres redakcji:

Redakcja *Fotonu*, Instytut Fizyki UJ
ul. Łojasiewicza 11/D-2-31; 30-348 Kraków
tel.: +48 12 664 4563



Contents

The Physics Institute and <i>Foton</i> in a New III Campus of Jagiellonian University <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	1
Can the physicists provoke the end of the world? <i>Krzysztof Fiałkowski</i>	4
Time reversal symmetry breaking. Strange meson oscillations – part I <i>Paweł Moskal</i>	9
In search of the lowest temperatures <i>Adam Wojciechowski</i>	18
On the twin paradox in a different way. The paradox and its context – part I <i>Leszek M. Sokółowski</i>	23
Communication. Nobel Prize in physics 2014.....	31
Recommendations on Multimedia Materials for Teaching Quantum Physics <i>Ewa Dębowska</i>	33
Feuilleton. Night thoughts of the physics school teacher <i>Ludwik Lehman</i>	38
The ends of a magnet <i>Marcin Braun</i>	40
About the education of theoretical physicists <i>Wojciech Rubinowicz (1889–1974)</i>	44
Science’s 10 Most Beautiful Experiments in Szczecin <i>Tadeusz M. Molenda</i>	50
Gold medals in England on the 25th anniversary of the tournament of Young Physicists in Poland <i>Andrzej Nadolny</i>	53
Problems for Young Physicists’ Tournament 2015 <i>Andrzej Nadolny</i>	58
The 14th Meeting of the Nationwide Physics Demonstrators Club <i>Stanisław Bednarek</i>	61
Strategies for Assessment of Inquiry Learning in Science – SAILS Project <i>Dagmara Sokółowska</i>	63



Spis treści

Instytut Fizyki i <i>Foton</i> na nowym III Kampusie Uniwersytetu Jagiellońskiego <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Czy fizycy mogą sprowokować koniec świata? <i>Krzysztof Fiałkowski</i>	4
Łamanie symetrii względem odwrócenia czasu. Oscylacje mezonów dziwnych – cz. I <i>Paweł Moskal</i>	9
W poszukiwaniu najniższych temperatur <i>Adam Wojciechowski</i>	18
O paradoksie bliźniąt nieco inaczej. Paradoks i jego kontekst – cz. I <i>Leszek M. Sokołowski</i>	23
Komunikat. Nagroda Nobla z fizyki 2014	31
Internetowe zasoby edukacyjne do nauczania/uczenia się fizyki kwantowej <i>Ewa Dębowska</i>	33
Felieton. Nocne rozmyślenia fizyka szkolnego – niechcący pod Górę <i>Ludwik Lehman</i>	38
Kij ma dwa końce, magnes ma bieguny <i>Marcin Braun</i>	40
O kształceniu fizyków teoretyków <i>Wojciech Rubinowicz (1889–1974)</i>	44
10 najpiękniejszych eksperymentów z fizyki w Szczecinie <i>Tadeusz M. Molenda</i>	50
Złote medale w Anglii na 25-lecie Turnieju Młodych Fizyków w Polsce <i>Andrzej Nadolny</i>	53
Turniej Młodych Fizyków 2015 <i>Andrzej Nadolny</i>	58
XIV Spotkanie Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki <i>Stanisław Bednarek</i>	61
Strategie oceniania w nauczaniu metodą odkrywania przez dociekanie – projekt SAILS <i>Dagmara Sokołowska</i>	63



Czy fizycy mogą sprowokować koniec świata?

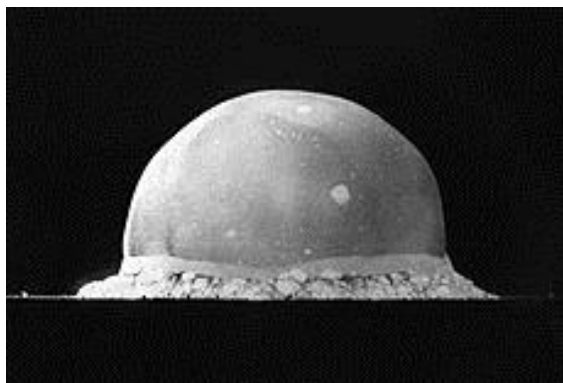
Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki UJ

Prasa całego świata doniosła we wrześniu, że słynny brytyjski astrofizyk Stephen Hawking przedstawił we wstępie do książki, która jest zbiorem wykładów oraz artykułów znanych fizyków wydanych z okazji odbywającego się pod koniec września na Teneryfie astronomicznego festiwalu „Starmus”, zaskakującą sugestię. Otóż cały Wszechświat jest niestabilny, bo stan próżni nie jest w rzeczywistości stanem o najniższej energii. Oznacza to, że stany, które uważamy za stany o najniższej możliwej energii (nazywane próżnią) odpowiadają w rzeczywistości tylko lokalnym minimom energii. Co gorsza, prowadzone przez fizyków doświadczenia związane z odkrytą niedawno cząstką zwaną bozonem Higgsa mogą spowodować przeskok do stanu o naprawdę najniższej energii, a zatem całkowitą zagładę tego Wszechświata, który nas otacza.

Czy powinniśmy naprawdę poważnie obawiać się takiego zjawiska, a w konsekwencji, czy powinniśmy przerwać doświadczenia nad produkcją bozonu Higgsa? Zanim odpowiemy definitywnie na te pytania i wyjaśnimy bardziej szczegółowo, na czym polega niestabilność, przypomnijmy, że nie jest to pierwsza taka katastroficzna przepowiednia. W ostatnim stuleciu już dwukrotnie ostrzegano, że doświadczenia prowadzone przez fizyków mogą sprowadzić na nas globalną katastrofę. Warto więc może wyjaśnić, dlaczego katastrofa taka nie nastąpiła i dlaczego dziś uważamy, że nie mogła nastąpić.

Po raz pierwszy wizja zagłady pojawiła się w związku z pierwszą próbą jądrową.

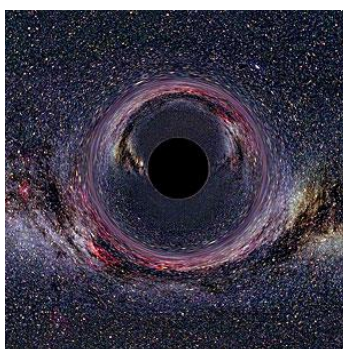


Rys. 1. Pierwsza eksplozja jądrowa 16 ms po detonacji. Średnica „bąbla” eksplozji to ok. 200 m

W relacjach wielu obserwatorów tej próby znajdują się opowieści o tym, że rozważano wtedy możliwość „pożaru atmosfery” i zagłady życia na Ziemi przez zainicjowanie reakcji syntezy jąder azotu w cięższe jądra. Jak się zdaje, autorzy tych opowieści często nie byli świadomi, że taką możliwość zasugerował już kilka lat wcześniej późniejszy współtwórca bomby wodorowej Edward Teller, a inny wybitny fizyk Hans Bethe przeprowadził stosowne obliczenia i udowodnił, że taka katastrofa nam nie grozi. Łatwo można zrozumieć, dlaczego tak jest. Każde połączenie jąder azotu wyzwala energię, która powoduje wzrost temperatury i ciśnienia gazu, a zatem wywołuje jego rozprężanie. Spadek gęstości zmniejsza prawdopodobieństwo kolejnych reakcji. Nie ma więc żadnej możliwości zainicjowania reakcji łańcuchowej, w której liczba kolejnych połączeń rośnie lawinowo. W bombach wodorowych skomplikowany układ eksplozji zapewnia utrzymanie wysokich temperatur i ciśnień przez dostatecznie długi czas, aby wyzwolić wielką energię wybuchu. Nic takiego nie może się zdarzyć w atmosferze.

Kolejne wizje zagłady i ostrzeżenia przed katastroficznymi skutkami planowanego eksperymentu pojawiły się w 1999 roku przed uruchomieniem akceleratora RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider, czyli zderzacz relatywistycznych ciężkich jonów). Zderzające się przeciwbieżne wiązki jonów dostarczają tam energii rzędu setek GeV na parę zderzających się nukleonów. Głównym celem planowanych eksperymentów było wytwarzanie tzw. plazmy kwarkowo-gluonowej, czyli stanu, w którym składniki wielu nukleonów „mieszają się”, a nukleony tracą swoją indywidualność. Jednak rozważano też oczywiście wiele innych możliwych procesów, a wśród nich powstawanie w wyniku zderzeń miniaturowych czarnych dziur, czyli obiektów, z których nie może wychodzić żadne promieniowanie.

Informacja o tych rozważaniach dotarła do laików, a wśród nich – polityków. Niektórzy z nich zażądali wstrzymania eksperymentu w obawie, że wytworzona czarna dziura, która zgodnie z teorią powinna pochłaniać otaczającą ją materię, może ostatecznie zniszczyć całą Ziemię.



Rys. 2. Artystyczna wizja czarnej dziury ze strony internetowej RHIC

Dyrektor laboratorium Brookhaven, w którym powstał RHIC, John Marburger, powołał więc specjalny komitet, któremu zlecił przygotowanie raportu wyjaśniającego, czy niebezpieczeństwo takie jest realne. Przygotowaniem zajęli się wybitni fizycy: Wit Busza, Robert Jaffe, Jack Sandweiss i późniejszy laureat Nagrody Nobla Frank Wilczek. Oprócz niebezpieczeństwa związanego z powstawaniem czarnych dziur rozważano w raporcie możliwość przejścia całego Wszechświata w stan odpowiadający niższej energii próżni (a więc ten sam proces, którym „straszy” Hawking), a także możliwość przemiany materii w taką, która zawiera kwarki dziwne. Wnioski były jednoznaczne: sugerowane „scenariusze zagłady” są wykluczone przez ewidencję eksperymentalną i/lub wiarygodne rozważania teoretyczne.

John Marburger podsumował najważniejsze argumenty dwudziestokilkustronicowego raportu w jednym zdaniu: „Nature has been creating collisions of energies comparable to those at RHIC for billions of years, and there is no evidence of any kind of disaster related to those collisions”, czyli „Natura przeprowadzała przez miliardy lat zderzenia cząstek przy energiach porównywalnych do energii RHIC i nie ma śladów jakichkolwiek katastrof związanych z tymi zderzeniami”.

Wypada sprawdzić, czy rzeczywiście najwyższe energie zderzeń z akceleratorów odpowiadają energiom zderzeń zachodzących w przyrodzie. Rachunek jest dość prosty: Wykorzystamy w tym celu relację wynikającą ze Szczególnej Teorii Względności, na mocy której energia w układzie środka masy E_{CM} , odpowiadająca sumie energii zderzających się wiązek przeciwbieżnych, jest związana z energią E cząstki padającej na nieruchomą tarczę wzorem

$$E_{CM}^2 = 2Emc^2 + m^2c^4,$$

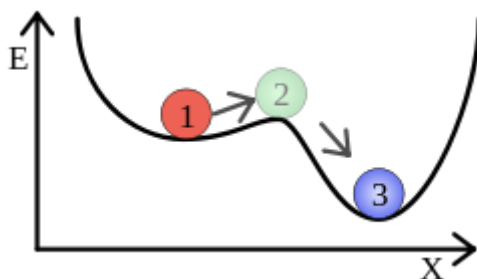
gdzie m jest masą cząstki.

Dla bardzo wysokich energii ostatni człon można pominąć. Masa protonu to około $1 \text{ GeV}/c^2$, więc łatwo sprawdzić, że zderzenia protonów przy energii w układzie środka masy rzędu setek GeV odpowiadają zderzeniu z nieruchomym protonem tarczy protonu o energii rzędu dziesiątek tysięcy GeV, czyli dziesiątek TeV. Energie obserwowane dla protonów promieniowania kosmicznego sięgają 10^{21} eV , czyli miliardów TeV*, mogą więc być o wiele rzędów wielkości większe. Stwierdzenie profesora Marburgera jest zatem w pełni uzasadnione.

Co z najnowszym „proroctwem zagłady” Stephena Hawkinga? Jak już wspomniano, pomysł niestabilności (a dokładniej metastabilności) próżni otaczającego nas świata nie jest nowy, skoro uwzględniano go już przy otwarciu RHICa. Jego historia jest jeszcze dłuższa, o czym opowiemy za chwilę.

* Dla przypomnienia: $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 10^{-3} \text{ TeV} = 10^{-6} \text{ PeV} = 10^{-9} \text{ EeV}$.

Najpierw wyjaśnimy, **na czym polega niestabilność i metastabilność**. Najprościej można to wyjaśnić na przykładzie masywnej kulki na zakrzywionej powierzchni. Siła grawitacji powoduje, że kulka dąży do znalezienia możliwie najniższego położenia, odpowiadającego globalnemu minimum potencjalnej energii grawitacyjnej. Dla przykładu pokazanego na rys. 3 takie położenie to pozycja 3, odpowiadająca stanowi stabilnemu. Kulka tracąca stopniowo energię kinetyczną, np. w wyniku sił tarcia, zatrzyma się właśnie w tej pozycji. Jeśli jednak kulka wystartuje z niewielką prędkością z położenia bliskiego pozycji 1, zatrzyma się w tej pozycji, w której energia ma minimum lokalne. Jest to stan metastabilny: przy małych wychyleniach kulka wraca do tej pozycji, a przy większych przeskoczy do pozycji 3. Wszystkie inne pozycje, a w szczególności pozycja 2, są niestabilne. Kulka poruszająca się z dowolnie małą prędkością nie może się w nich zatrzymać.



Rys. 3. Zależność energii kulki od jej położenia.
Stan metastabilny (1), niestabilny (2) i stabilny (3)

Już w 1982 roku astrofizyk Michael Turner i wspomniany już późniejszy laureat Nagrody Nobla Frank Wilczek zauważyli, że podstawowy stan teorii oddziaływań elektroślabych (w którym pole odpowiadające bozonowi Higgsa ma niezerową wartość oczekiwaną), może być metastabilny. Niestety rozważania teoretyczne nie dają dokładnych przewidywań, a jedynie pokazują, że możliwe jest powstanie podczas ewolucji Wszechświata takiego stanu z czasem życia znacznie dłuższym od obecnych ocen wieku Wszechświata. Turner i Wilczek zauważyli też, że odpowiednio silne zaburzenie może „przerzucić” ten stan do stabilnego stanu o najniższej energii próżni w otoczeniu punktu zaburzenia. „Bańka” stanu stabilnego będzie się wtedy rozszerzać z prędkością światła, aż obejmie cały Wszechświat, niszcząc taki świat, jaki obecnie znamy.

Czy takim zaburzeniem może być zderzenie cząstek, w którym powstanie bozon Higgsa? Oczywiście jest to teoretycznie możliwe, ale podany już wyżej argument mówi, że nasze akceleratory nie mogły dotąd wyprodukować niczego bardziej egzotycznego, niż natura. Najwyższa energia w układzie środka masy osiągnięta w akceleratorze LHC, w którym odkryto bozon Higgsa, jest rzędu

dziesięciu TeV, co odpowiada zderzeniom z nieruchomą tarczą cząstek o energii rzędu setek PeV. Jak już wspomniano, w promieniowaniu kosmicznym zdarzają się cząstki o energii tysiąckrotnie większej! **Gdyby zderzenia mogły doprowadzić do „końca świata”, zdarzyłoby się to już dawno.**

Dodajmy, że fakt odkrycia bozonu Higgsa w LHC nie ma oczywiście znaczenia dla oceny ryzyka. Skoro masa bozonu to „tylko” około 250 mas protonu, bozon ten musiał już wielokrotnie powstawać nie tylko w oddziaływaniach promieni kosmicznych, ale i w mniejszych akceleratorach. Najwyraźniej jego powstanie nie jest zaburzeniem wystarczająco silnym dla zainicjowania końca świata. Możemy więc spać spokojnie, gdy fizycy kontynuują swoje eksperymenty!



Mem o końcu świata 2012 (źródło: Internet, hasło: memy o końcu świata)



Łamanie symetrii względem odwrócenia czasu – cz. I

*Paweł Moskał
Instytut Fizyki UJ*

Oscylacje mezonów dziwnych

Symetria względem odwrócenia w czasie

Czasu raczej cofnąć się nie da. Potrafimy zmieniać kierunek poruszania się w przestrzeni, ale nie umiemy wpływać na kierunek upływu czasu. Dlatego żeby zbadać doświadczalnie symetrię względem odwrócenia czasu używamy innych sposobów niż cofanie czasu. Na przykład porównujemy przebiegi procesów różniących się jedynie kolejnością zachodzących zmian¹.

Dla zilustrowania zasady bezpośredniego testowania symetrii względem odwrócenia czasu rozważmy cząstkę, która w interwale czasu τ poruszając się z prędkością v przelatuje w pustej przestrzeni z punktu A do punktu B. Zachowanie symetrii względem odwrócenia czasu oznacza, że po odwróceniu kierunku upływu czasu cząstka ta poruszając się z prędkością v przeleciałaby w czasie τ z punktu B do punktu A. Natomiast gdyby po odwróceniu upływu czasu cząstka lecąc z prędkością v z punktu B nie doleciała po czasie τ do punktu A to byłoby to oznaką łamania symetrii względem odwrócenia czasu.

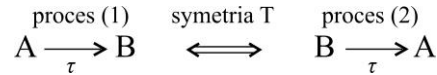
Nie umiemy cofać czasu, ale moglibyśmy przeprowadzić doświadczenie mierząc czas przelotu cząstki z punktu A do punktu B w próżni w przestrzeni wolnej od działania sił, a następnie porównać go z wynikiem pomiaru czasu przelotu cząstki z punktu B do punktu A. Ten eksperyment myślowy pokazuje, co tak naprawdę rozumie się pod pojęciem testowania symetrii względem odwracania czasu. W gruncie rzeczy mówiąc, że badamy symetrię względem odwrócenia czasu mamy na myśli symetrię odwrócenia ruchu! A zatem testując symetrię odwrócenia w czasie nie cofamy czasu, lecz porównujemy jedynie dane procesy z procesami, które zachodziłyby gdyby czas się cofał.

Raczej trudno sobie wyobrazić, żeby dało się zaobserwować łamanie symetrii odwrócenia w czasie realizując opisany powyżej eksperyment myślowy

¹ Stopień zachowania symetrii odwrócenia w czasie testuje się także badając właściwości, których cząstki nie mogą posiadać gdyby symetria względem odwrócenia czasu była zachowana. Na przykład gdyby neutron posiadał elektryczny moment dipolowy różny od zera to oznaczałoby to, że symetria względem odwrócenia czasu jest łamana. Kilka grup na świecie poszukuje sygnału od elektrycznego momentu dipolowego neutronu. Można też na przykład badać stopień zachowania symetrii względem odwrócenia czasu wyznaczając korelacje pomiędzy wektorami pędu kwantów gamma pochodzących z rozpadu atomów pozytonium. Opis tych niezwykle ciekawych badań wybiega jednak znacznie poza ramy tego artykułu. W tym artykule omawiamy bezpośrednio łamanie symetrii względem odwrócenia czasu.

z cząstką przelatującą między dwoma ustalonymi punktami. Dlatego próby wykazania, że symetria w czasie jest łamana polegają na poszukiwaniu takich obiektów fizycznych, których ewolucja w czasie między kolejnymi stanami, które obiekt taki przyjmuje, zmienia się w zależności od kolejności występowania tych stanów w trakcie ewolucji. Badamy na przykład prawdopodobieństwo przechodzenia wybranego układu ze stanu A do stanu B w zadanym interwale czasu τ i porównujemy to z prawdopodobieństwem przechodzenia ze stanu B do stanu A po takim samym czasie τ . Rysunek 1 ilustruje procesy symetryczne względem odwrócenia czasu.

Jeśli symetria względem odwrócenia czasu byłaby łamana to prawdopodobieństwo zajścia procesu (1): przejście ze stanu A po czasie τ w stan B byłoby różne od prawdopodobieństwem zajścia procesu (2): przejście ze stanu B po czasie τ w stan A.



Rys. 1. Ilustracja procesów symetrycznych względem odwrócenia czasu. Operacja odwrócenia czasu zastosowana do procesu (1) prowadzi do procesu (2)

Im mniej skomplikowany jest układ używany do testowania tym mniejsze są trudności z interpretacją wyników. Jednak układ taki musi mieć strukturę, żeby mogły zachodzić w nim jakieś procesy i żeby mógł znajdować się w różnych stanach. Najmniejszymi znanymi obecnie układami złożonymi są mezony, czyli cząstki zbudowane z kwarku i antykwarku. W kolejnym rozdziale opisany jest przepiękny eksperyment wykonany w Europejskim Laboratorium Fizyki Jądrowej (CERN), w którym testowano symetrię względem odwrócenia czasu badając prawdopodobieństwa przejść pomiędzy różnymi stanami neutralnych mezonów K.

Oscylacje neutralnych mezonów K

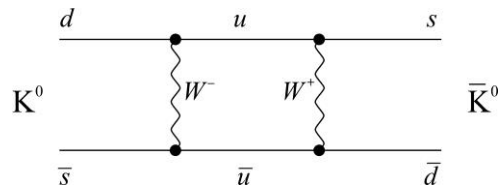
Neutralny mezon K w stanie K^0 składa się z antykwarku \bar{s} i kwarku d natomiast w stanie \bar{K}^0 składa się z kwarku s i antykwarku \bar{d} (rys. 2)².



Rys. 2. Skład kwarkowy mezonów K^0 i \bar{K}^0

² Ze względu na nieoczekiwane właściwości mezonów K nazwano je mezonami dziwnymi. Nazwa kwarku s , jednego ze składników mezonów K pochodzi od angielskiego słowa *strange*.

