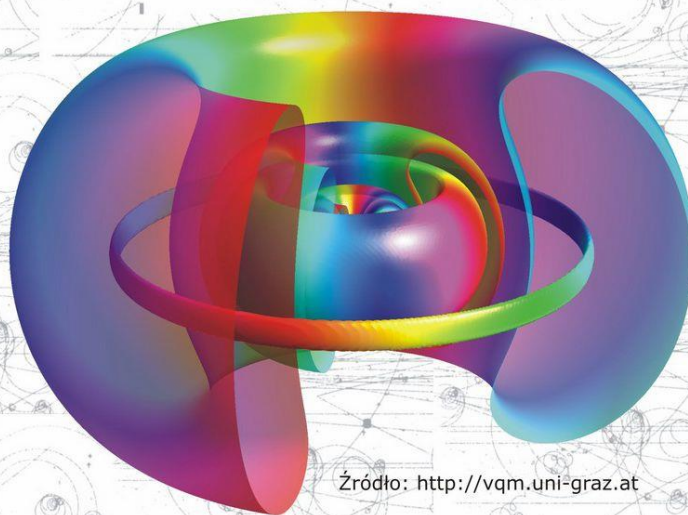


Foton 100

Wiosna
2008

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

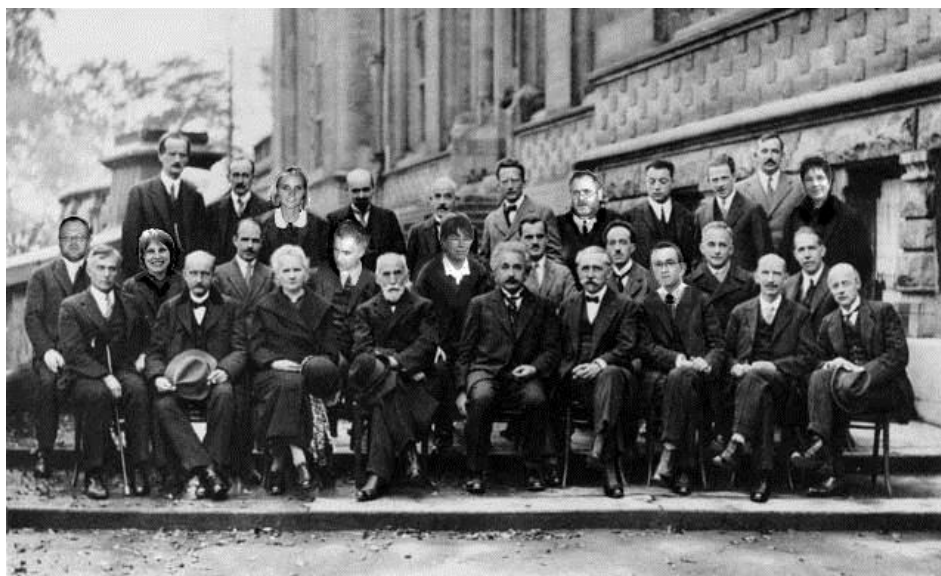
INSTYTUT FIZYKI X UNIwersYTET JAGIELLOŃSKI
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



Źródło: <http://vqm.uni-graz.at>

Kwanty w szkole
Archimedes na wadze
Po co nam CERN
Jak zostać rewolucjonistą

JUBILEUSZOWY
NUMER



A. Piccard, E. Henriot, D. Sokolowska, Ed. Herzen, Th. De Donder, E. Schrödinger, J. Karczmarszuk, W. Pauli, W. Heisenberg, R.H. Fowler, A. Gagalek,
P. Góra, K. Cieślak, W.L. Bragg, J. Bieroń, Z. Gołab-Meyer, A.H. Compton, L. de Broglie, M. Born, N. Bohr,
I. Langmuir, M. Planck, M. Curie, H.A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, W. Zajczek, T.R. Wilson, O.W. Richardson