Wewnątrz mezonu K może zachodzić wiele procesów, na przykład taki jak pokazano na rys. 3, gdzie w wyniku wymiany bozonów W pomiędzy kwarkami mezon K^0 może zmienić się w mezon \bar{K}^0 i odwrotnie. Zatem procesy takie jak przedstawiono na rys. 3, zachodzące wewnątrz neutralnego mezonu K powodują, że oscyluje on między stanami, kiedy jest cząstką K^0 i kiedy jest antycząstką \bar{K}^0 .



Rys. 3. Przykład procesu zachodzącego wewnątrz mezonu K powodującego oscylacje $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$. W wyniku następujących po sobie wymian bozonów W^- i W^+ pomiędzy kwarkami, kwark d zmienił się w kwark s , a kwark \bar{s} zmienił się w kwark \bar{d} , czyli mezon K^0 zmienił się w mezon \bar{K}^0 .

W eksperymencie CP-LEAR wykonanym w 1998 roku w CERNie w celu zbadania symetrii odwrócenia czasu porównano prawdopodobieństwo przejścia mezonu K ze stanu K^0 do stanu \bar{K}^0 po zadanym czasie τ z prawdopodobieństwem przejścia po takim samym czasie τ ze stanu \bar{K}^0 w stan K^0 (rys. 4). Zmierzone wartości tych prawdopodobieństw nie są takie same, co grupa CP-LEAR zinterpretowała jako łamanie symetrii względem odwrócenia czasu. Jednak interpretacja ta nie jest jednoznaczna, co zostanie wyjaśnione w ostatniej części tego artykułu po omówieniu idei eksperymentu.

$$K^0 \xrightarrow{\tau} \bar{K}^0 \xleftrightarrow{\text{symetria T}} \bar{K}^0 \xrightarrow{\tau} K^0$$

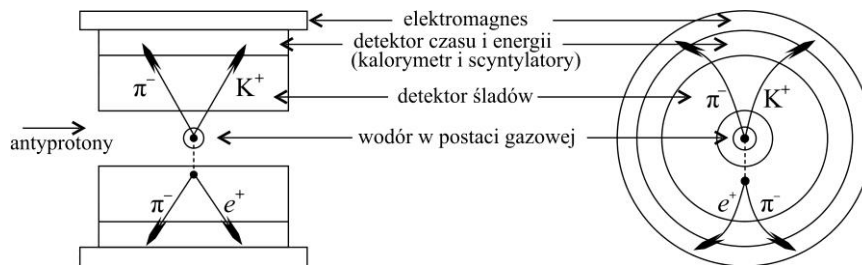
Rys. 4. Symetria odwrócenia w czasie implikuje, że proces $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$ powinien zachodzić z takim samym prawdopodobieństwem jak proces $\bar{K}^0 \rightarrow K^0$.

Idea pomiaru prawdopodobieństwa przejść między mezonami K^0 i \bar{K}^0 za pomocą detektora CP-LEAR

Żeby móc badać przejścia $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$ oraz $\bar{K}^0 \rightarrow K^0$ musimy umieć wytwarzać mezon K w określonym stanie oraz umieć identyfikować, w jakim stanie znajduje się on po upływie zadanego czasu τ .

W eksperymencie CP-LEAR mezony wytwarzano w akcie anihilacji protonu z antyprotonem. Antyprotony o małej energii kierowane były do środka detektora, gdzie zatrzymywały się w gazie wodoru i anihilowały z protonami (jądrami atomów wodoru). Uproszczony schemat układu doświadczalnego jest poka-

zany na rys. 5. W wyniku takiej anihilacji może jednak zajść wiele różnych reakcji, a niestety nie potrafimy wpływać na wynik pojedynczego procesu. Dlatego mierzy się wszystkie procesy, w których powstają cząstki takie, jakich oczekujemy w interesującym nas procesie, a dopiero analizując dane zebrane w trakcie pomiarów wybieramy te interesujące zdarzenia. Zdarzeniem nazywamy zarejestrowanie sygnałów przez detektory w krótkim przedziale czasu (około kilkudziesięciu nanosekund). Sygnały te wywoływane są przez cząstki naładowane przelatujące przez detektory. Pomiar tych cząstek pozwala na zidentyfikowanie procesów, które zaszły w wyniku anihilacji.

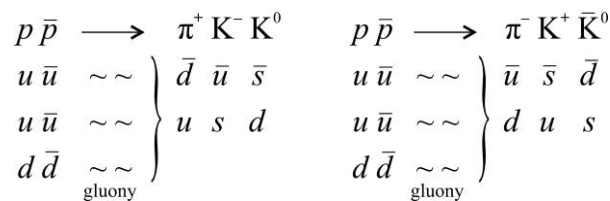


Rys. 5. Uproszczony schemat detektora CP-LEAR wraz z trajektoriami cząstek dla przykładowego ciągu reakcji: $\bar{p}p \rightarrow K^+\pi^-\bar{K}^0 \rightarrow K^+\pi^-K^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^+e^+\nu$, w której nastąpiło przejście $\bar{K}^0 \rightarrow K^0$. Na rysunku pokazane są trajektorie mezonów K^+ i π^- powstałych w anihilacji protonu z antyprotonem oraz trajektorie mezonów π^- i pozytonu (e^+) powstałych z rozpadu mezonu K^0 . Detektor CP-LEAR otaczający miejsce anihilacji pozwalał na pomiar i identyfikację cząstek naładowanych takich np. jak mezony K^+ i K^- , mezony π^+ i π^- oraz elektrony i pozytony. System detekcyjny CP-LEAR składał się między innymi z komór do pomiarów śladów cząstek naładowanych, z detektorów scyntylacyjnych do pomiaru czasu, z kalorymetru pozwalającego na pomiar energii cząstek oraz z solenoidu wytwarzającego pole magnetyczne wewnątrz całego systemu detekcyjnego. Ładunki zarejestrowanych cząstek można określić badając zakrzywienie trajektorii cząstek w polu magnetycznym, natomiast ich masy, które jednoznacznie określają cząstkę można obliczyć z pomiaru energii kalorymetrem oraz mierząc promień zakrzywienia trajektorii w polu magnetycznym, który zależy od pędu. Znając energię i pęd można wyznaczyć masę zarejestrowanej cząstki (patrz *Foton* 124, wiosna 2014)

Załóżmy, że zaobserwowaliśmy N_{K^0} takich zdarzeń gdzie został wyprodukowany mezon K^0 . Następnie sprawdzamy ile spośród tych mezonów zmieniło się po zadanym czasie τ w mezon \bar{K}^0 . Jeśli oznaczymy liczbę przejść $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$ przez $N_{\text{przejść}}$, to stosunek liczb ($N_{\text{przejść}}/N_{K^0}$) daje nam prawdopodobieństwo przejścia $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$ po czasie τ . Aby sprawdzić symetrię względem odwrócenia czasu porównujemy to prawdopodobieństwo z analogicznie wyznaczonym prawdopodobieństwem przejścia $\bar{K}^0 \rightarrow K^0$ po czasie τ .

Skąd wiemy, że w wyniku anihilacji protonu z antyprotonem powstał mezon K^0 czy \bar{K}^0 ?

Przykładowe reakcje protonu z antyprotonem, w których powstają mezony K^0 i \bar{K}^0 pokazane są na rys. 6. Proton składa się z kwarków uud , a antyproton z antykwarków $\bar{u}, \bar{u}, \bar{d}$. W wyniku anihilacji kwarki i antykwarki znikają, zmieniając się na chwilę w gluony, a następnie z gluonów mogą powstać nowe pary kwarków i antykwarków, ale niekoniecznie muszą się one połączyć w proton i antyproton. Może na przykład nastąpić taka reakcja, jak pokazana na rys. 6, gdzie powstało trzy pary kwark-antykwark w postaci trzech mezonów. Z gluonów może powstać para kwark-antykwark innego rodzaju niż te występujące w protonie: na przykład para s i \bar{s} , jednak ostatecznie kwarków i antykwarków tego samego rodzaju musi być tyle samo. Może na przykład powstać grupa $(u s d \bar{u} \bar{s} \bar{d})$ będąca wynikiem krecji par u i \bar{u} , s i \bar{s} , d i \bar{d} , ale nie może powstać grupa $(u u d \bar{u} \bar{s} \bar{d})$, bo oznaczałoby to, że jedną z par wykreowanych jest u i \bar{s} .



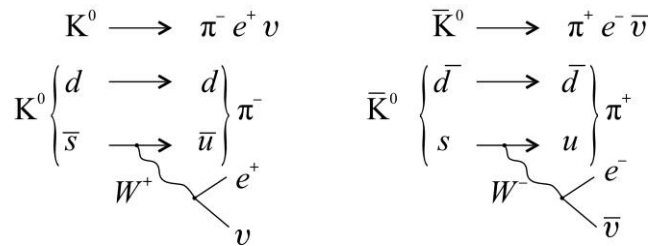
Rys. 6. Przykłady procesów anihilacji protonu z antyprotonem, w których powstają mezony K^0 i \bar{K}^0

Zdarzenia, w których wyprodukowany został mezon \bar{K}^0 , można rozpoznać, jeśli ze środka detektora z miejsca reakcji protonu z antyprotonem wychodzą dwie trajektorie, z których jedna odpowiada mezonowi π^- , a druga mezonowi K^+ . Jeśli jedną z powstałych cząstek jest mezon K^+ , a drugą mezon π^- to znając ich skład kwarkowy wiemy, że w anihilacji powstały kwarki u i d oraz antykwarki \bar{u} i \bar{s} (patrz rys. 6). Musiały zatem powstać także kwarki s oraz \bar{d} . Z kwarków s i \bar{d} zbudowany jest mezon \bar{K}^0 . Ponadto, żeby mieć pewność, że naprawdę powstał mezon \bar{K}^0 sprawdza się jeszcze, czy masa nieobserwowanej cząstki jest równa masie mezonu K . Masę cząstki nieobserwowanej można obliczyć korzystając z zasad zachowania pędu i energii (patrz *Foton* 124). Dodatkowo, mierząc czas dotarcia mezonów π^- i K^+ do detektora czasu oraz znając ich pęd i trajektorie można obliczyć czas, w którym powstał mezon \bar{K}^0 . Analogicznie w oparciu o pomiar mezonów π^+ i K^- możemy zidentyfikować zdarzenia, w których został wytworzony mezon K^0 oraz wyznaczyć czas i miejsce jego wytworzenia.

Jak rozpoznać, w jakim stanie znajduje się neutralny mezon K?

Wiemy już jak stwierdzić, w jakim stanie powstał mezon K (K^0 czy \bar{K}^0) i w którym miejscu i czasie nastąpiło jego wytworzenie. Pozostaje zatem wyjaśnić skąd wiadomo, w jakim stanie będzie znajdował się ten mezon po upływie danego czasu τ .

Nie mamy wpływu na to, co dzieje się z mezonem poruszającym się w próżni, ale jeśli zarejestrujemy produkty rozpadu mezonu to możemy zidentyfikować, w jakim był stanie w momencie rozpadu. Przeto, podobnie jak w przypadku wytwarzania mezonów jedyne co możemy zrobić, to rejestrować wszystkie zdarzenia podejrzane o to, że pochodzą z rozpadu mezonu neutralnego K, a następnie przeprowadzamy analizę danych wyszukując interesujące nas rozpadu. Na rys. 7 pokazane są schematycznie procesy³ rozpadu mezonów K^0 i \bar{K}^0 umożliwiające zidentyfikowanie składu kwarkowego mezonu K.



Rys. 7. Schemat *pólleptonowego* rozpadu neutralnego mezonu K znajdującego się w stanie K^0 (lewa strona) i w stanie \bar{K}^0 (prawa strona)

Jeśli mezon neutralny K rozpada się na mezon π^- i pozyton (e^+) to wiemy, że w momencie rozpadu był on mezonem K^0 , a jeśli rozpada się na mezon π^+ i elektron (e^-) to wiemy, że w momencie rozpadu był mezonem \bar{K}^0 . Zauważmy ponadto, że do zidentyfikowania, w jakim stanie był neutralny mezon K w momencie rozpadu wystarczy zaobserwowanie, że wśród produktów rozpadu jest elektron albo pozyton. W gruncie rzeczy chodzi nam o stwierdzenie, czy w momencie rozpadu mezon K składał się z kwarku s czy z antykwarku \bar{s} . Jeśli wyznaczymy, że w skład mezonu K wchodził kwark s to będzie to równoważne stwierdzeniu, że jest on mezonem \bar{K}^0 i analogicznie wykazanie, że w momencie rozpadu mezon K posiadał kwark \bar{s} oznacza, że w momencie rozpadu był on mezonem K^0 .

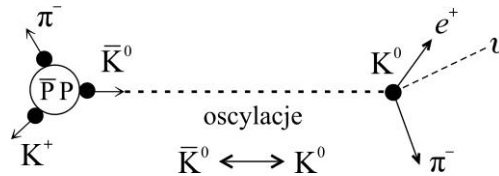
³ Rysunek pokazuje jeden z wielu możliwych procesów, w wyniku których następuje rozpad mezonu K. Pokazany rozpad (tzw. *pólleptonowy*) pozwala na zidentyfikowanie składu kwarkowego mezonu K. Rozpad ten nazywany jest *pólleptonowym* ponieważ produktami rozpadu są nie tylko hadrony (mezony π^- i π^+), lecz także leptony (elektron, pozyton, neutrino, antyneutrino).

Jeśli wśród produktów rozpadu mezonu K zarejestrujemy elektron to wiemy, że musiał on powstać z rozpadu bozonu W^- . A to oznacza, że musiał nastąpić proces $s \rightarrow uW^- \rightarrow ue\bar{\nu}$. Bozon W^- posiada ładunek -1 , kwark s posiada ładunek $-1/3$, a ładunek kwarku u wynosi $+2/3$, więc powyższy proces może przebiegać nie łamiąc zasady zachowania ładunku. Natomiast nie ma możliwości, żeby kwark \bar{s} posiadający ładunek $+1/3$ rozpadł się z emisją bozonu W^- , bo wtedy musiałby nastąpić proces $\bar{s} \rightarrow \text{nowy-antykwar} W^- \rightarrow \text{nowy-antykwar} e^- \bar{\nu}$, co oznaczałoby, że powstały w wyniku rozpadu nowy-antykwar miałby ładunek $+4/3$, a takie kwarki nie istnieją. Dlatego zaobserwowanie elektronu wśród produktów rozpadu mezonu K implikuje, że w chwili rozpadu był on mezonem \bar{K}^0 . Analogiczne rozumowanie prowadzi do wniosku, że zaobserwowanie pozytonu wśród produktów rozpadu mezonu K oznacza, że w chwili rozpadu był on mezonem K^0 .

Selekcja zdarzeń odpowiadających przejściu mezonu K między stanami K^0 i \bar{K}^0

Przykładowy łańcuch reakcji, w którym nastąpiła produkcja mezonu neutralnego K w stanie \bar{K}^0 i jego przejście do stanu K^0 pokazane jest na rys. 8. Aby zidentyfikować tę reakcję spośród wszystkich zarejestrowanych zdarzeń wybiera się takie, w których w oparciu o sygnały zarejestrowane w detektorze śladów zostały zrekonstruowane cztery trajektorie odpowiadające dwóm cząstkom naładowanym dodatnio i dwóm naładowanym ujemnie. Dwie spośród tych trajektorii odpowiadających parze przeciwnie naładowanych cząstek musi przecinać się (tworzyć wierzchołek) w obszarze anihilacji protonów z antyprotonami. Pozostałe dwie także muszą przecinać się w obrębie detektora – zdarzenie takie jak przedstawiono na rys. 5. Z pomiaru pędu i energii zarejestrowanych cząstek oblicza się ich masy. Pęd wyznacza się w oparciu o zakrzywienie trajektorii lotu cząstki w polu magnetycznym, a energię w oparciu o amplitudę sygnałów wygenerowanych przez cząstki w kalorymetrze. Po zidentyfikowaniu cząstek naładowanych, w kolejnym etapie selekcji wybiera się tylko takie zdarzenia, w których zidentyfikowano pary mezonów π^- i K^+ oraz e^+ i π^- . Dodatkowo, opierając się na zasadzie zachowania energii i pędu sprawdza się, czy masa nierejestrowanej cząstki wytworzonej w anihilacji protonu z antyprotonem jest równa masie mezonu K oraz czy masa cząstki nierejestrowanej z rozpadu jest równa zero (masa neutrina). Ostatecznie po zidentyfikowaniu zdarzeń odpowiadających procesowi pokazanemu na rys. 8 dzieli się je na podgrupy w zależności od interwału τ , czyli czasu pomiędzy wytworzeniem mezonu \bar{K}^0 a rozpadem mezonu K^0 . Czasy wytworzenia i rozpadu wyznacza się znając czas przejścia cząstki przez detektor mierzący czas oraz znając długość trajektorii cząstek pomiędzy tym detektorem a miejscem anihilacji (przecięciem trajektorii mezonów π^- i K^+), czy odpo-

wiednio miejscem rozpadu (przecięciem trajektorii mezonu π^- i pozytonu) oraz w oparciu o wyznaczone prędkości zarejestrowanych cząstek.



Rys. 8. Ciąg reakcji, w której nastąpiło przejście $\bar{K}^0 \rightarrow K^0$

Interpretacja wyniku eksperymentu CP-LEAR

Opisany powyżej eksperyment wykonany był w ośrodku CERN w roku 1998 przez grupę doświadczalną CP-LEAR. Wynikiem przeprowadzonych pomiarów było wykazanie, że prawdopodobieństwa przejścia po zadanym czasie τ mezonu K^0 w mezon \bar{K}^0 różni się o około 1/100 od prawdopodobieństwa przejścia po takim samym czasie τ mezonu \bar{K}^0 w mezon K^0 . Pomiary wykonano dla interwałów τ z przedziału od około 0,1 ns do około 2 ns. Grupa CP-LEAR zinterpretowała ten wynik jako empiryczny dowód na łamanie symetrii względem odwrócenia czasu.

Jednak już rok później interpretację tę skrytykowano zauważywszy, że od procesu $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$ do procesu $\bar{K}^0 \rightarrow K^0$ można dojść nie tylko poprzez zastosowanie operacji odwrócenia czasu (T), ale także poprzez zastosowanie symetrii parzystości C i P:

$$T(K^0 \rightarrow \bar{K}^0) = \bar{K}^0 \rightarrow K^0$$

$$CP(K^0 \rightarrow \bar{K}^0) = \bar{K}^0 \rightarrow K^0$$

Symetria C odpowiada zamianie cząstki na antycząstkę (czyli np. zmianie mezonu K^0 w mezon \bar{K}^0), a symetria parzystości P oznacza odbicie lustrzane w przestrzeni, czyli powoduje zmianę zwrotu wektora pędu.

Nie można zatem jednoznacznie stwierdzić czy zaobserwowana przez zespół CP-LEAR różnica prawdopodobieństw jest wynikiem łamania symetrii odwrócenia w czasie czy łamaniem symetrii CP⁴.

Przez wiele następných lat sądzono, że nie da się wykonać doświadczenia, w którym można by jednoznacznie wnioskować o bezpośrednim łamaniu symetrii względem odwrócenia w czasie. Przełom przyniosła idea wykorzystania w badaniach par mezonów kwantowo splątanych. Eksperyment, w którym jednoznacznie wykazano, że symetria względem odwrócenia w czasie jest łamana, wykonano w 2012 roku na Uniwersytecie Stanforda w USA. Polegał on na ba-

⁴ Powyższe rozumowanie jest sformalizowane w artykule Wolfensteina [2].

daniu rozkładu różnicy czasów pomiędzy rozpadami dwóch kwantowo splątanych mezonów. Idea doświadczenia będzie omówiona w kolejnym artykule.

Następny zeszyt *Fotonu* – **Rozpady mezonów kwantowo splątanych:**

- Na czym polega kwantowe splątanie mezonów?
- Jak wyprodukować kwantowo splątane mezony?
- Eksperyment wykonany na Uniwersytecie Stanforda w USA.
- Jak w oparciu o pomiary rozpadów kwantowo splątanych mezonów jednoznacznie wykazano, że symetria względem odwrócenia czasu jest łamana?

Literatura

- [1] CPLEAR: A. Angelopoulos *et al.*, Phys. Lett. B 444 (1998) 43
- [2] L. Wolfenstein, Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 911
- [3] J. Barnabeu *et al.*, JHEP08 (2012) 064
- [4] BABAR: J.P. Lees *et al.*, Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 211801

Redakcja poleca wykład prof. K. Fiałkowskiego i prof. L. Görlich:

http://www2.if.uj.edu.pl/pl/edukacja/Podstawy_FCE/Podstawy_fizyki_czastek_2011.pdf



Hala eksperymentu CP-LEAR



W poszukiwaniu najniższych temperatur

Adam Wojciechowski
Zakład Fotoniki IF UJ

Przestrzeń kosmiczna jest bardzo zimna. Wszyscy wiemy, że gwiazdy są gorące, ale stanowią one bardzo mały jej ułamek. W przestrzeni międzygwiazdnej temperatura spada do około 3 K, czyli -270°C . Takie temperatury są jednakże osiągalne także na Ziemi. Kriostaty pracujące z ciekłym helem pozwalają naukowcom na rutynowe chłodzenie próbek do temperatury kilku kelwinów, a najbardziej zaawansowane urządzenia, w których wykorzystywana jest mieszanina helu-3 i helu-4, pozwalają na osiągnięcie temperatur rzędu 1 mK, czyli zaledwie jednej tysięcznej stopnia powyżej absolutnego zera. W tak niskich temperaturach możliwe jest badanie niezwykle ciekawych zjawisk: nadprzewodnictwa (zaniku rezystancji) oraz nadciekłości helu (zaniku lepkości).