Dyskusje w Redakcji nad nauczaniem mechaniki kwantowej sprowokowały nas do wirtualnej wizyty
na konferencji Solvaya w 1927 roku w Brukseli



Podziękowania

Setny zeszyt *Fotonu* – szesnastcie lat prowokuje do refleksji. Dużo się zmieniło w tym czasie. Przede wszystkim Internet zawitał pod strzechy, a w jego zasobach znalazło się wiele materiału użytecznego dla uczniów, studentów i nauczycieli. *Foton* też od paru lat posiada własną witrynę. Pomagamy nawigować po Internecie, podpowiadamy, co jest ważne i ciekawe. Zachęcamy nasze koleżanki i kolegów fizyków by podjęli niełatwy i duży trud, i opracowywali artykuły dla uczniów. Artykuły zamieszczane w *Fotonie* przechodzą surową selekcję i krytykę recenzentów.

Chcemy wrócić do korzeni *Fotonu*, jako biuletynu Sekcji Nauczycielskiej PTF, i na jego łamach inspirować dyskusje dydaktyczne. Nie ma w Polsce forum, gdzie takie dyskusje mogłyby mieć miejsce. Na pierwszy ogień wybraliśmy mechanikę kwantową. Redakcja nawet nie spodziewała się, że aż takie emocje wśród nauczycieli i fizyków to wzbudzi.

Artykuły kierowane wprost do uczniów, zwłaszcza tych młodszych, będziemy zamieszczać w *Neutrinie*, które będzie towarzyszyć *Fotonowi*. Uważamy, że to nasza misja.

Z przyjemnością możemy Państwu przekazać, że kolejne Przedszkole Fizyki, już krakowskie, cieszy się ogromną popularnością. Uczniowie są dosłownie głodni rzetelnej wiedzy, a nie tylko rozrywki. W bawieniu fizyką mamy coraz lepsze, i bardzo dobre, rezultaty. Jednak te zastępy uczniów chętnych do ambitnej nauki wymagają specjalnej troski. Chcemy w tym Państwu pomagać.

Obecna Redakcja dziękuje wszystkim swoim byłym redaktorom, współpracownikom i autorom, zarówno tym bardzo młodym, jak i doświadczonym i dystygowanym. Dziękujemy cierpliwym i wnikliwym recenzentom. A przede wszystkim dziękujemy naszym Czytelnikom – nauczycielom, studentom, uczniom i wszystkim sympatykom za liczną korespondencję i osobiste kontakty z Redakcją. Mamy nadzieję, że nadal będziemy owocnie współpracować.

Redakcja *Fotonu* dziękuje Wydziałowi Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej IF za rozpostarcie nad nim macierzyńskich skrzydeł. Dzięki tej unikalnej dla uniwersytetów pomocy, *Foton* wykuł się z czterostroniczkowego pisklątka w profesjonalny kwartalnik. Dzięki afiliacji przy WFAiS UJ może pozostawać zupełnie niezależnym pismem.

Zofia Gołąb-Meyer, Jacek Bieroń, Katarzyna Cieślak,
Anna Gagattek, Paweł Góra, Jerzy Karczmarczyk,
Dagmara Sokołowska, Wiesław Zajiczek



Contents

Acknowledgements	
<i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	1
Partners in physics education	
<i>Karl C. Mamola</i>	4
Living on a sphere...	
<i>Andrzej Kajetan Wróblewski</i>	5
Can particle physics be economical?	
<i>Grzegorz Brona</i>	8
Where do the highest energy particles come from?	
<i>Krzysztof Fiałkowski</i>	15
On the probabilistic interpretation of quantum mechanics	
<i>Andrzej Staruszkiewicz</i>	18
On teaching quantum mechanics at school	
<i>Andrzej Staruszkiewicz</i>	24
Origins of quantum mechanics (quotations from <i>History of physics</i>).....	26
Quantum mechanics at school – the advantages of Bohr’s model of atom	
<i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	28
The atom built by Bohr	
<i>Mariusz Sadzikowski</i>	31
Wonders of the quantum world	
<i>Henryk Arodź</i>	37
Metamorphosis of <i>Foton</i> over 16 years.....	50
Atom in philately from Jerzy Bartke’s collection.....	52
Boys from good homes created a revolution in 20th century physics	
<i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	53
Recollections of an old editor	
<i>Adam Strzałkowski</i>	60
The importance of simple qualitative experiments in physics didactics	
<i>Alfred Pflug</i>	62
„Missing mass”	
<i>Sergej Faletič, Gorazd Planinšič</i>	69
Problems	
Noises from the cave (8) – Recoil phenomena <i>Adam Smólski</i>	74
Torricelli point <i>Theo Ruijgrok</i>	78
Interview with Wojciech Blicharski, the editor of <i>Foton</i> in years 1992–1999.....	79
What to read. <i>Mr. Fahrenheit, dżentelmen z Gdańska</i> by Andrzej Januszajtis.....	82
Physics in the Internet. Quantum Mechanics	
<i>Wiesław Zajiczek</i>	84
Kindergarten of Physics Winter 2008	
<i>Dagmara Sokółowska</i>	86
Polish team – the bronze medal in Korea	
<i>Urszula Woźnikowska-Bezak</i>	88
Polish Festival „Science on Stage 3”	
<i>Wojciech Nawrocik</i>	90
Commission of Physical Terminology about a meaning of the term „substance”	
<i>Bernard Jancewicz</i>	92
Galactic zoo – the new tool for polish schools	
<i>Tomasz Skowron</i>	93
Polish Physical Society Competition on Demonstrations in Physics	
<i>Andrzej Zięba</i>	95
„Firefly” – new Contest in Science for Primary School	
<i>Dagmara Sokółowska</i>	96
Xperimania	
<i>Leszek Jabłoński</i>	98
Editorial News.....	99



Spis treści

Marzenia możliwe do spełnienia <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Partnerzy w nauczaniu fizyki <i>Karl C. Mamola</i>	4
Mieszkając na kuli... <i>Andrzej Kajetan Wróblewski</i>	5
Czy fizyka cząstek elementarnych może być opłacalna? <i>Grzegorz Brona</i>	8
Skąd pochodzą cząstki o największej energii? <i>Krzysztof Fiałkowski</i>	15
Nieustępliwość problemu interpretacji mechaniki kwantowej <i>Andrzej Staruszkiewicz</i>	18
O nauczaniu mechaniki kwantowej w szkole średniej <i>Andrzej Staruszkiewicz</i>	24
Narodziny mechaniki kwantowej (cytaty z <i>Historii fizyki</i>).....	26
Kwanty w szkole – pochwała Modelu Bohra <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	28
Atom, który zbudował Bohr <i>Mariusz Sadzikowski</i>	31
Dziwy świata kwantowego <i>Henryk Arodź</i>	37
Metamorfoza <i>Fotonu</i> na przestrzeni 16 lat.....	50
Obraz atomu i jego twórcy na znaczkach z kolekcji Jerzego Bartkego.....	52
Grzeczni chłopcy z dobrych domów przeprowadzają rewolucję w fizyce XX wieku <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	53
Garść wspomnień starego redaktora <i>Adam Strzałkowski</i>	60
Znaczenie prostych jakościowych doświadczeń w nauczaniu fizyki <i>Alfred Pflug</i>	62
„Brakująca masa” <i>Sergej Faletič, Gorazd Planinšič</i>	69
Kącik zadań Odgłosy z jaskini (8) Zjawisko odrzutu <i>Adam Smólski</i>	74
Punkt Torricellego <i>Theo Ruijgrok</i>	78
Rozmowa z Wojciechem Blicharskim, redaktorem <i>Fotonu</i> w latach 1992–1999.....	79
Co czytać. <i>Mr. Fahrenheit, dżentelmen z Gdańska</i> Andrzeja Januszajtisa.....	82
Fizyka w Internecie. Mechanika kwantowa <i>Wiesław Zajczek</i>	84
Przedszkole Fizyki – zima 2008 <i>Dagmara Sokołowska</i>	86
Reprezentacja Polski – brązowy medal w Korei <i>Urszula Woźnikowska-Bezak</i>	88
Ogólnopolski Festiwal „Nauki Przyrodnicze na Scenie 3” <i>Wojciech Nawrocik</i>	90
Stanowisko Komisji Nazewnictwa Polskiego Towarzystwa Fizycznego w sprawie zakresu znaczeniowego terminu „substancja” <i>Bernard Jancewicz</i>	92
Galaktyczne zoo, czyli nowe narzędzie dla polskich szkół <i>Tomasz Skowron</i>	93
VII Ogólnopolski Konkurs na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki, Kraków 2008 <i>Andrzej Zięba</i>	95
Ogólnopolski Konkurs Nauk Przyrodniczych „Świetlik” <i>Dagmara Sokołowska</i>	96
Xperimania <i>Leszek Jabłoński</i>	98
Komunikaty Redakcji.....	99