Rozwój technik laserowych w ostatnich latach otworzył drogę do prowadzenia pomiarów w gazach i molekułach w jeszcze niższych temperaturach. Chłodzenie laserowe rozrzedzonych gazów atomowych pozwala na osiągnięcie temperatur rzędu kilku mikrokelwinów zaś poprzez dodatkowy proces, który nazywany jest *odparowaniem*, osiąga się nawet pojedyncze nanokelwiny. Mamy zatem na Ziemi laboratoria, w których występują najzimniejsze miejsca w znanym nam Wszechświecie. Wkrótce jednak ma się to zmienić – NASA planuje stworzenie jeszcze chłodniejszego miejsca na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) pod koniec 2016 roku [1, 2]. Dlaczego właśnie na stacji kosmicznej, a nie w laboratorium? Na to pytanie postaram się odpowiedzieć w dalszej części artykułu.

Chłodzenie laserowe

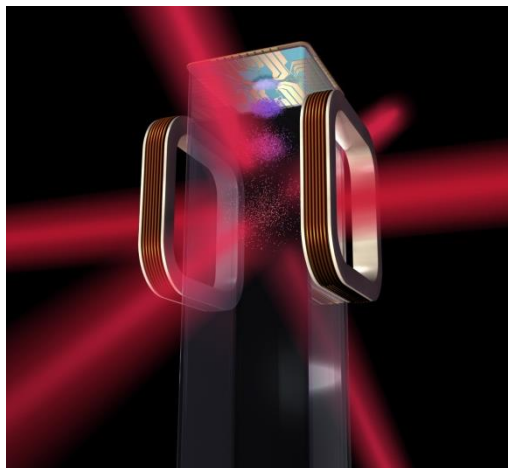
Technika laserowego chłodzenia atomów rozwinęła się w latach 90. ubiegłego wieku. W 1997 roku Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji oraz William Phillips zostali uhonorowani Nagrodą Nobla właśnie za wprowadzenie metod chłodzenia i pułapkowania atomów światłem.

Na czym polega wspomniane powyżej chłodzenie atomów? Rozrzedzony gaz atomowy oświetlany jest wiązkami laserowymi o energii bliskiej, ale nieco mniejszej niż odpowiadająca przejściu pomiędzy poziomami energetycznymi w danym pierwiastku. Fotony z wiązki laserowej są absorbowane głównie przez atomy poruszające się w ich stronę, gdyż na skutek efektu Dopplera stają się one rezonansowe, czyli dokładnie dopasowane do różnicy energii poziomów atomu. Inaczej ujmując, deficyt energii fotonu jest uzupełniany przez część energii kinetycznej atomu. Następnie, po wzbudzeniu atom powraca do stanu podstawowego emitując spontanicznie foton o energii rezonansowej. Wielo-

krotne powtarzanie cyklu absorpcji fotonów o nieco za niskiej energii oraz późniejszej emisji spontanicznej fotonów o energii rezonansowej (a więc wyższej) przez atomy gazu powoduje, że energia kinetyczna atomów maleje z czasem. Ponieważ energia kinetyczna atomów jest związana z temperaturą, powoduje to chłodzenie próbki do coraz mniejszej temperatury. Istotne jest tutaj, że cały cykl musi polegać na absorpcji fotonów głównie z wiązki laserowej oraz ich późniejszej emisji spontanicznej (bez emisji wymuszonej). Gdyby sąsiedni atom absorbował rezonansowe fotony emitowane spontanicznie przez inny atom, mielibyśmy do czynienia z podgrzewaniem ośrodka. Taka sytuacja jest typowa, gdy oświetlamy laserem makroskopowe przedmioty – wiemy, że laser może być używany do cięcia, znakowania czy choćby „wypalania” płyt CD. Aby unikać takiego podgrzewania wiązką światła w laboratorium chłodzony jest rozrzedzony gaz o ciśnieniu około 10^{-8} – 10^{-9} mbar, czyli gaz o ciśnieniu odpowiadającym warunkom wysokiej próżni. Jego rozrzedzenie powoduje, że fotony emitowane spontanicznie mają niewielką szansę być ponownie zaabsorbowane. Ponadto, wysoka próżnia izoluje schłodzony gaz od warunków zewnętrznych – zazwyczaj aparatura próżniowa jest utrzymywana w temperaturze pokojowej, a mimo tego zimny gaz w jej środku nie ogrzewa się.

Typowym układem stosowanym do chłodzenia atomów jest pułapka magneto-optyczna (*magneto-optical trap*, MOT) [3]. Oprócz mechanizmu chłodzenia atomów realizuje ona jeszcze jeden ważny cel – pułapkuje (lokalizuje) chmurę atomów w małym obszarze w przestrzeni. Dzieje się tak dzięki odpowiedniemu uformowaniu pola magnetycznego w komorze próżniowej i zastosowaniu wiązek laserowych o odpowiednich polaryzacjach, dopasowanych do kształtu pola magnetycznego.

Pułapki magneto-optyczne stały się w ostatnich latach bardzo powszechnym narzędziem i pozwalają na rutynowe uzyskiwanie próbek liczących 10^7 – 10^9 atomów, schłodzonych do temperatur rzędu 1–100 μ K. Są one wprawdzie znacznie mniejsze (obejmujące mniej atomów), ale za to znacznie zimniejsze niż w kriostatach. Dalsze obniżanie temperatury z udziałem światła bliskiego rezonansowi jest już niemożliwe. Z tego względu pułapka magneto-optyczna jest wykorzystywana jako praktyczne narzędzie do wstępnego schładzania atomów, natomiast ich dalsze oziębianie odbywa się już w pułapkach innego typu – pułapkach magnetycznych (jak w przypadku wspomnianego projektu NASA) lub optycznych pułapkach dipolowych. Oba typy pułapek posiadają szereg zalet i wad, natomiast łączy je ważna wspólna cecha – są to pułapki konserwatywne (zachowujące energię), a zatem same w sobie nie powodują dalszego chłodzenia atomów. Chcąc uzyskać niższe temperatury należy znaleźć mechanizm, który pozwoli na dalsze wytracanie energii atomów. Jednym z takich procesów jest opisane poniżej chłodzenie próbki poprzez *odparowanie* najgorętszych atomów.



Rys. 1. Logo projektu Cold Atom Laboratory [1] i jednocześnie główna części pułapki do chłodzenia gazów atomowych. Widoczne są przecinające się pary wiązek laserowych i cewki magnetyczne pułapki MOT. U góry znajduje się chip z nadrukowanymi ścieżkami, które tworzą cewki pułapki magnetycznej. Wewnątrz szklanej komory pokazana jest chmura zimnych atomów

Jeżeli z pułapki usunie się grupę atomów niosących najwięcej energii (odparowanie), to średnia energia przypadająca na atom pozostający w pułapce się obniży. Taki układ, po pewnym czasie, dochodzi do stanu równowagi termodynamicznej odpowiadającego obniżonej temperaturze. Wielokrotnie powtarzając proces usuwania najgorętszych atomów z pułapki możemy zatem osiągnąć coraz niższą temperaturę. Nie istnieje ograniczenie na najniższą możliwą do uzyskania w tym procesie temperaturę, natomiast należy wziąć pod uwagę, że czas potrzebny na to, by układ doszedł do stanu równowagi termodynamicznej wydłuża się wraz z obniżaniem temperatury próbki. Zatem dalsze chłodzenie wymaga coraz to większego czasu, a ponadto wiąże się z ciągłym ubytkiem atomów. Istnieje także szereg procesów, które powodują podgrzewanie atomów w pułapce, np. zderzenia z atomami tła w aparaturze próżniowej czy też niestabilność pól pułapki. W konsekwencji udaje się osiągnąć temperatury w zakresie 10–100 nK. W takich warunkach atomy odkrywają swoją prawdziwie *kwantową* naturę.

Atomy w ultraniskich temperaturach i kondensat Bosego-Einsteina

W 1995 roku Eric Cornell i Carl Wieman oraz niezależnie Wolfgang Ketterle otrzymali nowy stan materii nazywany kondensatem Bosego-Einsteina, za co później również otrzymali Nagrodę Nobla. Schładzali oni w pułapkach magnetycznych atomy rubidu-87 (Cornell, Wieman) oraz sodu-23 (Ketterle). Są to bozony, czyli atomy, których moment pędu jest liczbą całkowitą. Gdy temperatura atomów była rzędu 100 nK atomy przechodziły w stan, który odpowiadał

pojedynczej fali materii. Zjawisko kondensacji bozonów zostało przewidziane już w roku 1924 przez Satyendrę Bosego i Alberta Einsteina.

Atomy w pułapce, mimo bardzo niskiej energii kinetycznej, nie zastygają, lecz nieustannie zderzają się z sobą. Gdy średnia odległość między cząsteczkami jest mniejsza niż długość fali materii de Broglie'a (odwrotność pędu), uwiadcniają się zupełnie „dziwaczne” prawa rządzące materią w skali atomowej i takie gazy przyjęło się nazywać gazami kwantowymi. W ultraniskich temperaturach możliwe jest zarówno obserwowanie atomów jako pojedynczych cząstek, jak też w postaci spójnych fal materii. Jednym z pierwszych doświadczeń wykonanych z kondensatem było jego rozdzielenie na dwie części i ponowne połączenie. Przy ponownym zbliżaniu dwóch chmur kondensatu do siebie, atomy nie mieszały się jak typowe gazy, lecz interferowały w sposób charakterystyczny dla fal: atomy dodane do atomów produkowały prążki interferencyjne - cienkie obszary materii przedzielone pustą przestrzenią.

Obecnie prowadzone na świecie badania zimnej materii obejmują nie tylko atomy bozonowe, ale także fermiony, mieszaniny atomów podlegających obu statystykom oraz proste cząsteczki. Głównym kierunkiem prowadzonych w tej dziedzinie badań jest modelowanie oddziaływań znanych z fizyki materii skondensowanej przy wykorzystaniu atomów umieszczonych w tzw. sieciach optycznych, czyli w potencjałach powstających z interferencji wiązek laserowych. Duża swoboda w dobieraniu geometrii (topologii) tych potencjałów pozwala na symulowanie interesujących układów fizycznych. Dla przykładu atomy w sieci o wzorze typu plaster miodu (*honeycomb*) mogą przejawiać cechy bezmasowych cząstek Diraca, podobnie do elektronów w grafenie. Drugim istotnym zastosowaniem zimnej materii jest bardzo precyzyjna metrologia, w szczególności niezwykle dokładne pomiary pól elektromagnetycznych, grawitacji i czasu. Bardzo ciekawymi badaniami są także studia nadciekłości, kwantowego efektu Halla, magnetycznych stanów sfrustrowanych, reakcji chemicznych zachodzących przy najniższych możliwych energiach, czy też tworzenie koherentnych źródeł fal materii – atomowych laserów.

Wspomniane powyżej kierunki badań stanowią jedynie niewielki, subiektywnie wybrany zbiór z dziedziny badań ultrazimnej materii, która przeżywa w ostatnich latach gwałtowny rozwój. Wobec tak bogatej możliwości prowadzenia doświadczeń w warunkach ziemskich pojawia się pytanie – dlaczego wysłać układ doświadczalny na stację kosmiczną? Odpowiedzią jest brak przyciągania ziemskiego, a ściślej mikrogravitacja. Już teraz prowadzi się badania zimnych atomów w warunkach bliskich nieważkości – na pokładach samolotów i raket poruszających się po paraboli spadku swobodnego w ziemskim polu grawitacyjnym. Pozwala to na „wyłączenie” grawitacji na krótkie chwile, za cenę ograniczonego czasu i wysokich kosztów prowadzenia takich doświadczeń. Stacja kosmiczna oferuje natomiast mikrogravitację na co dzień.

Zimne atomy a międzynarodowa stacja kosmiczna

Podstawowe reguły termodynamiki powodują, że rozprężający się adiabatycznie gaz równocześnie się ochładza. Można się o tym łatwo przekonać przyciskając dłużej końcówkę sprayu, np. dezodorantu. Podobne zjawisko zachodzi także dla gazów kwantowych. W przypadku planowanego eksperymentu NASA rolę puszki sprayu będzie pełnił pułapka magnetyczna. Osłabianie pola magnetycznego pułapki prowadzi do zmniejszenia potencjału pułapkującego i adiabatycznej ekspansji gazu. Na Ziemi pułapka musi być na tyle silna, by przeciwdziałała grawitacji i podtrzymywała atomy. W przypadku mikrogravitacji na stacji kosmicznej proces osłabiania pułapki i możliwego ochładzania można prowadzić znacznie dalej. Temperatura gazu atomowego możliwa do uzyskania w takich warunkach jest szacowana na około 100 pK. Długość de Broglie'a dla atomów rubidu i potasu, które będą schładzane na pokładzie ISS, odpowiada w takiej temperaturze grubości ludzkiego włosa, a więc jest gigantyczna w skali atomowej. Otwiera to drogę do tworzenia zupełnie makroskopowych fal materii kwantowej, które mogą być wykorzystywane do niezwykle precyzyjnej interferometrii i tworzenia kwantowych sensorów.

Podsumowanie

NASA wybrała już siedem projektów naukowych, z których pięć będzie prowadzonych na pokładzie stacji kosmicznej w laboratorium zimnych atomów (Cold Atom Laboratory, CAL). Dwa wspomagające projekty będą realizowane w naziemnych laboratoriach i posłużą planowaniu przyszłych doświadczeń na stacji. Pośród zespołów badawczych, które będą je realizować, jest trzech laureatów Nagrody Nobla. Konsekwencje tych eksperymentów mogą być niezwykle interesujące. Zawsze bowiem „otwarcie” nowego zakresu dostępnych parametrów wiąże się z szeregiem odkryć. NASA już teraz ogłosiła projekt hasłem *The Coolest Spot in the Universe*.

Źródła:

- [1] Strona projektu Cold Atom Laboratory <http://coldatomlab.jpl.nasa.gov/>
- [2] NASA ScienceCasts: The Coolest Spot in the Universe http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/30jan_coldspot/
- [3] *Fizyka zimnych atomów: temperatury niższe niż w kosmosie*, W. Gawlik, *Postępy Fizyki* 53D (2002), http://postepy.ptf.net.pl/tl_files/postepy/pdf/2002/pf53zds54.pdf



O paradoksie bliźniąt nieco inaczej. Paradoks i jego kontekst – cz. I

Leszek M. Sokołowski

Obserwatorium Astronomiczne UJ

Najslawniejszym i najbardziej spektakularnym paradoksem, na jaki napotyka się każdy poznający Szczególną Teorię Względności, czy to na poziomie literatury popularnonaukowej, czy w ramach akademickiego kursu fizyki, jest paradoks bliźniąt. Ostatnio przywołał go w „Tygodniku Powszechnym” (z 14 września 2014) profesor Stanisław Bajtlik w recenzji książki *Paradoks. Dziesięć największych zagadek fizyki*, wymieniając w tym kontekście również moje nazwisko. Redakcja *Fotonu* zwróciła się więc do mnie, abym go dokładniej omówił.

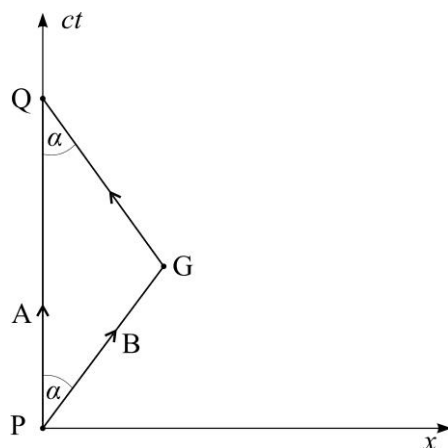
O paradoksie tym napisano mnóstwo, bowiem spora część tych, którzy się z nim zmagali, uznała za stosowne opublikować swoje przemyślenia. Ogromna większość tych tekstów jest bezwartościowa, gdyż albo jest błędna, albo też na rozmaite sposoby powtarza te same argumenty, które chociaż prawdziwe, to stosują się tylko do najprostszej wersji paradoksu i niewiele wyjaśniają. Jak pisze prof. Bajtlik, również w recenzowanej książce (znanego popularyzatora fizyki) podane jest fałszywe wyjaśnienie. Co dziwniejsze, ogół uniwersyteckich podręczników fizyki ogranicza się do najprostszej wersji paradoksu, co czyni czytelnika bezradnym wobec wersji bardziej realistycznych, a przede wszystkim skrywa przed nim istotę sprawy. Jak się rzecz ma naprawdę, opisują tylko nieliczne zaawansowane monografie. Chcę zatem naszkicować sedno sprawy. Nie aspiruję do tego, by tym artykułem wszystko wyjaśnić i sprawę zamknąć – co to, to nie. Chcę wskazać, jak szukać rozwiązania, albowiem odwołuje się ono do samej istoty teorii względności.

Początki problemu

W 1905 roku w słynnej pracy, w której sformułował Szczególną Teorię Względności, Einstein napisał: „Jeśli w punkcie A znajdują się dwa zsynchronizowane zegary, a następnie jeden z nich porusza się wzdłuż dowolnej linii zamkniętej ze stałą prędkością v , aż powróci do A, co wymaga t sekund, to po powrocie zegar ten będzie się późnił w stosunku do zegara, który pozostawał w spoczynku, o $\frac{1}{2}(v/c)^2 t$ sekund”.

To niepozorne twierdzenie, świadczące o tym, że od początku Einstein widział daleko idące konsekwencje swojej teorii, wzbudziło zainteresowanie czołowych fizyków tamtej epoki, usiłujących zrozumieć zgodność tego „paradoksu zegarów” z fundamentalnymi tezami tej teorii. W 1911 roku francuski fizyk

Paul Langevin nadał mu bardziej pogładową i „zhumanizowaną” postać, formułując go jako „paradoks bliźniąt”. Para bliźniąt, czyli z definicji dwu osobników w równym wieku, w pewnym momencie rozdziela się: bliźniak A pozostaje cały czas w jednym inercyjnym układzie odniesienia, wyznaczonym przez Ziemię (zaniedbujemy dobowy ruch i roczny ruch orbitalny Ziemi), a bliźniak B odbywa podróż z relatywistyczną prędkością do jakiejś gwiazdy, po wielu latach lotu w obie strony wraca na Ziemię i spotyka się z A. Gdy utożsamimy się czas biologiczny z fizycznym, to okaże się, że z twierdzenia Einsteina wynika, iż B jest młodszy od A. Aby to ująć liczbowo, wprowadzamy upraszczające założenie: B startuje z Ziemi z gigantycznym (niemal nieskończonym) przyspieszeniem, by w jak najkrótszym czasie osiągnąć docelową relatywistyczną prędkość v , podróżuje z nią aż do gwiazdy G, tuż przy niej hamuje momentalnie, zawraca, błyskawicznie rozpędza się do prędkości v , leci z nią do Ziemi, tam hamuje i staje obok A. Założenie jest nierealistyczne, bo przy zbyt dużym przyspieszeniu astronauta wraz z rakieta zamieni się w płynny placek; pomińmy jednak tę trudność. Ruch B jest przestrzennie jednowymiarowy i jako ruch w czasoprzestrzeni możemy przedstawić go graficznie na tzw. *diagramie Minkowskiego*: dwuwymiarową czasoprzestrzeń rysujemy na płaszczyźnie euklidesowej. Na osi poziomej odkładamy odległość x bliźniaka B od Ziemi w chwili t (odległość tę mierzymy w układzie inercyjnym Ziemi i czas t jest mierzony ziemskimi zegarami), na osi pionowej odkładamy iloczyn ct , gdzie c jest mierzalną prędkością oddziaływań fundamentalnych, w praktyce laboratoryjnej utożsamianą z prędkością światła w próżni. W każdej chwili położenie B na diagramie jest punktem o współrzędnych kartezjańskich (x, ct) i z upływem czasu punkt ten nakreśla krzywą, zwaną *linią świata* B (rys. 1).



Rys. 1

Przy założeniu nieskończonego przyspieszenia B jego linia świata jest prostą łamaną przy gwieździe G, przy czym linia ta w punkcie startowym P i końco-

wym Q tworzy z osią czasu jednakowy kąt α . Z rysunku widać, że $\tan \alpha = x/ct = vt/ct = v/c$, czyli kąt α jest zawsze mniejszy od 45° . Teraz widać paradoks. Pomijając dowolnie krótki okres przyspieszania B , obaj bliźniacy spoczywają w układach inercjalnych. Według zasady względności Galileusza-Einsteina wszystkie układy inercjalne są fizycznie równoważne. Stąd i ze stałości prędkości c wynika zjawisko *dylatacji czasu*: zegar poruszający się względem danego obserwatora (tzn. danego układu inercjalnego) idzie wolniej niż zegar tego obserwatora. Zatem zegar B obserwowany przez bliźniaka A spóźnia się względem zegara A , lecz zegar A obserwowany przez B spóźnia się względem zegara B . Skoro tak, to dlaczego w momencie powrotu (punkt Q na diagramie) bliźniak B i jego zegar są młodszy od A ?

Trzy poziomy paradoksu

Paradoks bliźniąt można rozpatrywać na trzech poziomach, zależnie od tego, o co pytamy i jak głęboko chcemy zrozumieć jego naturę. Na pierwszym, najniższym poziomie, chcemy zrozumieć skąd w ogóle bierze się asymetria wieku bliźniąt, skoro ich układy inercjalne są równoprawne. Na drugim poziomie pytamy dlaczego bliźniak B okazuje się młodszy, skoro patrząc na rys. 1 i zgodnie z intuicją sądzimy, że to on odbył dłuższą podróż w czasoprzestrzeni. Na najwyższym, trzecim poziomie pytamy o opis zjawiska w wersji realistycznej: bliźniak A leci z Ziemi do gwiazdy G_1 , bliźniak B podróżuje do gwiazdy G_2 i wracają na Ziemię równocześnie, obaj rozpędzają się i hamują z niewielkim przyspieszeniem, takim by przeżyć, w rezultacie niemal całą podróż odbywają ze zmiennymi prędkościami. Nie muszę chyba przekonywać, że tylko wyjaśnienie na tym poziomie daje nam właściwe zrozumienie całego paradoksu. Dodam, że ten poziom problemu można jeszcze rozszerzyć: zapytać, jak wygląda czas podróży każdego bliźniaka nie w idealnej czasoprzestrzeni Minkowskiego pozbawionej materii, lecz w czasoprzestrzeni zakrzywionej polami gravitacyjnymi gwiazd i innych ciał niebieskich. To rozszerzenie ogromnie komplikuje matematycznie problem i jest obecnie przedmiotem badań fizyków-relatywistów. Możemy je sobie tutaj darować i zająć się względnie prostym problemem w ramach Szczególnej Teorii Względności.

Jak wspominałem, na ogół rozpatrzenie paradoksu ogranicza się do poziomu pierwszego i połowicznego wyjaśnienia na poziomie drugim, bowiem w najprostszej wersji – jak na rys. 1 – te dwie kwestie są z sobą sprzężone. Szybko zauważono, że symetrii między bliźniakami nie ma, bowiem astronauta trzykrotnie zmienia układ inercjalny, w którym spoczywa: przy starcie (punkt P), nawracając przy gwiazdzie (G) i hamując przy Ziemi (Q). Można wyliczyć czas podróży t_B astronauty zmierzony jego zegarem, jeżeli znamy czas podróży t_A zmierzony Zegarem na Ziemi. Nie podaję tego rachunku, bo można go znaleźć w licznych książkach, jest nieprzejrzysty i niewiele wyjaśnia, pokazuje jedynie, że w tym konkretnym przypadku $t_B < t_A$. Można jakościowo, bez tego rachunku,

ustalić, że astronauta jest w momencie spotkania w Q młodszy od A, rozpatrując diagram Minkowskiego. Traktujemy odcinki PG i GQ linii świata B jako osie czasu układów inercjalnych w drodze „tam” i „z powrotem”. Osie czasu wyznaczają w tych dwu układach hiperpłaszczyzny równoczesności, czyli trójwymiarowe przestrzenie fizyczne złożone z punktów (zdarzeń) o tej samej współrzędnej czasowej. Gdy te hiperpłaszczyzny (przedstawione jako linie proste) nanieść na diagram na rys. 1, to okaże się, że naglej zmianie układu inercjalnego w punkcie G towarzyszy obrót tych hiperpłaszczyzn, tak że nie będą one pokrywać całego odcinka PQ linii świata A. W rezultacie okaże się, że $t_A > t_B$. Celowo nie podaję również tej konstrukcji – jest ważna i interesująca sama w sobie, lecz dla paradoksu bliźniąt bez znaczenia. Wyjaśnia jedynie, dlaczego błyskawiczna zmiana układów odniesienia używanych przez B powoduje dużą różnicę $t_A - t_B$. To niewiele.

Jak niewiele, zobaczymy, gdy weźmiemy drugą, również prostą wersję paradoksu. Teraz bliźniak B krąży po okręgu o promieniu R ze stałą prędkością v i stałym przyspieszeniem dośrodkowym a . W tym przypadku rachunki oparte na transformacji Lorentza są dużo trudniejsze wskazując, że dla bardziej złożonego ruchu będziemy całkowicie bezradni. Co robić?

Zauważmy na początek, że skoro różnica wieku bliźniąt jest zjawiskiem rzeczywistym (zmierzonym eksperymentalnie), to jego opis nie może zależeć od wyboru używanego układu odniesienia (jak to ma miejsce w przypadku dylatacji czasu), a powyższy przykład wskazuje, że nie istnieje układ inercjalny, w którym ten opis da się wyprowadzić w sposób najprostszy. Posługiwanie się transformacją Lorentza między różnymi układami nie wystarczy.

Geometria czasoprzestrzeni

W fizyce często dogłębne zrozumienie konkretnego zjawiska wymaga zbudowania pełnej teorii, która opisuje obszerny zbiór zjawisk, a nie tylko to, dla którego ją skonstruowano. Szczególna teoria względności to dużo więcej niż transformacja Lorentza. Dla zrozumienia paradoksu bliźniąt i innych paradoksów pojawiających się w niej potrzebujemy znajomości geometrii czasoprzestrzeni.

Najbardziej fundamentalnym opisem wszelkich zjawisk fizycznych jest podanie gdzie i kiedy dane zjawisko zaszło. Rozpatrujemy zjawiska elementarne, zwane zdarzeniami, które są zlokalizowane przestrzennie i momentalne (trwają bardzo krótko). Jeżeli Ziemię potraktować (w przybliżeniu mechaniki niebieskiej) jak punkt materialny, to zdarzeniem będzie każde jej chwilowe położenie na orbicie wokół Słońca w momencie, gdy piszę jakąś literę tego tekstu. Zdarzeniem jest także to, gdy w danym miejscu i czasie nie ma żadnej materii, więc nic się tam nie dzieje. Aby liczbowo opisać zdarzenia, konieczny jest fizyczny układ odniesienia – wszelkie pomiary fizyczne wykonujemy w jakimś wybranym układzie odniesienia. Tak jak punkt na płaszczyźnie identyfikujemy za

pomocą współrzędnych w jakimś dowolnie wybranym układzie współrzędnych, np. w pewnym układzie kartezjańskim, tak zdarzenie identyfikujemy w wybranym układzie odniesienia za pomocą gęstej kratownicy sztywnych prętów, której węzły określają współrzędne przestrzenne tego zdarzenia oraz zbioru zegarów umieszczonych w tych węzłach, wyznaczających moment jego zajścia. Pełna konstrukcja układu odniesienia jest złożona, więc jej tu nie omawiam. Zbiór wszystkich zdarzeń tak opisanych w dowolnym układzie odniesienia ma własności zbioru punktów geometrycznych, więc możemy go uznać za przestrzeń matematyczną, lecz aby nie mylił się ze zwykłą trójwymiarową przestrzenią fizyczną, nazywamy go *czasoprzestrzenią*. Czasoprzestrzenie wyznaczone przez różne układy odniesienia są identyczne, bowiem każde zdarzenie ma obiektywny sens fizyczny niezależny od wyboru układu odniesienia, jedynie współrzędne zdarzenia (punktu w czasoprzestrzeni) są różne w różnych układach. Jest tu dokładnie tak samo jak ze współrzędnymi punktów na płaszczyźnie i w przestrzeni euklidesowej w różnych układach współrzędnych.

Jak zauważył najpierw Galileusz, rozwinął Newton i ostatecznie sformułował Einstein, w nieskończonym zbiorze układów odniesienia istnieją układy wyróżnione – *inercjalne*, w których prawa fizyki mają postać najprostszą, a w konsekwencji w nich opis większości procesów fizycznych (poza szczególnymi przypadkami) jest też najprostszy. Układy inercjalne w fizyce są jak układy współrzędnych kartezjańskich w przestrzeni euklidesowej. Ta analogia jest bardzo silna. Tak jak współrzędne kartezjańskie wyrażają fundamentalne własności geometrii euklidesowej (na sferze, która ma geometrię nieeuklidesową, nie ma współrzędnych kartezjańskich), chociaż nie identyfikują jej jednoznacznie, tak istnienie inercjalnych układów odniesienia prawie definiuje geometrię czasoprzestrzeni. Cała fizyka klasyczna (przed Einsteinem), Szczególna Teoria Względności, mechanika kwantowa i teorie wobec nich pochodne, wszystkie bazują na pojęciu układu inercjalnego. Poprawna definicja układu inercjalnego powstała dopiero po sformułowaniu Ogólnej Teorii Względności w 1916 roku (i to wiele lat później) – dzięki temu, że teoria ta pojęcie to zakwestionowała. Tutaj zjawiska grawitacyjne zaniedbujemy i uznajemy istnienie układów inercjalnych. Definicja ta jest matematycznie zaawansowana (wymaga geometrii różniczkowej) i w rezultacie w podręcznikach fizyki (za wyjątkiem niektórych kursów OTW) jest ignorowana, a na jej miejsce wprowadza się definicję niepełną, w której układ inercjalny jest zdefiniowany za pomocą procedury eksperymentalnej sprawdzającej, czy w danym układzie odniesienia jest spełniona pierwsza zasada dynamiki Newtona. Pomińmy również te subtelności i przyjmijmy, że prawidłowo rozpoznajemy układy inercjalne.

Jak konkretnie zidentyfikować geometrię czasoprzestrzeni? Podobnie jak w innych przestrzeniach matematycznych, mamy 2 równoważne metody, zaproponowane w roku 1872 przez niemieckiego matematyka Felixa Kleina. Pierwsza metoda polega na badaniu transformacji pomiędzy wyróżnionymi

układami współrzędnych. W geometrii euklidesowej dowolne dwa układy kartezjańskie można przekształcić jeden w drugi w taki sposób, że najpierw jeden układ przesuwa się (*translacja*) tak, by jego punkt początkowy pokrył się z punktem początkowym drugiego, a następnie obraca się go tak, by pokryły się osie obu układów. Krótko: transformacje układów kartezjańskich to obroty i translacje. Analogicznie, dowolne dwa układy inercjalne poruszają się względem siebie jednostajnie prostoliniowo, a ich osie są względem siebie obrócone. Tu jednak pojawia się zasadnicza trudność. W przestrzeni euklidesowej, zdefiniowanej za pomocą aksjomatów Euklidesa, łatwo ustalić metodami geometrii analitycznej, jawne wzory na zmianę współrzędnych przy translacjach i obrótach. W czasoprzestrzeni tak nie jest, samo istnienie układów inercjalnych nie definiuje jej jednoznacznie. Poczynając od Newtona, przez dwieście lat fizycy święcie wierzyli, że między układami inercjalnymi istnieje tylko jedna, zdroworoządkowa, transformacja, w XX wieku nazwana transformacją Galileusza. Tak nie jest, transformację między układami albo trzeba zadać dość arbitralnie i wtedy wyznaczy ona geometrię czasoprzestrzeni, albo korzystając z dodatkowej informacji fizycznej ustalić poprawną transformację. Odwołując się do eksperymentu optycznego Michelsona i Morleya, holenderski fizyk Hendrik Lorentz, wyznaczył tę transformację, lecz przed Einsteinem nikt nie rozumiał jej treści fizycznej.

Transformacja Lorentza jest więc ogromnie ważna, lecz istota rzeczy tkwi w geometrii. Transformacja ta jest narzędziem, jakiego używamy do ustalenia geometrii i do wyrażenia niezmienniczości praw fizyki przy zmianach układu inercjalnego. I te układy, i te transformacje między nimi są dla nas, nie dla materii, materia czuje tylko geometrię czasoprzestrzeni. Dodam, że nie istnieje jedna taka transformacja; to, co popularnie nazywa się „transformacją Lorentza” jest faktycznie bardzo szczególnym przypadkiem ogólnej transformacji między układami inercjalnymi, tak jak obrót płaszczyzny Oxy wokół osi Oz jest bardzo szczególnym przykładem obrotu w przestrzeni. Ogólna transformacja Lorentza jest tak skomplikowana, że w praktyce używa się jej rzadko. W sumie, transformacje te wyznaczają geometrię czasoprzestrzeni, lecz eksponują ten jej aspekt, który dla paradoksu bliźniąt i wielu innych zjawisk relatywistycznych jest mało użyteczny. Należy zatem odwołać się do drugiej, równoważnej metody Kleina.

Wyjaśniam ją na przykładzie. Odchyłam krzesło tak, by stało na jednej nodze i miało na podłodze praktycznie jeden punkt podparcia. Obracam krzesło wokół dowolnej osi przechodzącej przez ten punkt i obracając je zmieniam w sposób ciągły oś obrotu. Można opisać matematycznie krzywą, jaką przy tym ruchu zakreśla w przestrzeni dowolny punkt krzesła, np. najwyższy punkt oparcia, lecz jest to krzywa tak skomplikowana, że wyznaczenie jej jest trudne, a przede wszystkim, z jej skomplikowanego wzoru niewiele można wywnioskować. Istotna jest inna informacja – że jest to *obrót bryły sztywnej*, różniący

się od obracania np. poduszki. Przy obrocie sztywnym odległość pomiędzy parą dowolnych punktów bryły nie zmienia się, nie jest ona zgniatana, ani rozciągana jak poduszka. Odległość jest więc niezmiennikiem obrotów i translacji w przestrzeni euklidesowej. Geometrię euklidesową charakteryzuje stwierdzenie, że posiada ona niezmiennik, jakim jest odległość dowolnych dwóch punktów przestrzeni. Gdy tę odległość zdefiniujemy w znany sposób (stosując twierdzenie Pitagorasa we współrzędnych kartezjańskich), to w konsekwencji jedynymi dopuszczalnymi odwzorowaniami (przekształceniami) przestrzeni euklidesowej w siebie są translacje i obroty. Mówimy, że geometria euklidesowa jest *geometrią metryczną z metryką euklidesową*, gdzie „metryka” jest matematycznym określeniem na sposób definiowania odległości.

Analogicznie, ktoś znający ogólną transformację Lorentza (a przynajmniej tę powszechnie znaną „szczególną transformację Lorentza”) może z niej wyprowadzić niezmiennik określający geometrię czasoprzestrzeni. Skąd jednak tę transformację wziąć, przecież przy tym podejściu nie możemy zakładać, że ją znamy? Trzeba skonstruować ten niezmiennik w inny sposób. Rozumujemy następująco. Rozpatrujemy parę bliskich punktów P i Q w czasoprzestrzeni, tzn. takich, że w każdym inercyjnym układzie odniesienia ich współrzędne różnią się o wielkość nieskończenie małą, czyli o różniczkę. Bierzymy dwa dowolne inercyjne układy odniesienia, S i S'. W S współrzędne obu punktów są P(ct, x, y, z) i Q(ct + cdt, x + dx, y + dy, z + dz), a w S' – P(ct', x', y', z') oraz Q(ct' + cdt', x' + dx', y' + dy', z' + dz'). Wprowadzamy *interwał czasoprzestrzenny* pomiędzy tymi zdarzeniami, ds(P,Q), który definiujemy wzorem określającym kwadrat interwału. Ponieważ w teorii względności najczęściej operujemy kwadratami różniczek rozmaitych wielkości, dla wygody zapisu opuszczamy nawiasy i piszemy $ds^2 \equiv (ds)^2$, $dx^2 \equiv (dx)^2$ itd., nigdy df^2 nie oznacza $d(f^2)$. Z tą konwencją definiujemy w układzie S

$$ds^2 \equiv c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (1)$$

i analogicznie w S',

$$ds'^2 \equiv c^2 dt'^2 - dx'^2 - dy'^2 - dz'^2. \quad (2)$$

W obu układach stosujemy tę samą uniwersalną stałą fizyczną o wymiarze prędkości c, bowiem są one fizycznie równoważne. Gdyby nie znak minus przy współrzędnych przestrzennych, mielibyśmy wyrażenie takie jak kwadrat odległości w przestrzeni euklidesowej o czterech wymiarach. Jaki jest związek między ds i ds'? Znając transformację Lorentza moglibyśmy to łatwo wyliczyć, lecz z założenia nie dysponujemy nią. Niech zdarzenie P będzie emisją sygnału świetlnego (fotonu, czyli cząstki niemal punktowej biegnącej w określonym kierunku z prędkością c), a zdarzenie Q – dotarciem tego sygnału do pobliskiego punktu w przestrzeni. W układzie S odległość przestrzenna dl obu zdarzeń jest dana kwadratem

$$dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2, \quad (3)$$

a jednocześnie jest równa $dl = c dt$. Dostajemy więc $ds(P,Q) = 0$. Z kolei w S' wielkości dt' , dx' itd. są inne, więc dla odległości przestrzennej tych zdarzeń mamy

$$dl'^2 = dx'^2 + dy'^2 + dz'^2 \neq dl^2, \quad (4)$$

lecz sygnał biegnie z tą samą prędkością c i $dl' = c dt'$, zatem również w tym układzie $ds'(P,Q) = 0$. Dochodzimy do ważnego wniosku: *jeżeli interwał czasoprzestrzenny jest zerem w jednym układzie inercyjnym, to znika we wszystkich układach inercyjnych*. Ten wynik uzasadnia obecność znaków minus w definicjach (1) i (2).

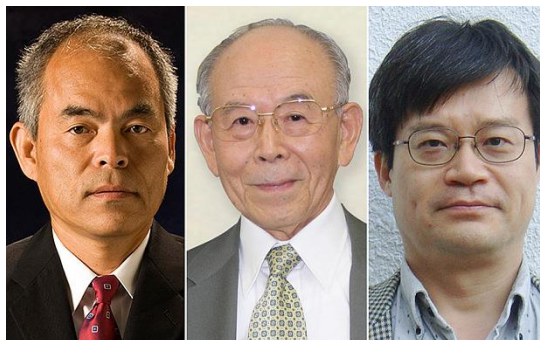
A co się dzieje, jeżeli $ds \neq 0$, zatem i $ds' \neq 0$? Odpowiedniego rozumowania nie mogę tu przedstawić. Wynik końcowy brzmi: interwał czasoprzestrzenny jest niezmiennikiem transformacji pomiędzy układami inercyjnymi, czyli że dla dwu dowolnych układów inercyjnych jest $ds = ds'$. Mówimy: czasoprzestrzeń ma geometrię metryczną z odległością (interwałem) punktów bliskich daną wzorem (1). Tę czasoprzestrzeń nazywamy (czaso)przestrzenią Minkowskiego, a jej geometrię – geometrią Minkowskiego, na cześć matematyka niemieckiego Hermanna Minkowskiego, który wprowadził ją w 1908 roku. Mając określoną geometrię czasoprzestrzeni (faktycznie trzeba jeszcze dołożyć szereg założeń czysto matematycznych, które tu nie grają roli) możemy powiedzieć czym właściwie jest teoria Einsteina. Szczególna Teoria Względności to system fizycznie zinterpretowanych twierdzeń geometrii Minkowskiego. (Zauważmy, że w tej definicji nie mówi się nic o ruchach z prędkościami relatywistycznymi. STW to coś więcej niż fizyka takich zjawisk.) Twierdzenia, które nie mają charakteru twierdzeń tej geometrii, nie wchodzi do korpusu teorii względności. Geometryczny opis zjawisk relatywistycznych nie tylko powoduje, że znikają wszystkie paradoksy, przede wszystkim daje głębsze zrozumienie tych zjawisk.

Co będzie dalej?

W drugiej części artykułu sformułuję paradoks bliźniąt za pomocą pojęć geometrii Minkowskiego. Wykażę najpierw, że to, co mierzy poruszający się dowolnie dobry zegar, gdy jest wyrażone w odpowiednich jednostkach, jest prosto długością (w sensie interwału czasoprzestrzennego) jego linii świata. I wtedy paradoks zniknie – zamiast niego mamy geometryczną oczywistość: z jednego miejsca w drugie można przejść po różnych drogach i każda ma inną długość. Wyjaśnię też pewną subtelność sprzeczną z intuicją: który bliźniak jest młodszy. Na koniec opiszę pewien eksperyment makroskopowy, w którym tę różnicę wieku bliźniąt (zegarów) zmierzono.

KOMUNIKAT**Nagroda Nobla z fizyki 2014**

Tegoroczną Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki otrzymali trzej twórcy niebieskiej diody LED – Japończycy **Isamu Akasaki** i **Hiroshi Amano** oraz **Shuji Nakamura** z USA, dzięki którym energooszczędne i trwałe świecące diody zastępują żarówki i świetlówki.



Shuji Nakamura Isamu Akasaki Hiroshi Amano

Komitet docenił – jak napisano w uzasadnieniu przyznania nagrody – wynalazenie przez naukowców „wydajnych diod emitujących światło niebieskie, które pozwoliły na stworzenie jasnych i energooszczędnych źródeł światła białego”. „Ich wynalazki były rewolucyjne. Żarówki oświetlały wiek XX; wiek XXI oświetlą diody LED” – napisali członkowie Komitetu Noblowskiego. Ich zdaniem może to poprawić jakość życia 1,5 mld ludzi na świecie bez dostępu do sieci elektrycznej. Dzięki niewielkiemu zapotrzebowaniu na energię niebieskie diody LED mogą być bowiem zasilane tanimi źródłami energii, np. bateriami słonecznymi.

Emitujące światło diody LED bardzo wydajnie zamieniają energię elektryczną na światło. Są dużo trwalsze od żarówek czy świetlówek. W przeciwieństwie do świetlówek mogą być szybko i często włączane i wyłączane, bez szkody dla trwałości, i nie zawierają trującej rtęci.

85-letni Isamu Akasaki jest jedną z najstarszych osób, które otrzymały Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. Długo czekał na moment, w którym jego badania zostaną docenione. Nie tracił nadziei, choć jego otoczenie sugerowało, że XX wiek nie przyniesie mu uznania i sławy. „Ja nigdy nie myślałem w ten sposób. Po prostu robiłem swoje” – stwierdził sam Akasaki na konferencji zorganizowanej w dniu ogłoszenia laureatów.

Jego młodszy współpracownik i współlaureat Nagrody Nobla, 54-letni Hiroshi Amano ma nadzieję, że jego odkrycia nieustannie poprawiają jakość życia ludzi. Obecnie pracuje jako profesor na Uniwersytecie Nagoya.