Partnerzy w nauczaniu fizyki

Karl C. Mamola

Appalachian State University, USA

Redaktor Naczelny *The Physics Teacher*

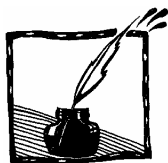
Gratulacje dla wszystkich, którzy przyczynili się do wydania 100 numerów *Fotonu*! Zetknąłem się z tym czasopismem ponad siedem lat temu, gdy zostałem redaktorem naczelnym *The Physics Teacher*. Poprzedni redaktor *TPT* Cliff Swartz, który przyjaźnił się z Redaktorem Naczelną *Fotonu* Zofią Gołąb-Meyer, zasugerował, abym się z nią skontaktowałem. Wkrótce potem zostałem czytelnikiem *Fotonu* i często korespondowałem z Zofią. Moja znajomość języka polskiego nie jest niestety tak dobra, jak czworga moich dziadków, więc z konieczności nasza komunikacja odbywa się po angielsku. Równania i rysunki w pracach dotyczących fizyki są jednak łatwe do zinterpretowania w dowolnym języku, więc nawet z moją znikomą znajomością języka polskiego, i z pomocą słownika, mogę zrozumieć większość artykułów zamieszczanych w *Fotonie*. W trudniejszych przypadkach korzystam z pomocy przyjaciela, który urodził się w Warszawie.



Foton publikuje mnóstwo interesujących i użytecznych artykułów na różnorodne tematy – od instrukcji budowy najprostszego silnika elektrycznego, przez fizykę ping-ponga, po czarne dziury i najnowsze osiągnięcia i wyniki z CERN-u. Każdy numer zawiera materiały, których celem jest pomoc i wskazówki dla nauczycieli, jak wzbogacić i urozmaicić lekcje fizyki. Takie wydawnictwa, jak *Foton*, *TPT* i inne czasopisma dla nauczycieli, odgrywają istotną rolę w popularyzowaniu naszej dziedziny wiedzy, umożliwiając nam dzielenie się cennymi pomysłami i wiedzą. Wymiana informacji, dotycząca zarówno badań podstawowych jak i dydaktycznych, interesujących zastosowań zasad fizyki, nowych technologii nauczania, rozważań filozoficznych i analiz historycznych, jest katalizatorem, który napędza ewolucję w nauczaniu fizyki.