Trzeci z noblistów, prof. Shuji Nakamura, urodził się w 1954 roku w Japonii, ale obecnie jest obywatelem USA i tam też pracuje na University of California. „Mam nadzieję, że oszczędne lampy LED pomogą zmniejszyć zużycie energii i obniżą koszty oświetlenia na całym świecie” – powiedział Nakamura na wieść o przyznaniu mu Nagrody Nobla.

Paweł Tomaszewski w *Biuletynie Roku Czochralskiego*¹ skomentował:

Nie byłoby w tej nagrodzie nic szczególnego, gdyby nie osoba prof. Nakamury, ur. w 1954 r. w Japonii, twórcy niebieskiego lasera na bazie kryształu azotku galu GaN. Otóż prof. Nakamura jest laureatem dwóch nagród odnoszących się do... Czochralskiego! W sierpniu 2000 r. otrzymał w Japonii **Nagrodę CGCT-1** (za badania i rozwój źródeł niebieskiego LED), której wyrazem był medal z wizerunkiem Jana Czochralskiego. We wrześniu 2007 r. został uhonorowany w Warszawie **Nagrodą Czochralskiego** w postaci medalu z portretem Czochralskiego. Możemy więc być dumni, że „nasz” laureat otrzymał najwyższe wyróżnienie naukowe – Nagrodę Nobla. Cóż, nie od dziś wiadomo, że noblistami zostają osoby wcześniej zauważone i nagradzane :-)

Szkoda tylko, że nie dostrzeżono polskiego wkładu w badaniach GaN.



Redakcja

¹ Biuletyn Społecznego Komitetu Roku Czochralskiego, rok III, nr 44/98, 7 października 2014 r., wydanie specjalne.



Internetowe zasoby edukacyjne do nauczania/uczenia się fizyki kwantowej

Ewa Dębowska

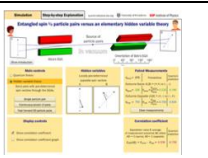

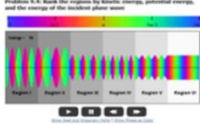
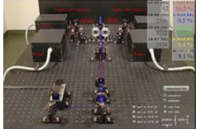
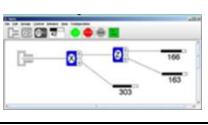
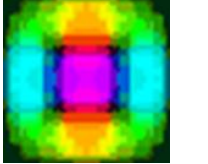
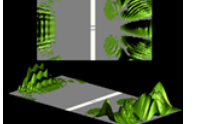
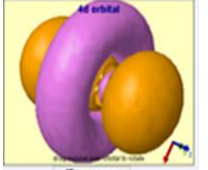
Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski

Celem tego artykułu jest zapoznanie nauczycieli szkolnych i akademickich z dostępnymi w Internecie materiałami edukacyjnymi do nauczania/uczenia się fizyki kwantowej i mechaniki kwantowej. Ocena materiałów została dokonana przez grupę Multimedia in Physics Teaching and Learning (MPTL) działającą w ramach Sekcji Nauczania przy Europejskim Towarzystwie Fizycznym (EPS) oraz amerykańską grupę Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching (MERLOT). Każdego roku, stosując ustalone wcześniej kryteria oceny, obie grupy rekomendują wspólnie strony internetowe „excellent” i „very good” poświęcone wybranemu działowi fizyki. Pełne teksty poszczególnych raportów, niestety nie wszystkie, można znaleźć pod adresem <http://www.mptl.eu/>. Na tegorocznej konferencji GIREP – MPTL 2014 w Palermo (7–12 lipca 2014), rekomendowane były strony poświęcone nauczaniu/uczeniu się fizyki kwantowej i mechaniki kwantowej.

W tegorocznym przeglądzie materiał został zebrany na podstawie poprzednich przeglądów MPTL, kolekcji biblioteki ComPADRE (www.compadre.org) i grupy MERLOT (<http://www.merlot.org/merlot/materials.htm?category=2736>), innych źródeł, jak np. „Risorsse per la didattica di Fisica” (<http://zitogiuseppe.com/didattica.html>) i Multimedia Physik (<http://www.schulphysik.de/>), literatury i wyszukiwarek internetowych.

Efektym wyszukiwania stała się lista około 300 pozycji, zawierających pojedyncze źródła jak i całe ich zbiory. Po wstępnej selekcji pozostawiono 32 pozycje do szczegółowej analizy, głównie te obejmujące wiele zagadnień z fizyki kwantowej. Każda pozycja była oceniana przez 2–3 recenzentów. Materiały, z wykorzystaniem arkusza ewaluacji (narzędzie biblioteki ComPADRE), zostały ocenione w trzech głównych obszarach: Motywacja i Cel (łatwość dostępu, atrakcyjność układu strony, określony cel), Zawartość (związek z tematem, zakres, poprawność) i Metody (elastyczność, odbiorca, metody dydaktyczne, dokumentacja). Każda strona otrzymała również całościową ocenę w 5 stopniowej skali Likerta, od „Poor” to „Excellent”. Spośród 32 pozycji poddanych pełnej recenzji 8 otrzymało oceny „Excellent” lub „Very Good”, choć i do nich recenzenci mieli krytyczne uwagi. Pozycje te podano w tabeli; każda z nich zostanie bardzo krótko omówiona bez zaznaczania wad i niedociągnięć zauważonych przez recenzentów. Pozycje 2 i 8 są na poziomie szkół ponadgimnazjalnych, pozostałe – na poziomie uniwersyteckim.

Omówienie rekomendowanych materiałów dydaktycznych

1		QuVis: University of St. Andrews & Institute of Physics	www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/quantumphysics.iop.org
2		PhET: University of Colorado Boulder	http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/quantum-phenomena
3		Physlet Quantum Physics: Open Source Physics	www.compadre.org/pqp/
4		QuantumLab: University Erlangen-Nuremberg	www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/english/index.html
5		SPINS: Oregon State University & Open Source Physics	www.physics.orst.edu/~mcintyre/ph425/spins/index_SPINS_OSP.html www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=7329
6		Physics Applets: Paul Falstad	www.falstad.com/mathphysics.html
7		Quantum Mechanics: Kristel Michielsen and Hans De Raedt	www.embd.be/quantummechanics/default.html
8		Excited States & Photons: The Concord Consortium	concord.org/stem-resources/excited-states-and-photons

1. QuVis: University of St. Andrews & Institute of Physics

Strona stanowi bardzo bogaty zbiór ćwiczeń (tutorials) z interaktywnymi symulacjami układów kwantowych. Prezentacje są bardzo atrakcyjne pod względem

dem graficznym. Zrozumiałe wyjaśnienia wprowadzonych pojęć, łącznie z ćwiczeniami krok-po-kroku pomagają studentom skoncentrować się na najważniejszych aspektach danego zagadnienia. Symulacje prowadzą studentów przez tradycyjną sekwencję stosowaną w większości kursów mechaniki kwantowej. Strona Institute of Physics koncentruje się na optyce kwantowej i teorii informacji kwantowej. Prawie wszystkie pozycje zawierają zadania do wykonania przez studentów i zalecenia dydaktyczne. Strona została oceniona jako najlepsza w tegorocznym rankingu.

2. **PhET**: University of Colorado Boulder

Kolekcja łatwych w obsłudze symulacji na poziomie szkół ponadgimnazjalnych, przetłumaczonych na wiele języków, w tym na język polski. Wiele z tych symulacji pochodzi raczej z dziedziny fizyki współczesnej niż czystej mechaniki kwantowej, np.: the Photoelectric Effect, Stern-Gerlach czy Davisson-Germer experiments. Symulacje są wysoce interaktywne, z interfejsami typu „przeciągnij i upuść” („drag-and-drop”) i natychmiastowym sprzężeniem zwrotnym. Symulacje mogą być użyte na wiele różnych sposobów, np. na zajęciach z uczniami, w domu czy jako przygotowanie do pracy w laboratorium.

3. **Physlet Quantum Physics**: Open Source Physics

Dobrze zorganizowany, interaktywny, dodatek „online” do podręcznika „Physlet Quantum Physics 2E”, obejmujący zagadnienia od eksperymentów ilustrujących właściwości kwantowe, poprzez standardową fizykę stanów związanych i rozpraszania do zastosowań w fizyce atomowej, jądrowej i statystycznej. Materiały zawierają konceptualne i ilościowe problemy do rozwiązania.

4. **QuantumLab**: University Erlangen-Nuremberg

Zestaw interaktywnych eksperymentów ekranowych z optyki kwantowej. Każdy eksperyment jest ilustrowany fotografiami rzeczywistego eksperymentu i dostępne są również rzeczywiste wyniki pomiarów. Eksperymenty dotyczą informacji kwantowej, w tym splątania kwantowego i kwantowej kryptografii. Każde doświadczenie jest dobrze opisane, z motywującym wstępem i wyjaśnieniami obserwacji.

5. **SPINS**: Oregon State University & Open Source Physics

Materiał dotyczy dwóch stron www: Oregon State University i biblioteki Compadre (OSP – Open Source Physics). Pierwsza strona zawiera kompletny materiał (karty pracy, wirtualne laboratoria, działalność podczas zajęć na uczelni i prace domowe) dla części kursu mechaniki kwantowej zaczynającej się od układu spinów. Pakiet OSP łączy w sobie ćwiczenia (tutorials), symulacje i karty pracy studenta. Obydwie strony oparte są na pakiecie oprogramowania „SPINS”, rozwijanego od wielu lat. Oprogramowanie jest bardzo elastyczne i może zostać wykorzystane do różnych działań edukacyjnych.

6. **Physics Applets:** Paul Falstad

Bardzo dobre ilustracje wybranych zagadnień z mechaniki kwantowej układów złożonych. Niektóre przykłady są zupełnie unikatowe dla zasobów mechaniki kwantowej. Wadą jest to, że modele i obliczenia nie są opisane. Nie ma wskazówek dydaktycznych i dokładnych wyjaśnień symulacji.

7. **Quantum Mechanics:** Kristel Michielsen and Hans De Raedt

Ćwiczenia (tutorials) z mechaniki kwantowej będące kombinacją tekstu i symulacji/wideo. Prowadzą czytelnika przez ważne zagadnienia mechaniki kwantowej. Tematy obejmują ruch falowy i interferencję, identyczne cząstki i zjawisko Aharonova-Bohma.

8. **Excited States & Photons:** The Concord Consortium

Poziom szkół ponadgimnazjalnych. Wprowadzenie do oddziaływania światła/materia, z włączeniem kwantyzacji energii. Podkreślony jest związek pomiędzy poziomami energetycznymi w atomach i emitowanymi fotonami. Struktura ćwiczeniowa (tutorial structure). Materiały zawierają pytania otwarte i wielokrotnego wyboru. Łatwo nadażyć za prezentowanym tematem, cele i podejścia dydaktyczne są oczywiste.

Inne strony warte zauważenia

Wszyscy recenzenci stwierdzili, że choć pozycja **Quantum Made Simple**, <http://www.toutestquantique.fr/>, nie zdobyła najwyższych ocen to jest ona jednak interesująca i niepowtarzalna. Materiał został zaprojektowany jako krótkie wprowadzenie do fizyki kwantowej dla szerokiej publiczności, ze szczególnym naciskiem na zastosowania.

Kolekcja Kansas State University **Visual Quantum Mechanics**, <http://phys.educ.ksu.edu/vqm/index.html> znalazła uznanie w oczach recenzentów, ale jest to strona w ciągłej przebudowie, z czego wynika wiele niedogodności. Pewne ilustracje nie działają. Symulacje są ściśle powiązane z eksperymentami i ćwiczeniami, ale niektóre z linków są nieaktualne.

Inną interesującą pozycją jest symulacja **Quantum Magnetism**, <http://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=12308>. Jest to bardzo specyficzna symulacja dla widma sprzężonych spinów w polu magnetycznym.

Dostępne są również pewne aplikacje **iPad Apps** o układach kwantowych, ale stanowią one raczej podstawowe ilustracje z niewielką interaktywnością:

- <https://itunes.apple.com/us/app/hydrogen!/id771798068>, Hydrogen! iPad app, Tommaso Rosi
- <https://itunes.apple.com/us/app/atom-in-a-box/id284788633>, Atom in a Box, iPad app
- <http://daugerresearch.com/orbitals/index.shtml>, Atom in a Box

Warto również wymienić kilka artykułów dotyczących mechaniki kwantowej i multimediiów:

- <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/ajp/76/4/10.1119/1.2885199>, Phet
- <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.3021230>, Paradigms
- <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/ajp/70/3/10.1119/1.1435347>, Zollman
- <http://journals.aps.org/prstper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.6.010101>, Finkelstein
- <http://search.proquest.com/docview/305511285>, VQM Dissertation
- <http://www.compadre.org/per/items/detail.cfm?ID=11344>, Derek Muller Dissertation, Chapters 5 & 6



FELIETON

Nocne rozmyślenia fizyka szkolnego – niechący pod Górę

Ludwik Lehman

II LO im. M. Kopernika w Głogowie

Gdy zaproponowałem usunięcie biegunów magnetycznych z nauczania fizyki („Niejasna gra w monopole”, *Foton* 125), nie przypuszczałem ani przez chwilę, że zostanie ona natychmiast zaakceptowana przez większość fizyków. Nowe koncepcje – także w nauczaniu – niemal nigdy nie zostają przyjęte, ot tak, od razu. Wystarczy zacytować z pamięci nieco złośliwe, aczkolwiek dość trafne spostrzeżenie Maksa Plancka: nowa teoria zostaje uznana dopiero po wymarcu zwolenników starej.

Zastrzeżenia wysunięte przez Pawła F. Górę (w tym samym numerze *Fotonu*) są zrozumiałe, jednakowoż trochę dziwne. Twierdzi On na przykład, że odstąpienie od wprowadzania biegunów „odrywa fizykę od innych nauk przyrodniczych, przede wszystkim od geografii, a także od pojęć, jakim posługują się media”. To przypomina stawianie sprawy na głowie. Geografowie, owszem, mówią o biegunach – bo tak mówią dotąd fizycy! Czy to ma znaczyć, że już nigdy nie można będzie zmienić nauczania fizyki? Czemuż to fizyka – w końcu najbardziej podstawowa nauka przyrodnicza – ma się dostosowywać do nawyków geografów czy dziennikarzy? Na przykład astronomowie z uporem godnym lepszej sprawy wciąż nazywają wszystkie pierwiastki cięższe od helu metalami. Czy to znaczy, że fizycy i chemicy muszą się dostosować do astronomów? Z kolei elektrycy uziemienie nazywają masą. Czy musimy dostosować terminologię fizyki do ich żargonu?

Ma być odwrotnie. To fizycy muszą samodzielnie ustalić, jak nauczać podstaw fizyki, a inne dyscypliny powinny stopniowo się do tego dostosować. Akurat w przypadku biegunów problemu nie ma. Przecież napisałem, żeby w okresie przejściowym (może on trwać kilkadziesiąt lat) mówić, że z przyczyn historycznych początek i koniec strzałki nazywamy biegunami magnetycznymi.

Właśnie obecnie mamy wspaniałą okazję do wyrzucenia biegunów do dydaktycznego kosza. Oto bowiem długie niebiesko-czerwone magnesy są wypierane przez małe często płaskie magnesy neodymowe. Wprowadzanie biegunów takich magnesików jest dość sztuczne i praktycznie bezcelowe. Trzeba uczniom uświadomić, i to jest chyba najważniejsze w tej całej sprawie, że każdy magnes to **jeden** obiekt, a nie dwa nierozłącznie ze sobą związane.

Tak się składa, że mam również uwagi do innego tekstu Pawła F. Góry „Czy można używać pojęcia masy relatywistycznej?” z numeru 124 *Fotonu*. Zacytujmy jeden z fragmentów. „Pojęcie masy jako miary bezwładności wprowadził Izaak Newton. Ten sam Newton, formułując swoje prawo grawitacji posługiwał

się też pojęciem masy ciężkiej – ta zaś mierzy ilość materii”. Uff, pierwszy raz spotykam pojęcie masy ciężkiej. Czyżby była też masa „lekka”? Myślę, że chodzi o masę grawitacyjną. Dlaczego jednak właśnie ona ma mierzyć ilość materii? Newton chyba by się lekko zdziwił na takie przedstawianie jego poglądów. Już pierwsza definicja w słynnych Matematycznych Zasadach Filozofii Przyrody określa, że „ilość materii jest jej miarą wynikającą z jej gęstości i objętości łącznie”. W wyjaśnieniu Autor dodaje: „ilość materii będę rozumiał pod pojęciem ciała lub masy” (strona 186 polskiego wydania). Prawo grawitacji Newton formułuje niejednolicie, lecz w wielu twierdzeniach. Jedno z nich – najbardziej istotne w tej sprawie – brzmi: „Grawitacja istnieje uniwersalnie w każdym ciele i jest dla każdego ciała proporcjonalna do ilości materii tego ciała”. Nie widać w dziele Newtona żadnego rozróżnienia między masą bezwładną a grawitacyjną!

Dalej Paweł F. Góra twierdzi, że jeśli zgadzamy się, iż masa mierzy „ilość materii”, wówczas „masa” to to samo, co „masa spoczynkowa”. Czyli masa spoczynkowa, a nie relatywistyczna mierzy ilość materii. Czyżby? Weźmy dwa fotony o tej samej energii. Jeśli poruszają się zgodnie (prędkość ma ten sam kierunek i zwrot), to masa spoczynkowa tego układu jest równa zeru, czyli fotony nie są materią w tej interpretacji. Jeśli jednak zwroty ich prędkości są przeciwne – masa spoczynkowa jest różna od zera, czyli te fotony są materią! Czyli ilość materii w przypadku dwóch – nieoddziałujących z sobą – fotonów zależy od kierunku i zwrotu ich prędkości. Dość dziwna ta ilość materii! Zauważmy, że dwa fotony niezależnie od zwrotu prędkości mają zawsze tę samą różną od zera masę relatywistyczną. Zatem to ona lepiej mierzy „ilość materii”, przynajmniej w tym wypadku. Podobnie jest w przypadku cząstek z masą spoczynkową. Jeśli tworzą gaz (pęd całkowity jest równy zeru), to energia kinetyczna cząstek zwiększa masę spoczynkową układu (a zatem ilość materii w tej interpretacji). Jeśli jednak cząstki tworzą wiązkę (ich pędy mają ten sam kierunek i zwrot), to taka sama energia kinetyczna nie zwiększa masy spoczynkowej układu. Zauważmy, że masa relatywistyczna jest w obu przypadkach równa, zatem nie mamy tego kłopotu z ilością materii zależną od kierunku i zwrotu prędkości.

Nie chcę jednak wracać do rozważań o wyższości jednej czy drugiej definicji masy. Raczej chciałbym podkreślić, jak niejasne jest pojęcie „ilości materii”, a także samej „materii”. Musimy czasem używać takich mętnych pojęć, by utrzymać kontakt z językiem potocznym oraz ze świadomością naszych uczniów. Sądzę jednak, że nie powinniśmy używać tych pojęć w poważnej merytorycznej dyskusji fizycznej. Fizyka powinna starać się wyjaśniać świat wyłącznie używając pojęć operacyjnych lub jeszcze lepiej – wielkości mierzalnych. Masa jest wielkością mierzalną (obojętnie jak ją określimy), bezwładność już nie. Zatem nie (nad)używajmy pojęcia bezwładności. Materia jest niemierzalna, można to pojęcie rozumieć rozmaicie, więc może lepiej po prostu go nie używać? Zamiast o ilości materii należy mówić o liczbie cząstek. Zatem rozważania o „ilości materii” nie powinny być argumentem w sporze o masę. Ani w żadnym innym, wyłączając rzecz jasna dyskusje filozoficzne.



Kij ma dwa końce, magnes ma bieguny

Marcin Braun*

Felieton pana Ludwika Lehmana „Nocne rozmyślenia fizyka szkolnego – Niejasna gra w monopole” doczekał się kilku komentarzy już w numerze, w którym został opublikowany. Mimo to i ja postanowiłem dorzucić swoje zdanie, wydaje mi się bowiem, że komentatorzy niesłusznie przystali na podstawowe założenia Autora iż „biegun magnetyczny” to tyle, co monopol magnetyczny:

Biegun to miejsce, skąd wychodzą (lub dokąd wchodzą) linie pola magnetycznego. Jedno z równań Maxwella stwierdza, że takie punkty nie istnieją. To ważne – nie znaleziono nigdy pojedynczego bieguna magnetycznego (tzw. monopolu).

Tymczasem znaczna część literatury mówi co innego. Zajrzyjmy najpierw do mojej ulubionej *Ilustrowanej encyklopedii dla wszystkich*:

biegun magnetyczny – obszar magnesu (...), w którym linie sił przecinają jego powierzchnię (...)¹.

Tak więc, owszem, linie wchodzą lub wychodzą, ale do/z magnesu, a nie do/z pojedynczego punktu.

A może koncepcję bieguna jako monopolu znajdziemy w starszej literaturze? Trzytomowa *Encyklopedia fizyki*², wspomina (w cudzysłowie) o „ładunkach magnetycznych”, ale i z niej ostatecznie dowiadujemy się, że biegun magnetyczny to **obszar**, z którego linie pola wychodzą lub do którego wchodzą.

Zobaczmy teraz, co podaje *Britannica*:

magnetic pole, region at each end of a magnet where the external magnetic field is strongest³.

I znów nie mówimy o punkcie, ale o obszarze. Widać też, że autorzy jednej z najpoważniejszych encyklopedii świata nie wahają się użyć określenia „na końcu magnesu”. W naszym kraju zostaliby zakrzyczani za taki „błąd” – przecież podłużną żelazną sztabkę można namagnesować w poprzek.

O „końcach magnesu” mówi także jeden z najlepszych podręczników akademickich:

* Marcin Braun jest współautorem podręczników do przyrody dla szkoły podstawowej (*Na tropach przyrody*) oraz fizyki dla gimnazjum (*To jest fizyka*) i szkoły ponadgimnazjalnej (*Odkryć fizykę, Zrozumieć fizykę*).

¹ *Fizyka. Ilustrowana encyklopedia dla wszystkich*, WNT, Warszawa 1987, s. 20.

² *Encyklopedia fizyki*, tom 1, PWN, Warszawa 1972, s. 189.

³ *Encyclopaedia Britannica*, www.britannica.com (dostęp 24 czerwca 2014).

Koniec magnesu, z którego linie [pola] wychodzą, nazywamy *biegunem północnym* magnesu; przeciwny koniec, do którego linie wchodzą, nazywany jest *biegunem południowym*⁴.

A skoro taki stopień ścisłości wystarczy studentom, to czy nie wystarczy tym bardziej uczniom?

Trzeba dużo umieć, żeby popelnić ten błąd

Dorosły fizyk może kojarzyć słowo biegun z „masą magnetyczną”, bo kiedyś na studiach wykonywał obliczenia dla dipola magnetycznego przy założeniu, że składa się on z dwóch ładunków. Nie ma natomiast najmniejszego ryzyka, że takie skojarzenie powstanie w głowie początkującego ucznia. I to z kilku powodów:

1. Uczniowie omawiają oddziaływanie magnesów (i ich bieguny) w szkole podstawowej na lekcjach przyrody, podczas gdy z dodatnimi i ujemnymi ładunkami elektrycznymi spotykają się dopiero w gimnazjum.

2. Tym bardziej nie mają jeszcze pojęcia o prawie Coulomba dla mas magnetycznych, bo i dla ładunków elektrycznych pojawia się ono dopiero w zakresie rozszerzonym szkoły ponadgimnazjalnej (PG).

3. Słowo „biegun” uczniowie spotkali po raz pierwszy (nie licząc konia na biegunach) w znaczeniu bieguna geograficznego Ziemi. Kojarzy się im więc ono z jakimś **miejscem**, a nie z ładunkiem biorącym udział w oddziaływaniu. I to jest bardzo dobre skojarzenie.

Polecana już kiedyś przeze mnie na tych łamach książka *Making sense of secondary science*⁵, stanowiąca przegląd setek prac na temat błędnych koncepcji tworzących się w głowach uczniów, nie odnotowuje rozumienia bieguna jako monopola. I nic dziwnego. Trzeba naprawdę dużo wiedzieć, żeby stworzyć taką błędną koncepcję. Ale na szczęście kiedy się już to wie, to się jej nie tworzy.

Magnesy od początku z polem?

Skoro już wspomniałem o przydzieleniu rozmaitych tematów do *Podstaw programowych* dla kolejnych etapów kształcenia, to warto wspomnieć, że o polu magnetycznym nie mówimy nie tylko w szkole podstawowej, gdzie po raz pierwszy pojawia się oddziaływanie magnesów, ale nawet w gimnazjum. *Podstawa* nie tylko pomija ten temat wśród treści, ale wprost wskazuje⁶, że nie jest on obowiązkowy:

⁴ D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, t. 3, PWN, Warszawa 2003, s. 189.

⁵ R. Driver *et al.*, *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*, RoutledgeFalmer, London–New York 2007.

⁶ W części „Zalecane warunki i sposób realizacji”.

Nie wymaga się wprowadzania pojęcia pola elektrycznego, magnetycznego i grawitacyjnego do opisu zjawisk elektrycznych, magnetycznych i grawitacyjnych.

Jej autorzy uznali widocznie pojęcie pola za zbyt trudne na początku nauczania fizyki. Spotkałem się nawet z plotką, że niektórzy z autorów podstawy w czasie dyskusji na ten temat wspominali własne problemy ze zrozumieniem pojęcia pola w (ośmioklasowej) szkole podstawowej, które nie przeszkodziły im później zostać fizykami.

Dlatego pomyślałem, aby o magnesach mówić od razu w kontekście pola, wydaje się ryzykowny. Oczywiście, da się w ten sposób uczyć w zakresie rozszerzonym w szkole ponadgimnazjalnej, tyle że będzie to metoda skierowana do uczniów, którzy już od dawna wiedzą co to jest biegun magnesu i połączą nową wiedzę ze starą: „magnes rysujemy teraz jako strzałkę od bieguna S do bieguna N”.

Czy bieguny oddziałują?

Nie sposób wyjaśnić młodszym uczniom oddziaływanie magnesów, nie odwołując się do pojęcia biegunów. Tym bardziej, że dla wielu osób jest zaskoczeniem, że magnesy nie zawsze się przyciągają.

Nie trzeba jednak wcale mówić, że to bieguny oddziałują. W książce do przyrody piszemy po prostu:

Magnesy zwrócone do siebie biegunami:

- jednakowymi – odpychają się,
- przeciwnymi – przyciągają się⁷.

Trochę szkoda, że w *Podstawie programowej* dla gimnazjum napisano:

[5.1. Uczeń] nazywa bieguny magnetyczne magnesów trwałych i opisuje charakter oddziaływania między nimi.

Zdanie nie jest stuprocentowo jednoznaczne, jednak „nimi” odnosi się raczej do biegunów niż do magnesów. A szkoda, można było przecież powiedzieć po prostu o „oddziaływaniu magnesów”. Okazuje się, że bardziej ścisły jest zapis w *Podstawie...* dla klas 4–6:

[10.8. Uczeń] bada i opisuje właściwości magnesów oraz ich wzajemne oddziaływanie, a także oddziaływanie na różne substancje.

O prawdzie

Na koniec o tym, o czym pan Ludwik Lehman napisał na początku: o pedagogicznym haśle, że należy uczyć tylko prawdy (choć zwykle nie od razu całej). Zgadzam się całkowicie, że jest to pięknie brzmiąca niedorzeczność.

⁷ M. Braun, W. Grajkowski, M. Więckowski, *Na tropach przyrody*, podręcznik dla kl. 6, Nowa Era, Warszawa 2014, s. 70.

Akurat bieguny magnesu są sprawą dyskusyjną, jest jednak wiele przykładów całkiem ewidentnych. Mechanika klasyczna jest tylko przybliżeniem, więc w zasadzie należałoby zaczynać od razu od relatywistycznej mechaniki kwantowej...

Problem w tym, że wszystkie znane teorie to tylko przybliżenie, w zasadzie nie należałoby więc wcale uczyć fizyki aż do odkrycia ostatecznych praw przyrody. Co może nie nastąpić nigdy.

Zwykle machamy ręką na pomysły teoretyków pedagogiki niemających pojęcia ani o praktyce szkolnej, ani o naukach przyrodniczych. Trudno przecież walczyć z każdą bzdurą. Niestety, kiedy bzdura się rozpowszechnia, staje się groźna. Co i rusz ktoś zwraca nam uwagę, że takie czy inne rozwiązanie dydaktyczne na gimnazjalnej lekcji czy w podręczniku jest błędem, a poprawnie jest mówić i pisać tylko tak, jak zwracający uwagę zrobił to w swojej książce dla doktorantów.

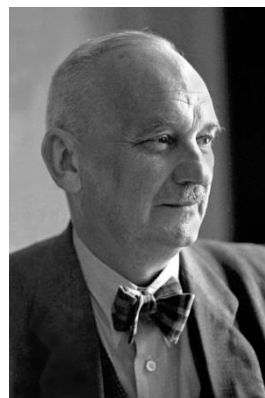


O kształceniu fizyków teoretyków¹

Wojciech Rubinowicz (1889–1974)

<http://www.rubinowicz.canonia.pl/>

W niniejszym artykule będę się zajmował przede wszystkim powstawaniem osobowości naukowej fizyka teoretyka. Taka osobowość powstawać może w różnorodny sposób, jednak koniecznym warunkiem, który musi spełniać przyszły naukowiec z prawdziwego zdarzenia jest – oprócz jego kwalifikacji naukowych – niezłomna wola wykonania pracy o podstawowej wartości, a nie tylko przyczynku służącego do zdobycia np. stopnia naukowego doktora lub doktora habilitowanego. Temat pracy musi naukowca fascynować, musi go, tak powiedziawszy, nie opuszczać, nawet przysparzać mu nieprzespanych nocy. Jest to bowiem nieomylna oznaka, niezależnie zresztą od tego, czy naukowiec jest młodszy czy starszy, że przypisuje on tematowi pewne znaczenie. Tematy, które tego warunku nie spełniają są zwykle tematami prac przyczynkowych. Opracowanie ich stanowi dla uzdolnionego naukowca właściwie tylko stratę czasu.



Prof. Wojciech Rubinowicz
w roku 1960
Źródło: Wikipedia

Jest rzeczą zrozumiałą, że ocena ważności własnego tematu lub nawet ukończonej już własnej pracy jest w wysokim stopniu rzeczą subiektywną. Tak np. A. Sommerfeld, fizyk o rzeczywiście światowej sławie, który jeszcze przed pierwszą wojną światową stworzył pierwszą w świecie nowoczesną szkołę fizyki teoretycznej, bardzo wysoko oceniał swoją pracę o tarcu w smarowanym łożysku. Praca ta bezsprzecznie należy do najpiękniejszych jego osiągnięć. Lecz ogólnie istniało przekonanie, że Sommerfeld zanadto wysoko zaszeregowuje ją wśród innych swoich osiągnięć.

Praca z zakresu fizyki nie musi być wykonywana przez fizyka fachowego, posiadającego np. ukończone studia uniwersyteckie. Gdy będąc w roku 1963 w Londynie na obiedzie u prof. Gabora – sławnego odkrywcy holografii – spytałem go, dlaczego będąc z powołania właściwie fizykiem studiował na Politechnice, odpowiedział mi, że w czasach, gdy był studentem, fizyka nie była zawodem, a on musiał zawód posiadać, by móc egzystować. Niestety w Polsce i dziś jeszcze fizyka nie figuruje w spisie zawodów, co powoduje niekiedy np. niepomysłne finansowo konsekwencje dla fizyków zatrudnionych w przemyśle. Nie zachęca to fizyków do szukania w nim zajęć.

¹ Artykuł napisany na zamówienie tyg. „Kultura” w kwietniu 1971 r.; przedruk w całości.

Zadaniem profesora lub docenta opiekujących się naukowym rozwojem młodego adepta nauki jest kształtowanie kwalifikacji naukowych przyszłego naukowca. Musi on zdobyć jego kompletne zaufanie, a w idealnym przypadku zostać jego przyjacielem – tak jak to widziałem u moich mistrzów: u A. Sommerfelda w Monachium oraz u genialnego Nielsa Bohra w Kopenhadze, największego chyba dotychczas fizyka obecnego stulecia, który w największym stopniu przyczynił się do powstania i interpretacji teorii kwantów i tym samym nowoczesnej fizyki.

Oczywiście sama przyjaźń jest niewystarczająca. Trzeba tym młodym adeptom nauki podawać tematy związane z własną pracą naukową, tak, aby mieli oni zapewnioną pomoc w trudnych dla nich sytuacjach naukowych, albo też trzeba im umożliwiać wyjazdy do aktywnych centrów naukowych. Tę drugą możliwość stosuje się wówczas, gdy pragnie się w danym ośrodku stworzyć pewien załazek dziedziny fizyki w nim dotychczas nie uprawianej, a jednak pożądanej, lub gdy twórca szkoły fizyki teoretycznej zajmuje się dziedziną nie atrakcyjną w danej chwili, ewentualnie gdy przestał pracować naukowo.

Od powyżej podanych możliwości istnieją jednak wyjątki. Gdy Sommerfeld w roku 1915 na podstawie starszej teorii kwantów i klasycznej elektrodynamiki podał wzór dyspersyjny dla gazów, otrzymał wówczas anomalną dyspersję dla drgań własnych drobin, a nie dla częstości odpowiadających przejściom kwantowym – jak na podstawie doświadczeń należało się tego spodziewać. Postawił on wtedy jednemu ze swoich współpracowników zadanie zmodyfikowania jego teorii w taki sposób, aby anomalna dyspersja występowała dla przejść kwantowych. Dziś wiemy, że dla rozwiązania tego zagadnienia trzeba było odkryć nowszą teorię kwantów, na co wówczas było jeszcze za wcześnie. Nie znane były bowiem jeszcze w owych czasach potrzebne do tego celu wszystkie fakty doświadczalne i związki teoretyczne. Wtedy jednak nikt nie zdawał sobie z tego sprawy. Nie udało się więc wówczas dojść do zakreślonego przez Sommerfelda celu. Ale wyniki pracy, która powstała przy zajmowaniu się zagadnieniem Sommerfelda i została opublikowana w roku 1918 jeszcze dziś są ważne. Prof. A. Kastler, który otrzymał w roku 1966 Nagrodę Nobla za swoje prace o tak zwanym pompowaniu optycznym, zawsze oświadczał przedstawiając historię swego odkrycia, że właśnie ta praca była pierwszym impulsem do nagrodzonych później badań – praca odnosząca się jeszcze do starszej teorii kwantów, wyniki której sprawdzały się także w nowszej teorii.

Nawet najwybitniejszemu fizykowi nie każda praca musi się udać. Sommerfeld mawiał, że ten tylko nie publikuje mniej lub bardziej błędnych prac, kto w ogóle nic nie publikuje. Gdy w okresie międzywojennym byłem w Monachium u Sommerfelda, pokazywał mi on dysertację doktorską jednego z najwybitniejszych dziś żyjących fizyków teoretycznych. Jednak nie chciał mi jej dać, ponieważ okazała się błędna.

Drugi przykład jest następujący: Sommerfeld, dając mi przy okazji odbitki swoich dawniejszych prac, wśród których była praca dotycząca pewnego zagadnienia rachunku wariacyjnego, oświadczył: „Matematycy twierdzą, że praca ta jest błędna”.

Pracę z fizyki teoretycznej można wykonać samodzielnie, lub z czyjąś pomocą; przy czym pomoc może być koncepcyjna lub techniczna. Jeżeli wkład pomagającego jest natury koncepcyjnej, wówczas występuje on oczywiście jako współautor. W przypadku pomocy technicznej pomagający musi się zadowolić najwyżej podziękowaniem autora w publikacji. Oczywiście nie każda praca z fizyki wymaga pomocy technicznej. Ale wszystko zdaje się wskazywać na to, że w przyszłości każdy większy i naukowo aktywny Instytut Fizyki Teoretycznej lub Doświadczalnej będzie zatrudniał takiego technika, który będzie wykonywał wszystkie te prace, których nie musi wykonywać autor. Technik będzie więc rysował diagramy, przeprowadzał obliczenia numeryczne sposobem tradycyjnym lub komputerem. Jeżeli będzie on dostatecznie uzdolniony i odpowiednio wyszkolony, będzie nawet mógł wykonywać prostsze obliczenia analityczne. Taki technik będzie odgrywał większą rolę w instytutach fizyki doświadczalnej i niekiedy będzie mógł całkiem dobrze zastępować niektórych pracowników w pracach zespołowych. Z inicjatywy i przy współpracy Polskiego Towarzystwa Fizycznego powstało w roku 1968 w Warszawie dwuletnie pomaturalne technikum fizyki. Spotykałem się z bardzo dobrą opinią o działalności niektórych absolwentów tego technikum. Niestety jednak, po krótkiej działalności zostało ono przekształcone w technikum metrologiczne.

Kierujący pracą naukową musi być łatwo dostępny młodemu adeptowi nauki. Z Sommerfeldem np. łatwo można było porozmawiać po jego wykładach, które odbywały się od 8-ej do 9-ej rano. Poza tym uczestnicy szkoły Sommerfelda zbierali się codziennie po południu w pewnej kawiarni, gdzie często przychodził także sam Sommerfeld. Bywali tam także inni profesorowie, między innymi profesor chemii fizycznej Kazimierz Fajans. Omawiano na tych spotkaniach trudności w pracy naukowej, jakie napotykali poszczególni uczestnicy szkoły Sommerfelda.

W czasie mojej bytności w Instytucie Nielsa Bohra, miał on różne pomysły pragnąc scementować swoją szkołę ze sobą. Fundował nam np. czasami w Instytucie czarną kawę z ciastkami z pobliskiej kawiarni. Po pewnym wykładzie mojej żony w Duńskim Towarzystwie Fizycznym, Bohr zaprosił całą grupę swoich adeptów do Tivoli – sławnego kopenhaskiego lunaparku – i oprowadzał nas po poszczególnych pawilonach. Pani Bohr nie ukrywała swego niezadowolenia z tej rozrzutności jej męża. Myśmy ją pocieszali, że już niebawem Bohr musi otrzymać Nagrodę Nobla, co oczywiście wkrótce nastąpiło.

W ciągu mojej długoletniej działalności jako profesora, niejednokrotnie miałem sposobność kierować pracą młodego naukowca. Zdarzało się, że wykonał pod moim kierunkiem jedną lub dwie prace i potem obrał inną tematykę prac

badawczych. W takim przypadku pomiędzy nami nie powstawały zwykle bliższe więzy. Więzy te istniały, gdy udawało mi się stworzyć zespoły, zwane popularnie szkołami, o tematyce nawiązującej do moich prac własnych. Taką szkołę udało mi się zorganizować dwa razy w życiu.

Pierwszy raz około roku 1930 we Lwowie na Politechnice, mimo że audytorium składało się wówczas z bardzo szczupłego grona studentów. Prace tej szkoły nawiązywały przede wszystkim do moich prac o elektrycznym promieniowaniu kwadrupolowym, które ostatecznie doprowadziły do doświadczalnego odkrycia tego promieniowania w laboratorium fizycznym w Pasadenie. Głównym jej reprezentantem, a jednocześnie jednym z najbardziej uzdolnionych współpracowników – był Ślązak Jan Blaton, z którym łączyła mnie prawdziwa przyjaźń. Niestety, już jako profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego zginął on w roku 1948 w Tatrach. Głównym osiągnięciem naukowym Blatona w zakresie fizyki było odkrycie, wspólnie z prof. H. Niewodniczańskim, magnetycznego promieniowania dipolowego. Oprócz tego Blaton pozostawił prace z fizyki atmosfery, które wykonał będąc przez pewien czas dyrektorem Państwowego Instytutu Meteorologicznego. Prace te cytowane są w podręcznikach z tej dziedziny.

Powstawanie drugiej szkoły, tematyka której nawiązywała do moich prac z dyfrakcji optycznej, przypada na rok 1957. Ale nie była to prosta kontynuacja moich prac, ani też nie były to prace o charakterze przyczynkowym. Współpracownicy moi wnieśli bowiem do zagadnień dyfrakcyjnych i z nimi związanych zagadnień pokrewnych, zupełnie nowe punkty widzenia o znaczeniu podstawowym, tak, że niektóre ich wyniki będą cytowane nie tylko w odnośnych monografiach, ale także w podręcznikach przeznaczonych dla studentów. Odnoszą się one do teorii elektromagnetyzmu, elastyczności izotropowej i jednoosiowej krystalicznej. Mimo, że niektórzy z moich współpracowników przebywali przez dwa lata za granicą, aby tam studiować inne działy optyki, powracali niekiedy – w myśl zasady *on revient toujours à ses premiers amours* – do prac z teorii dyfrakcji lub do tematów pokrewnych.

O tym, że poszczególni uczestnicy cieszą się dobrą opinią za granicą świadczy fakt, że w roku 1970 przez miesiąc przebywał w Warszawie jeden z amerykańskich profesorów, aby wykończyć pracę rozpoczętą korespondencyjnie z jednym z naszych współpracowników.

Od samego początku istnienia naszej szkoły spotykamy się raz na tydzień w moim mieszkaniu, aby omawiać postępy prac będących w opracowywaniu i aby przedyskutować różne interesujące nas problemy naukowe. Niewątpliwie stanowiło to, i stanowi, czynnik mobilizujący nas do większej aktywności naukowej. Oprócz tego uważam, że spotkania nasze przyczyniły się bardzo do scementowania naszego zespołu.

Przynależność do zespołu tworzącego szkołę powoduje oczywiście pewne udogodnienia w pracy naukowej dla uczestnika szkoły. Wystarczy czasem

zwrócić się o radę do jednego ze swoich kolegów. Zdarza się, że dzięki bliskim kontaktom pomiędzy uczestnikami danej szkoły jeden z nich dojdzie do własnych wyników na podstawie osiągnięć swoich kolegów.

Jeszcze częściej powstają w szkole prace zespołowe. Prace takie mogą być nawet na poziomie, na który nie byłoby stać poszczególnych członków zespołu. Wątpliwości mogą jedynie powstawać, gdy prace zespołowe bywają przedstawiane jako prace doktorskie, co się w przeszłości niekiedy zdarzało. Udział poszczególnych autorów w takich pracach zazwyczaj nie bywa ujawniany i często jest trudno uchwytne nawet dla współautorów.

W naszej szkole zdarzały się przypadki, że na osiągnięciach jednych uczestników budowali swoje prace inni uczestnicy. Wykonywane były także prace zespołowe. Nie używano ich jednak jako prac doktorskich. Spodziewam się, że więzy zadziergnięte w obecnej szkole sprzyjać będą nadal powstawaniu obu rodzajów prac, które w niektórych przypadkach mogą być bardzo pożyteczne.