Pewną przeszkodę we wspólnej realizacji tych celów stanowi fakt, że istnieją poważne bariery, które izolują wielu z nas i utrudniają kontakty z kolegami z innych krajów. Uważam, że wszystkie czasopisma dla nauczycieli fizyki powinny się wzajemnie wspierać i uzupełniać – każdy z nas powinien móc korzystać z materiałów ukazujących się w każdym innym miejscu na świecie – od Meksyku i Brazylii, po Chiny i Japonię. W epoce natychmiastowej i nieograniczonej komunikacji i nieustannie ulepszanego software'u do tłumaczenia, powinniśmy dążyć do opracowania zasad, metod i kanałów międzynarodowej wymiany, aby materiały do nauczania fizyki były dostępne dla nauczycieli na całym świecie.

(tłum. JB)



Mieszkając na kuli...

Andrzej Kajetan Wróblewski

Instytut Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Na jubileusz setnego numeru *Fotonu* i nadzwyczajnej Zosi Gołąb-Meyer, Twórczyni i Naczelnej Redaktorce tego periodyku, przygotowałem felieton dość żartobliwy.

Mieszkając długo w jakimś mieście czy kraju przyzwyczajamy się bardzo do otoczenia. Nie pamiętamy na co dzień, że żyjemy na powierzchni wielkiej bryły, w przybliżeniu kulistej planety Ziemia. Dopiero w razie dalekiej podróży możemy być zaskoczeni odmiennością wrażeń.

Dziesięć lat temu znalazłem się w delegacji Komitetu Badań Naukowych do Brazylii. Pojechaliśmy tam na zaproszenie gubernatora stanu Parana, który chciał rozwijać współpracę naukową z Polską. Po kilkunastogodzinnej podróży z Warszawy, z lądowaniami we Frankfurcie i Rio de Janeiro, znaleźliśmy się w stolicy stanu, Kurytybie. Była to moja pierwsza podróż na półkulę południową.

Miałem ze sobą oczywiście przewodnik po Brazylii, z którego dowiedziałem się najważniejszych rzeczy o Kurytybie. Kiedy dotarliśmy do hotelu było już południe. Zaopatrzyłem się w recepcji w plan miasta i wyszedłem na ulicę, żeby się zorientować w topografii najbliższego otoczenia. Odszukałem na planie katedrę i stwierdziłem, że powinna być na lewo, niedaleko hotelu. Poszedłem więc w tę stronę z planem w rękę, ale katedry nie znalazłem. Wróciłem do hotelowego wejścia i zdecydowałem udać się prosto, bo tam powinien być jakiś inny znaczący budynek. Ale go tam znów nie było. Zacząłem się denerwować, bo zwykle mam dobrą orientację w przestrzeni i takie „wpadki” mi się nie zdarzają. Dopiero po kilku minutach zrozumiałem przyczynę niepowodzenia. Otóż mając w rękę plan miasta chciałem zorientować go tak, żeby północ była u góry, a ponieważ miałem Słońce z prawej strony, więc górę mapy skierowałem w lewo. Ten odruch przecież kształcimy w sobie od najmłodszych lat. W tym momencie zapomniałem, że jestem dość daleko na południe od równika, a więc Słońce świeci na północy! W tamtych okolicach nigdy nie widać Słońca w południowej stronie nieba. Ale mapy i plany są rysowane tak jak u nas, to znaczy północ jest u góry.

Mieszkając na przykład w Kurytybie, trzeba się przyzwycząić do tego, że Słońce nie tylko znajduje się w „złej” stronie nieba, ale że przesuwa się po niebie inaczej niż u nas: biegnąc ze wschodu na zachód przesuwa się od prawej do lewej (gdy stoimy twarzą do niego), podczas gdy u nas Słońce biegnie od lewej do prawej.

Parę lat później uczestniczyłem w konferencji w Capetown, ale po doświadczeniach z Kurytyby czułem się już zupełnie normalnie mimo tego, że nie tylko Słońce było na północy i przesuwało się po niebie w „złą” stronę, ale na dodatek samochody jeździły po „złej” stronie ulicy.