Zadaniem fizyki teoretycznej jest sformułowanie matematyczne praw przyrody, podczas gdy fizyka doświadczalna te prawa wykrywa lub teoretycznie wykryte sprawdza. Stąd wynika, że fizyk teoretyk musi posiadać pewne wiadomości matematyczne, a oprócz tego musi posiadać zdolność opanowywania nowych działów tej nauki, gdy zajdzie ku temu potrzeba. Inaczej mogłoby się zdarzyć, że nie będzie mógł nadażyć za postępem pewnego działu fizyki, lub ten dział stworzyć. Z historii mechaniki kwantowej wiadomo, że gdy Heisenberg opublikował swoją pierwszą fundamentalną pracę z nowszej teorii kwantów, nie wiedział, że właściwy sposób jej przedstawienia daje rachunek macierzowy. Po prostu jego nie znał. Dopiero Max Born zwrócił mu uwagę na ten fakt. Czasem zdarza się, że przypadkowa znajomość pewnego działu matematyki umożliwia ważne odkrycie fizyczne. Tak np. E. Schrödinger znał problematykę zagadnień własnych, co umożliwiło mu odkrycie mechaniki falowej, a więc pewnej bardzo ważnej wersji nowoczesnej teorii kwantów.

Zdolności matematyczne różnych fizyków teoretyków były oczywiście różne. Byli tacy, którzy podawali dowody ważnych twierdzeń matematycznych. Tak np. G. Kirchhoff podał dowód zasady, która dziś nazywamy zasadą Kirchhoffa-Huygensa, a Sommerfeld sformułował tak zwane warunki wypromieniowania. Nie zawsze wiadomości i zdolności matematyczne ujawniają się jednak w pracach danego fizyka teoretyka. Jako przykład może służyć Niels Bohr, który był świetnym matematykiem, ale w swoich pracach w małym stopniu wykorzystywał swoją bogatą wiedzę matematyczną.

Z wieloma odkryciami fizycznymi nie muszą oczywiście iść w parze piękne rozważania matematyczne. Sommerfeld, który na początku swojej kariery naukowej rozwiązał w słynnej pracy ściśle dyfrakcyjne zagadnienie brzegowe na półpłaszczyźnie, opowiadał np., że matematyka Plancka wydawała mu się niedługo po wykonaniu tej pracy dość prymitywna. A jednak z tą matematyką

związane było jedno z największych odkryć w fizyce, mianowicie odkrycie kwantów.

Zajmowanie się fizyką teoretyczną posiada wyjątkowy czar dla miłośnika praw przyrody. Stwarza bowiem możliwość ich odkrycia i głębokiego zrozumienia. Wprawdzie tylko niezmiernie małej liczbie wybrańców losu dane było dokonać odkrycia prawa o zasadniczym znaczeniu, ale pamiętajmy jednak, że dobra praca naukowa o znaczeniu przyczynkowym może sprawiać autorowi pewne zadowolenie. Fizyka teoretyka można porównać w pewnej mierze z graczem na loterii. Zdaje sobie sprawę z tego, że szanse zdobycia głównej wygranej są minimalne, a większej wygranej bardzo małe, ale mimo tego próbuje swojego szczęścia.



Dawny budynek Instytutu Fizyki UW przy ul. Hożej 69 w Warszawie



10 najpiękniejszych eksperymentów z fizyki w Szczecinie

Tadeusz M. Molenda

Instytut Fizyki, Uniwersytet Szczeciński

Doświadczenie Younga w wersji akustycznej, które zostało przedstawione w postaci zadania konkursowego w *Neutrinie* 26, jest jednym z dziesięciu/ najpiękniejszych eksperymentów z fizyki wszech czasów. Eksperymenty zostały wybrane na podstawie ankiety przeprowadzonej wśród fizyków z całego świata i ustalone z wyników głosowania czytelników brytyjskiego miesięcznika „Physics World” w roku 2002. Lista zawiera najśłynniejsze doświadczenia z fizyki, które miały największy wpływ na rozwój cywilizacji. Lista została nagłośniona podczas obchodów Światowego Roku Fizyki w 2005 roku. Plakat przedstawiający te doświadczenia można pobrać ze strony internetowej Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego:

http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/pdf/pdf_167.pdf.

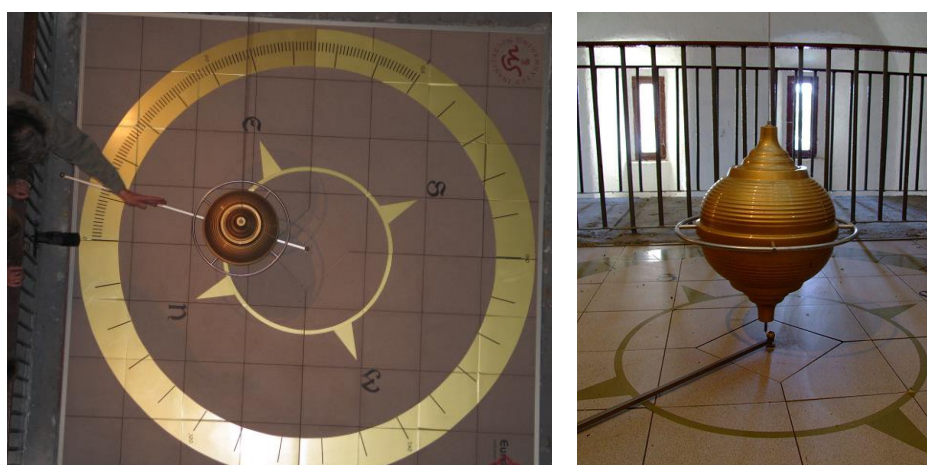
We wrześniu 2005 roku zostało uruchomione w Szczecinie pierwsze doświadczenie z tej grupy. Co roku planowane było kolejne. Pomysłodawcą i organizatorem uruchomienia w Szczecinie „10 najpiękniejszych doświadczeń z fizyki wszech czasów” był nieżyjący już prof. Uniwersytetu Szczecińskiego dr hab. Jerzy Stelmach; <http://eureka.univ.szczecin.pl/node/22>. Dzięki niemu powstała też w Szczecinie wystawa doświadczeń interaktywnych EUREKA i wystawy z nią związane. Doświadczenia z grupy „10 naj...” były i są częścią wystawy EUREKA.

Wystawa EUREKA została otwarta 9 listopada 2002 roku w Szczecinie. W jej ramach powstały: w czerwcu 2008 roku „Astronomiczna Eureka” mieszcząca się w Muzeum Narodowym na Wałach Chrobrego, w październiku 2010 roku „Eureka Ruchu” mieszcząca się w Muzeum Techniki i Komunikacji w byłej zajezdni tramwajowej oraz w styczniu 2011 roku przy współdziałaniu prof. Mariusza P. Dąbrowskiego „Atomowa Eureka – $E = mc^2$ ” mieszcząca się tak jak i wystawa główna w byłym „Domu Marynarza” przy ul. Malczewskiego (patrz: <http://eureka.univ.szczecin.pl>). Od 2012 roku EUREKA jest prowadzona przez powołaną w tym celu „Fundację Eureka im. prof. Jerzego Stelmacha”.

Założeniem projektu edukacyjnego „10 najpiękniejszych eksperymentów z fizyki wszech czasów” w Szczecinie było, aby każde z doświadczeń miało charakter interaktywny i było „samoobsługowe”. Dzięki dużym rozmiarom każde z nich miało stanowić atrakcję turystyczną samą w sobie. Szczecin miał być pierwszym miastem na świecie, w którym jeżdżąc po mieście od doświad-

czenia do doświadczenia można w sposób prosty i atrakcyjny prześledzić rozwój nauki od starożytności do teraźniejszości.

Pierwszym doświadczeniem z tego projektu było ładnie wykonane i bardzo dobrze działające wahadło Foucaulta (fot. 1) o długości 28,5 m, masie 76 kg i okresie wahań 10,5 s, dowodzące ruchu obrotowego Ziemi. Jego uroczyste uruchomienie w wieży Zamku Książąt Pomorskich nastąpiło 7 września 2005 roku – w Światowym Roku Fizyki.



Fot. 1. Zdjęcia wahadła Foucaulta w Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie

W październiku 2006 roku uruchomiono drugie doświadczenie (fot. 2) z tej grupy – doświadczenie Cavendisha z 1798 roku¹, polegające na wyznaczeniu masy Ziemi i stałej grawitacji. Jego parametry są zbliżone do historycznych wartości i wynoszą: masa dużej kuli 158 kg, masa małej kuli 0,75 kg, odległość między kulami 180 cm. Eksperyment jest zlokalizowany w holu Wydziału Matematyczno-Fizycznego Uniwersytetu Szczecińskiego.

¹ A.K.W. Wróblewski, J.A. Zakrzewski: *Wstęp do fizyki*, t. II, cz. 1. PWN, Warszawa 1989, A.K.W. Wróblewski: *Historia Fizyki*, PWN, Warszawa 2007.



Fot. 2. Zdjęcia doświadczenia Cavendisha znajdujące się w holu Wydziału Mat.-Fiz. Uniwersytetu Szczecińskiego

Trzecim uruchomionym doświadczeniem jest otwarte we wrześniu 2008 roku doświadczenie Younga w wersji akustycznej. Znajduje się w ładnym miejscu – ogrodzie edukacyjnym „Pod magnoliami” Szkolnego Schroniska Młodzieżowego „CUMA” w Szczecinie przy ul. Monte Cassino. W Schronisku tym od wielu lat znajdują nocleg m.in. uczniowie biorący udział w zawodach II etapu olimpiady fizycznej i matematycznej z okręgu szczecińskiego.



Fot. 3. Zdjęcie układu dla doświadczenia Younga w wersji akustycznej. Z przodu na słupku jest głośnik, dalej płyty z pleksi – środkowa o szerokości 200 cm i boczne odsunięte od niej o około 4 cm – tworzą pionowe szczeliny. Za płytami, na posadzce z płytek są namalowane trzy linie: jedna prosta wychodząca ze środka między szczelinami i dwie symetryczne krzywe (hiperbole) (więcej – patrz *Neutrino* 126)

W *Neutrinie* 26 polecamy zadanie dotyczące akustycznego eksperymentu Younga.



Złote medale w Anglii na 25-lecie Turnieju Młodych Fizyków w Polsce

Andrzej Nadolny



Turniej Młodych Fizyków w roku szkolnym 2013/2014 obchodził swoje dwudziestopięciolecie. Godnym ukoronowaniem tego jubileuszu było zdobycie złotych medali przez polską drużynę w XXVII Międzynarodowym Turnieju Młodych Fizyków, który odbył się w angielskiej miejscowości Shrewsbury w dniach 3–10 lipca 2014 roku.

W Turnieju Młodych Fizyków 2014 wzięło udział 25 drużyn z 16 miejscowości; dokładnie takie same liczby były w roku poprzednim. Każda z pięcioposobowych drużyn opracowywała rozwiązania dziesięciu zadań turniejowych wybranych przez siebie z zestawu siedemnastu problemów, które zostały opublikowane na stronie Turnieju <http://tmf.org.pl>, a także drukowane m.in. w 123 numerze *Fotonu* (Zima 2013). Prace (wyłącznie w postaci elektronicznej jako pliki PDF) były przysyłane do oceny przez jeden z dwóch ośrodków turniejowych – w Katowicach bądź Warszawie – w terminie do 25 stycznia 2014 roku. Na podstawie oceny nadesłanych prac ośrodki te zakwalifikowały drużyny do uczestnictwa w zawodach II etapu, czyli półfinałowych.

W zawodach, które odbyły się 13 marca w Śląskim Międzyuczelnianym Centrum Edukacji i Badań Interdyscyplinarnych w Chorzowie uczestniczyły cztery drużyny reprezentujące:

- Grupę Twórczą „Quark” z Pracowni Fizyki Pałacu Młodzieży w Katowicach,
- II Liceum Ogólnokształcące im. Króla Jana III Sobieskiego w Krakowie,
- VII Liceum Ogólnokształcące im. Dąbrowski w Poznaniu,
- III Liceum Ogólnokształcące im. Adama Mickiewicza w Tarnowie.

Do uczestnictwa w zawodach zorganizowanych 15 marca w Warszawie zaproszono sześć drużyn; reprezentowały one:

- III Liceum Ogólnokształcące im. Marynarki Wojennej RP w Gdyni (dwie drużyny),
- VI Liceum Ogólnokształcące im. Jana Kochanowskiego w Radomiu,
- „Słuską Szkołę Młodych Fizyków” w Słupsku,
- I Liceum Ogólnokształcące im. Bolesława Krzywoustego w Słupsku,
- XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie,
- Liceum Ogólnokształcące nr 1 we Wrocławiu.

Pierwsza część tych zawodów odbyła się w dwóch równoległych grupach po trzy drużyny. W drugiej części uczestniczyły po dwie najlepsze drużyny z tych grup.

Drużyny, które zajęły najwyższe miejsca w zawodach półfinałowych, wzięły następnie udział w zawodach finałowych rozegranych 12 kwietnia w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie. Były to drużyny reprezentujące:

- III Liceum Ogólnokształcące im. Marynarki Wojennej RP w Gdyni,
- Grupę Twórczą „Quark” z Pałacu Młodzieży w Katowicach,
- VII Liceum Ogólnokształcące im. Dąbrówki w Poznaniu,
- XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie.

W odróżnieniu od poprzednich etapów zawody finałowe są rozgrywane w języku angielskim. Każda z drużyn uczestniczyła w dwóch potyczkach, tzn. dwukrotnie występowała w każdej z ról – referenta, oponenta, recenzenta. Wszystkie wystąpienia były oceniane przez dziewięcioosobowe jury pod przewodnictwem prof. dr hab. Macieja Kolwasa z Instytutu Fizyki PAN. W skład jury wchodził pracownicy naukowcy z Katowic, Krakowa, Warszawy i Zielonej Góry oraz zaproszony gość zagraniczny.

Wyniki zawodów finałowych (punkty uzyskane przez poszczególne drużyny) przedstawiają się następująco:

Miejsce	Drużyna	I potyczka	II potyczka	Suma punktów
1	XIV LO im. Stanisława Staszica w Warszawie	54,5	53,2	107,7
2	Grupa Twórcza „Quark” z Pałacu Młodzieży w Katowicach	46,6	50,1	96,7
3	VII LO im. Dąbrówki w Poznaniu	40,6	45,1	85,7
4	III LO im. Marynarki Wojennej RP w Gdyni	35,8	39,9	75,7

Po zakończonych zawodach finałowych przyszedł czas na decyzję co do składu polskiej reprezentacji na XXVII Międzynarodowy Turniej Młodych Fizyków (MTMF). Do roku 2012 nasz kraj w Turnieju Międzynarodowym reprezentowały drużyny zdobywcy pierwszego miejsca w TMF. W MTMF ich rywalami były coraz częściej drużyny złożone z najlepszych jednostek wyłonionych z czołowych drużyn danego kraju. Z drugiej strony zdarzało się, że różnica punktów uzyskanych przez dwie pierwsze drużyny w finałowych zawodach TMF była tak niewielka, że ocierała się o granicę błędu statystycznego. W 2013 roku Krajowy Komitet TMF podjął więc decyzję, że w przypadku, gdy różnica między sumą punktów uzyskanych przez drużynę zajmującą pierwsze miejsce w zawodach a sumą punktów uzyskanych przez drużynę zajmującą drugie miejsce będzie znacząca, do reprezentowania naszego kraju w Międzynarodowym Turnieju Młodych Fizyków zostanie powołana drużyna zdobywca pierwszego miejsca; gdy natomiast odpowiednia różnica/e między drużyną zajmującą pierwsze miejsce w zawodach a drużyną/drużynami zajmującą/cymi następne miejsce/a będzie znikoma, do drużyny narodowej zostanie powoła-

nych co najmniej trzech członków zwycięskiej drużyny, a pozostałych członków będzie można powołać z innych drużyn po konsultacjach z opiekunami tych drużyn.

Różnica 11 punktów dzieląca pierwszą drużynę od drugiej była tak wyraźna, że powołanie zwycięskiej drużyny do reprezentowania Polski w Turnieju Międzynarodowym było bezdyskusyjne. Gdyby jednak wykorzystać metodę (stosowaną w wielu krajach) powoływania do drużyny narodowej najlepszych jednostek, to z pewnością znalazłoby się w niej także miejsce dla jednego, a może i dwóch wyróżniających się uczestników drużyny GT „Quark”, która zajęła drugie miejsce. Po przygotowaniach tak skompletowanej drużyny, najlepiej pod skrzydłami jakiegoś ośrodka akademickiego, jej szanse w Turnieju Międzynarodowym byłyby zapewne większe niż drużyny pochodzącej z jednej szkoły. I tu dochodzimy do zasadniczego pytania o to, co ważniejsze – maksymalizacja sukcesu drużyny narodowej w MTMF, czy też zespołowa praca uczniów w ramach jednej drużyny od początku do końca. Wśród zainteresowanych drużyn przeważa ten drugi pogląd. Przyjęte rozwiązanie wydaje się sensownym kompromisem na wypadek sytuacji szczególnej.

W XXVII Międzynarodowym Turnieju Młodych Fizyków (*International Young Physicists' Tournament – IYPT*) Polska była więc reprezentowana przez drużynę XIV LO im. Stanisława Staszica w Warszawie w składzie: Anna Wald (kapitan drużyny), Paweł Czyż, Tymoteusz Miara, Filip Moldzyński i Radost Waszkiewicz; byli to wyłącznie uczniowie klas pierwszych i drugich. Drużynie towarzyszył jako opiekun (*leader*) Łukasz Gładczuk, student Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, który w przeszłości uczestniczył w Międzynarodowych Turniejach Młodych Fizyków jako uczeń tego liceum, a od trzech lat (od śmierci mgr Stanisława Lipińskiego, nauczyciela z XIV LO znanego z sukcesów swoich uczniów w TMF i w Olimpiadzie Fizycznej) przygotowuje drużynę tej szkoły do Turnieju. Drugim opiekunem drużyny był dr Leszek Gładczuk, adiunkt w Instytucie Fizyki PAN, który zarazem uczy w Liceum im. Stanisława Staszica. W Turnieju brał także udział jako niezależny juror i przedstawiciel Polski w Międzynarodowym Komitecie Organizacyjnym (IOC IYPT) autor artykułu, będący aktywnym uczestnikiem tego międzynarodowego konkursu niemal od początku jego istnienia.

Na XXVII MTMF (IYPT 2014) pojawiły się drużyny z 28 krajów: Australii, Austrii, Białorusi, Brazylii, Bułgarii, Chin, Chorwacji, Czech, Gruzji, Korei Płd., Macao, Niemiec, Nigerii, Nowej Zelandii, Polski, Rumunii, Rosji, Singapuru, Słowacji, Słowenii, Szwajcarii, Szwecji, Tajwanu, Tajlandii, Ukrainy, Zjednoczonych Emiratów Arabskich, Węgier i Wielkiej Brytanii. Nie udało się niestety przybyć drużynie Iranu, która mimo usilnych starań nie uzyskała wiz brytyjskich.

Po etapie „potyczek selekcyjnych”, w których uczestniczyły wszystkie drużyny, polska drużyna znalazła się na trzeciej pozycji i zakwalifikowała się do

finału zapewniając sobie w ten sposób dyplomy pierwszego miejsca oraz złote medale. Najlepsza zarówno w „potyczkach selekcyjnych”, jak i w finale okazała się drużyna Singapuru, która – powtarzając sukces z poprzedniego roku – oprócz złotych medali otrzymała puchar IYPT. Pozostali finaliści udekorowani złotymi medalami, to drużyny Słowacji i Chin. Srebrne medale zdobyły drużyny Korei Płd., Nowej Zelandii, Tajwanu, Rosji i Niemiec. Brązowe medale przypadły w udziale drużynom Austrii, Szwecji, Wielkiej Brytanii, Białorusi i Szwajcarii. Więcej informacji o XVII Międzynarodowym Turnieju Młodych Fizyków można znaleźć na stronie <http://iypt.org/Tournaments/Shrewsbury>.

Międzynarodowy Turniej odbywał się w Shrewsbury School, liczącej ponad 450 lat jednej z kilku słynnych angielskich *public schools* (znanych też pod nazwą *independent schools*). Jest to elitarna szkoła kształcąca ponad 700 uczniów – dzieci bogatych ludzi, nie tylko Brytyjczyków. O tym, jak bardzo odbiega ona od naszych wyobrażeń o szkole, mogą świadczyć hektary nieskazitelnego „angielskiego trawnika” służącego różnego rodzaju aktywności fizycznej, a także szkolna biblioteka, w której zbiorach znajdują się takie rarytasy, jak główne dzieło Newtona *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* z 1687 roku (dzieło to wraz z innymi starodrukami uczestnicy Turnieju mieli okazję brać do ręki!).

Shrewsbury – nieduże angielskie miasto położone w pobliżu granicy z Walią, o pięknej, starej zabudowie – znajduje się w rejonie będącym XVII-wieczną kolebką przemysłu. Została więc zorganizowana wycieczka do muzeów prezentujących wczesny okres rozwoju przemysłu stalowego i hutnictwa opartego na węglu oraz do pierwszego mostu żelaznego z 1779 roku. Inną atrakcją, już z czasów najnowszych, była wycieczka do nowoczesnego i przebogatego muzeum lotnictwa „RAF Cosford Museum”, zawierającego w sobie również Muzeum Zimnej Wojny.

Na stronie internetowej Turnieju <http://tmf.org.pl>, w zakładce „Galeria” można znaleźć zdjęcia z zawodów TMF 2014, a także z MTMF 2014.

Na zakończenie trzeba wspomnieć o instytucjach, które finansowały Turniej Młodych Fizyków 2014 oraz uczestnictwo polskiej drużyny w XXVII Międzynarodowym Turnieju Młodych Fizyków. Były to Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (w ramach wspierania działalności upowszechniającej naukę), Fundacja BRE Banku oraz Polski Komitet UNESCO, który objął Turniej swoim patronatem honorowym. Godne podkreślenia jest także wsparcie udzielane Turniejowi przez Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk.



Polska drużyna przy pracy w Shrewsbury



Złoty medal XXVII Międzynarodowego Turnieju Młodych Fizyków (otrzymał go każdy z członków drużyny)



Dyplom kapitana polskiej drużyny



Turniej Młodych Fizyków 2015

Andrzej Nadolny

Rozpoczęła się nowa edycja Turnieju Młodych Fizyków. W tym roku do Pałacu Młodzieży w Katowicach i Instytutu Fizyki PAN w Warszawie doszedł trzeci ośrodek organizujący dwa pierwsze etapy Turnieju: Zakład Dydaktyki Fizyki w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego.

Prace, stanowiące rozwiązania publikowanych poniżej problemów turniejowych, należy przysyłać **do 25 stycznia 2015** roku za pośrednictwem strony internetowej, deklarując jednocześnie, w którym ośrodku mają one być oceniane.

Szczegółowe informacje są dostępne na stronie <http://tmf.org.pl>. Na tej stronie można też znaleźć przykładowe prace z lat poprzednich.

Problemy Turnieju Młodych Fizyków 2015

„Czy nie mógłby pan mnie poinformować, którądy powinnam pójść?”
„To zależy w dużej mierze od tego, dokąd pragnęłabyś zajść”
odparł Kot-Dziwak.

Alicja w krainie czarów, Lewis Carroll, tłum. Antoni Marianowicz

1. Upakowanie

Ułamek przestrzeni zajmowanej przez granularne cząstki przy gęstym ich upakowaniu zależy od kształtu cząstek. Wsyp do pudełka granularny materiał o niekulistych cząstkach, jak np. ryż, zapalki lub cukierki *M&M*. Jak liczba koordynacyjna, uporządkowanie kierunkowe, ułamek określający, jaka część przestrzeni jest zajmowana przez ten materiał przy gęstym upakowaniu cząstek oraz inne cechy charakteryzujące ten układ zależą od istotnych parametrów?

2. Pióropusz dymu

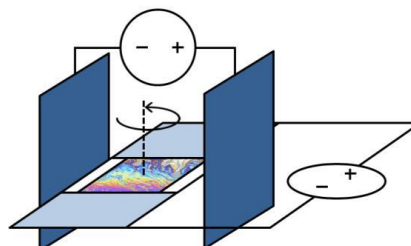
Gdy zapaloną świecę nakryjemy przezroczystym szklanym naczyniem w rodzaju zlewki, płomień świecy zgaśnie, a w górę będzie się unosił pióropusz dymu. Zbadaj obserwowany pióropusz dymu stosując różne powiększenia optyczne.

3. Sztuczny mięsień

Podłącz polimerową żyłkę wędkarską do elektrycznej wiertarki i skręcając ją wprowadź w niej naprężenia. W miarę skręcania żyłki tworzy ona ścisłe zwoje o kształcie przypominającym sprężynę. Podgrzej te zwoje tak, aby doprowadzić do utrwalenia się ich sprężynowego kształtu. Przy ponownym podgrzaniu zwoje będą się kurczyły. Zbadaj taki „sztuczny mięsień”.

4. Silnik z ciekłą błoną

Na płaskiej ramce rozepnij błonkę mydlaną i umieść ją w polu elektrycznym równoległym do jej powierzchni. Prostopadle do kierunku pola elektrycznego przepuść przez błonkę prąd elektryczny. Materiał błonki zacznie wirować wokół osi prostopadłej do jej powierzchni. Zbadaj i wyjaśnij to zjawisko.



5. Para baloników

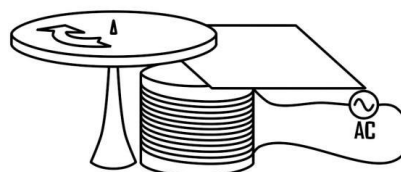
Dwa gumowe baloniki, częściowo wypełnione powietrzem, połączono przewodem z zaworem. Stwierdzono, że w zależności od pierwotnych objętości baloników powietrze przepływa w jedną albo w drugą stronę. Zbadaj to zjawisko.

6. Rotor Magnusa

Sklej dwa lekkie plastikowe kubki denkami ze sobą. Dookoła środkowej części sklejonych kubków nawiń gumkę. Przytrzymując sklezione kubki naciągnij swobodny koniec gumki, a następnie zwolnij kubki wprawiając je w ruch. Zbadaj ruch sklejonych kubków.

7. Zacieniony biegun

Zamocowany na osi krążek z nieferromagnetycznego metalu umieszczamy nad elektromagnesem zasilanym prądem zmiennym – jak na rysunku. Krążek jest odpychany, ale się nie obraca. Jeśli jednak między elektromagnesem a krążek częściowo wprowadzimy blachę z nieferromagnetycznego metalu, krążek zacznie się obracać. Zbadaj to zjawisko.



8. Cukier i sól

W przezroczystym pojemniku znajduje się warstwa słonej wody, a nad nią warstwa wody osłodzonej. Kierując na pojemnik z jednej strony wiązkę światła można na ekranie umieszczonym z drugiej strony zobaczyć wyraźne wzory przypominające palce. Zbadaj to zjawisko oraz jego zależność od istotnych parametrów.

9. Poduszkiowiec

Prosty model poduszkiowca można zbudować używając płyty CD połączonej za pomocą rurki z balonem wypełnionym powietrzem. Ulatujące powietrze może unieść takie urządzenie, umożliwiając jego ruch nad gładką powierzchnią z bardzo małym tarcie. Zbadaj jak istotne parametry wpływają na długość czasu, w którym poduszkiowiec może przebywać w stanie „niskiego tarcia”.

10. Grający liść trawy

Dmuchając z boku na liść trawy, pasek papieru lub podobny przedmiot można wygenerować dźwięk. Zbadaj to zjawisko.

11. Detektor kryształkowy

Pierwsze diody półprzewodnikowe, które stosowano powszechnie w radioodbiornikach kryształkowych, składały się z kryształu półprzewodnika (np. galeny) i cienkiego drutu, który go punktowo dotykał. Zbuduj własną diodę kryształkową i zbadaj jej właściwości elektryczne.

12. Gruba soczewka

Butelka wypełniona cieczą może działać jak soczewka. Niektórzy sądzą, że taka butelka może być niebezpieczna, jeśli zostanie pozostawiona na stole w słoneczny dzień. Czy można użyć takiej „soczewki”, by przypalić powierzchnię?

13. Wahadło magnetyczne

Wykonaj lekkie wahadło z małym magnesem zamocowanym na jego swobodnym końcu. Umieszczony w pobliżu elektromagnes, zasilany prądem zmiennym o częstotliwości znacznie większej od częstotliwości własnej wahadła, może wprowadzić je w niegasnące drgania o różnej amplitudzie. Zbadaj i wyjaśnij to zjawisko.

14. Świetlne koło

Gdy wiązka lasera zostanie skierowana na drut, to na ekranie umieszczonym prostopadle do tego drutu można zaobserwować obraz w kształcie koła. Wyjaśnij to zjawisko i zbadaj, jak zależy ono od istotnych parametrów.

15. Ruchoma szczotka

Szczotka umieszczona na wibrującej poziomej powierzchni może zacząć się poruszać. Zbadaj ten ruch.

16. Mokry i ciemny

Ubrania, gdy zostaną zmoczone, mogą wyglądać ciemniej lub zmienić kolor. Zbadaj to zjawisko.

17. Filiżanka kawy

Fizycy lubią pić kawę, jednakże przejście między laboratoriami z filiżanką kawy bez jej rozlania nie jest łatwe. Zbadaj jak kształt filiżanki, prędkość poruszania się krokami oraz inne parametry wpływają na możliwość rozlania kawy podczas takiego przejścia.



XIV Spotkanie Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki

*Stanisław Bednarek
Uniwersytet Łódzki*

Inicjatorem powołania Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki jest Prof. Wojciech Nawrocik z Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. Co roku członkowie Klubu spotykają się na konferencji, której głównym celem jest przegląd oryginalnych i atrakcyjnych sposobów demonstrowania zjawisk fizycznych w celach edukacyjnych i popularyzatorskich.

W dniach 23–26 czerwca 2014 roku odbyło się już XIV Spotkanie Klubu w gościnnych murach Politechniki Rzeszowskiej. Wzięło w nim udział 59 zarejestrowanych uczestników, którzy podczas 5 sesji wygłosili 23 referaty. Każdy z referatów zawierał pokazy doświadczeń fizycznych lub dotyczył omówienia interesujących przedsięwzięć w tej dziedzinie. Zakres tematyczny referatów był bardzo szeroki i obejmował wszystkie poziomy nauczania fizyki oraz formy jej popularyzacji. Pokazywane były więc bardzo proste doświadczenia, które można przeprowadzić przy użyciu przedmiotów codziennego użytku, oznaczone dla uczniów gimnazjów czy nawet szkół podstawowych, jak choćby skutki działania ciśnienia atmosferycznego i orientacja magnesów. Zaprezentowano też doświadczenia wykonywane przy użyciu zaawansowanych technologii materiałowych oraz informatycznych i elektronicznych, m.in. nanocząstek i ultraszybkiej kamery. Ta ostatnia pozwoliła zobrazować i lepiej zrozumieć aspekty zjawisk, które często widzimy, ale nie zdajemy sobie sprawy z ich istoty. Były to szczegóły procesów przekazywania pędu i momentu pędu w układzie zderzających się kul, gdy działają na nie siły tarcia. Inspiracją dla opracowania nowych doświadczeń i zadań problemowych dla niektórych uczestników spotkania stały się błędy w podręcznikach szkolnych. Tak się niestety zdarza, że czasem autorzy podręczników zamieszczają opisy doświadczeń, jednak sami ich nie sprawdzają i powielają w ten sposób cudze błędy. Kilka referatów dotyczyło omówienia wyników zakończonych lub jeszcze realizowanych projektów, których celem była popularyzacja fizyki i astronomii. Z zadowoleniem należy odnotować fakt, że w niektórych sesjach Spotkania uczestniczyli w charakterze obserwatorów nauczyciele fizyki z gimnazjów i szkół ponadgimnazjalnych. W kilku zespołach z wyższych uczelni, prezentujących doświadczenia, znaleźli się także studenci.

Członkowie Klubu podjęli również dyskusję o jego przyszłości. Przedstawiono propozycje przekształcenia klubu w stowarzyszenie lub fundację w celu uzyskania większych możliwości działania. Postulowano też stopniowe przekształcenie spotkań w konferencję międzynarodową. Zwiększyłyby to ich rangę

i pozwoliło uzyskać wyższe dofinansowanie na ich organizację, a także zachęciło liczniejszą grupę osób do udziału. Pojawiła się również propozycja utworzenia czasopisma, dotyczącego doświadczeń pokazowych z fizyki lub wydawania drukiem materiałów pokonferencyjnych. Najbliższe lata pokażą, które z tych pomysłów uda się zrealizować.

Organizatorzy spotkania zapewnili jego uczestnikom przyjemne i pożyteczne spędzenie czasu poza sesjami – zwiedzanie Rzeszowa z przewodnikiem i przejście podziemną trasą turystyczną pod starą częścią miasta. Miłym gestem organizatorów był bilet specjalny dla każdego uczestnika. Pozwalał on na bezpłatne przejazdy i samodzielne zwiedzanie miasta, które w ostatnich latach staje się coraz ładniejsze. Odbyła się również wycieczka do zamku w Łąncucie wraz ze zwiedzaniem unikalnej kolekcji powozów. Wzruszającą niespodzianką podczas powrotu z tej wycieczki okazała się wizyta u pana Leszka Bielendy w Głogowie Małopolskim i spotkanie z... lwem angolskim. Pan Leszek przed pięciu laty przygarnął i wyleczył małego lewka, któremu groziło uspienie, ponieważ miał wadę wzroku i nie nadawał się do cyrku. Pokonał też liczne trudności prawne i obecnie jako jedyny prywatny hodowca lwa w Polsce, pozwala na jego bezpłatne oglądanie. Dzięki temu w promieniach popołudniowego, czerwcowego słońca, „król zwierząt” demonstrował członkom Klubu Demonstratorów Fizyki swoją potęgę i świetną kondycję.

Następne spotkanie demonstratorów odbędzie się w czerwcu 2015 roku w Lublinie. Więcej informacji na temat Klubu i tegorocznej konferencji można znaleźć na stronach: www.demofiz.univ.szczecin.pl oraz www.sokdf2014.prz.edu.pl.



Uroczyste otwarcie XIV Spotkania Klubu Demonstratorów Fizyki (fot. Jerzy Krysiak)



Strategie oceniania w nauczaniu metodą odkrywania przez dociekanie – projekt SAILS

Dagmara Sokołowska
Instytut Fizyki UJ

W roku 2007 Komisja Europejska udostępniła raport grupy ekspertów, zwany *Raportem Rocard* [1], dotyczący nowego podejścia do nauczania przedmiotów przyrodniczych i zawierający szczegółowe rekomendacje odnośnie edukacji tych przedmiotów w przyszłej Europie. Jedną z nich zaleca wprowadzenie *Inquiry-Based Science Education, IBSE* (nauczania przedmiotów przyrodniczych metodą odkrywania przez dociekanie) jako podstawowej formy nowej pedagogiki przyrodniczej, przy jednoczesnej masowej organizacji szkoleń nauczycieli w tym zakresie oraz tworzenia społeczności nauczycieli pracujących metodą *IBSE*.

Wpływ raportu był tak wielki, że większość narodowych ministerstw odpowiedzialnych za edukację (w tym także polskie Ministerstwo Edukacji Narodowej) uwzględniła jego zapisy w zreformowanych podstawach programowych [2]. Komisja Europejska zdawała sobie jednak sprawę, że zmiana samych dokumentów nie jest wystarczająca do przeprowadzenia rewolucji w nauczaniu, dlatego też w latach 2007–2013 sfinansowała w ramach 7. Programu Ramowego szereg projektów europejskich dotyczących metodologii *IBSE* (m.in. *Fibonacci*, *Primas*, *ESTABLISH*). Miały one na celu głównie wypracowanie materiałów do nauczania przyrody poprzez zastosowanie *IBSE* oraz organizację szkoleń nauczycieli przyrody na masową skalę.

W roku 2012 rozpoczęła się realizacja *SAILS* [4] – jeszcze jednego projektu w cyklu, mającego tym razem na celu wypracowanie strategii oceniania w nauczaniu metodą *IBSE*, absolutnie niezbędnej do upowszechnienia nowego podejścia w praktyce szkolnej.

Działania Projektu oparte są na trzech filarach:

- I Stworzenie strategii oceniania spójnej z metodologią odkrywania przez dociekanie i przygotowanie kilkudziesięciu jednostek lekcyjnych w oparciu o *IBSE*, z dodatkiem narzędzi oceniających.
- II Zaprojektowanie i wdrożenie programu kształcenia przyszłych i czynnych nauczycieli przedmiotów przyrodniczych na bazie *IBSE* i strategii oceniania nauczania w tej metodologii.
- III Stworzenie międzynarodowej *Spoleczności Praktyków* oraz jej lokalnych, narodowych grup, skupiających głównie nauczycieli przedmiotów przyrodniczych, w celu umożliwienia wymiany doświadczeń związanych z *IBSE* i jej wdrażaniem w praktyce szkolnej.

W projekcie bierze udział czternaście organizacji partnerskich (uczelnie wyższe, jednostki edukacyjne, przedsiębiorstwa) z dwunastu krajów europej-

skich: Irlandii, Belgii, Danii, Grecji, Niemiec, Polski, Portugalii, Słowacji, Szwecji, Turcji, Węgier i Wielkiej Brytanii. W Polsce koordynacją projektu zajmuje się dr Paweł Bernard z Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego, a działania są współrealizowane przez Wydział Biologii i Nauk o Ziemi oraz Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ.

W ramach SAILS organizowane są w Krakowie Zimowe Szkoły dla nauczycieli biologii, chemii i fizyki. Każde z 4–5-dniowych spotkań obejmuje wykłady z *IBSE* oraz wielogodzinne warsztaty w tej metodologii z podziałem na przedmioty nauczania. Nauczyciele uzyskują również dostęp do materiałów dydaktycznych wypracowanych w ramach projektu.

Zachęcamy wszystkich nauczycieli biologii, chemii i fizyki do wstąpienia do polskiej *Spoleczności Praktyków IBSE*:

<http://www.sails-project.eu/portal/cop/poland>

oraz do udziału w najbliższej Zimowej Szkole dla nauczycieli, która odbędzie się w dniach 8–13 lutego 2015 r.

Informacje dotyczące zapisów i programu pojawią się w styczniu 2015 r. na stronie: <http://sails.zmnch.pl/>

Źródła:

- [1] Rocard M., Csermely P., Jorde D., Lenzen D. *et al.* (2007), *Science Education NOW: A Renewed Pedagogy for the Future Europe*, European Commission, Directorate – Generale for Research Science, Economy and Society. Retrieved from http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- [2] de Meyere J., Sokolowska D., Folmer E., Rovsek B., Peeters W. (2014), MST curricula for 5, 8, 11 and 13 year olds researched by SECURE project across the Europe. *Proceedings of the Irish Association for Social, Scientific and Environmental Education, Annual Conference 2013, Dublin 20–21 June 2013*, p. 89–106. Ze strony: <http://www.tara.tcd.ie/bitstream/handle/2262/69112/IASSEE%20Final%20Report-2.pdf?sequence=1>
- [3] Fibonacci: <http://fibonacci-project.eu/>
Primas: <http://www.primas-project.eu/en/index.do>
ESTABLISH: <http://establish-fp7.eu/>
- [4] Projekt SAILS: <http://www.sails-project.eu/portal>

Foton – pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów
wydawane przez

Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

ISSN 1234-4729

Biuletyn Sekcji Nauczycielskiej Polskiego Towarzystwa Fizycznego

Zespół Redakcyjny:

Zofia Gołąb-Meyer (red. nacz.), Katarzyna Cieślak,
Katarzyna Dziedzic-Kocurek, Dagmara Sokółowska, Witold Zawadzki

Rada Redakcyjna:

Paweł Góra (przewodniczący), Jacek Bieroń, Ewa Dębowska, Leszek Hadasz,
Jerzy Karczmarczyk, Piotr Tomczak, Jerzy Zachorowski

Adres Redakcji:

FOTON

Instytut Fizyki UJ, ul. Łojasiewicza 11/D-2-31, 30-348 Kraków

tel.: 0-12 664-45-63

e-mail: foton@if.uj.edu.pl

e-mail: meyer@th.if.uj.edu.pl

www.foton.if.uj.edu.pl

Sekcja Nauczycielska PTF <http://www.ptf.agh.edu.pl/SN>

Redakcja techniczna, opracowanie graficzne i skład:

Anna Gagattek, IF UJ

Projekt okładki:

Andrzej Cieślak

Druk i oprawa:

Poligrafia Salezjańska

ul. Bałuckiego 8, 30-318 Kraków

tel. 12-252 85 13

Warunki prenumeraty – *Foton* + *Neutrino*:

Cena prenumeraty rocznej wynosi **tylko!** 31,50 zł. Pieniądze należy wpłacić na konto:

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

"FOTON"

Bank PEKAO S.A. O/Kraków

Nr r-ku: **07 1240 4722 1111 0000 4855 9692**

Prosimy o poinformowanie Redakcji o dokonanej wpłacie i podanie NIP



SAILS
Strategies for Assessment of
Inquiry Learning in Science



Konsorcjum Projektu **SAILS** składa się z czternastu organizacji partnerskich z dwunastu krajów europejskich: Irlandii, Belgii, Danii, Grecji, Niemiec, Polski, Portugalii, Słowacji, Szwecji, Turcji, Węgier i Wielkiej Brytanii.

Koordynatorem w Polsce jest Wydział Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego (zespół dra Pawła Bernarda), wspierany przez grupy dydaktyczne z Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi oraz z Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ.



Działania Projektu oparte są na trzech filarach:

- I. Stworzenie strategii oceniania spójnej z metodologią odkrywania przez dociekanie i przygotowanie kilkudziesięciu jednostek lekcyjnych w oparciu o *IBSE*, z dodatkami narzędzi ocenających.
- II. Zaprojektowanie i wdrożenie programu kształcenia przyszłych i czynnych nauczycieli przedmiotów przyrodniczych na bazie *IBSE* i strategii oceniania nauczania w tej metodologii.
- III. Stworzenie międzynarodowej *Spółeczności Praktyków* oraz jej lokalnych, narodowych grup, skupiających głównie nauczycieli przedmiotów przyrodniczych, w celu umożliwienia wymiany doświadczeń związanych z *IBSE* i jej wdrażaniem w praktyce szkolnej.

Celem projektu SAILS jest przygotowanie nauczycieli przedmiotów przyrodniczych na poziomie gimnazjum i szkoły ponadgimnazjalnej nie tylko do nauczania opartego na metodologii odkrywania przez dociekanie (*Inquiry-based Science Education, IBSE*), ale także do komplementarnego i rzetelnego oceniania uczniów pracujących tą metodą.

W ramach projektu odbyły się w Polsce do tej pory trzy Zimowe Szkoły dla nauczycieli biologii, chemii i fizyki. Czwarta Szkoła Zimowa została zaplanowana na 8–13 lutego 2015 r. w Krakowie.

Zachęcamy wszystkich nauczycieli przedmiotów przyrodniczych do zapisania się do polskiej *Spółeczności Praktyków IBSE* :

<http://www.sails-project.eu/portal/cop/poland>

oraz do udziału w Szkole dla nauczycieli w przyszłym roku.

Informacje dotyczące zapisów i programu pojawią się w styczniu 2015 r. na stronie:

<http://sails.zmnch.pl/>