Myślę, że bardzo zabawnie muszą się czuć uczestnicy eksperymentu neutrinowego AMANDA na biegunie południowym, kiedy podczas tamtejszego lata widzą przesuujące się po niebie Słońce, które jest o każdej porze ZAWSZE na północy.

Wiele lat wcześniej przeżyłem inną przygodę. W 1978 roku uczestniczyłem w konferencji „Rochesterskiej” w Tokio. W fizyce cząstek jest to najbardziej prestiżowa konferencja. Wtedy grupy fizyków z Krakowa i Warszawy współpracowały z grupą fizyków z University of Washington w Seattle. Jeździłem tam kilkakrotnie z Warszawy, by wspólnie analizować wyniki i opracowywać tekst naszych publikacji. Tym razem miałem plan udania się do Seattle bezpośrednio z Tokio przez Pacyfik. Znacznym ułatwieniem stało się to, że miałem zaproszenie do wygłoszenia wykładu w University of Hawaii w Honolulu.

Po drodze z Tokio do Honolulu przekracza się linię zmiany daty. Pamiętam, że konferencja kończyła się wieczorem w środę 30 sierpnia i zaraz potem udałem się na lotnisko, by zdążyć na lot Japan Air Lines do Honolulu. Miałem wylądować na Hawajach rankiem następnego dnia, ale dniem tym w Honolulu była środa 30 sierpnia. Przekraczając linię zmiany daty z zachodu na wschód „zyskuje się” jeden dzień. Mam nadzieję, że czytelnicy pamiętają, iż to zjawisko zostało wykorzystane przez Phileasa Fogga, bohatera powieści Julesa Verne’a „W osiemdziesiąt dni dookoła świata”. Tym razem miałem sam tego doświadczyć. Na wszelki wypadek wysłałem do moich gospodarzy telegram, że wylatuję z Tokio wieczorem 30 sierpnia, a wyląduję w Honolulu tegoż 30 sierpnia rano.

Przekraczałem granicę USA w Honolulu. Gdzieś w zakamarkach mózgu tkwiła obawa czy aby wszystko z tą zmianą daty dobrze zrozumiałem i czy ktoś będzie na mnie czekał na lotnisku. Zwykle rozmowa z amerykańskim „immigration officer” sprowadza się do kilku dość standardowych pytań. Tym razem było inaczej.

Pierwsze pytanie, które zadał mi młody człowiek w mundurze brzmiało znajomo: Jaki jest cel pana wizyty w USA?

– *Mam zaproszenie z Uniwersytetu w Honolulu – odpowiedziałem.*

– Ach tak. A jaki jest pana zawód?

– Jestem fizykiem.

– *Fizykiem? A w jakiej dziedzinie fizyki pan pracuje?*

– W fizyce cząstek elementarnych.

– *Czy jest pan teoretykiem czy eksperymentatorem?*

– Jestem eksperymentatorem.

– *A jakie oddziaływania pan bada?*

W tym momencie zacząłem się już lekko niepokoić, bo rozmowa przybierała nieoczekiwany obrót.

– Zajmuję się oddziaływaniami silnymi.

– *Aha. A jakie eksperymenty pan prowadzi? – dociekał „pogranicznik” amerykański.*

– Badam oddziaływanie mezonów z deuterem.

– *A jakich mezonów?*

– Mezonów pi.

– *A jaką technikę eksperymentalną pan stosuje?*

Byłem coraz bardziej zdenerwowany, ale spokojnie odpowiedziałem

– Stosujemy technikę komór pęcherzykowych.

– *A gdzie prowadzicie naświetlenia komory deuterowej?*

– W Fermilabie – odpowiedziałem z trudnością już zachowując spokój – bo tam możemy mieć wiązki mezonów pi odpowiednio wysokiej energii.

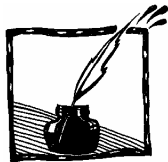
Urzędnik w okienku zdawał sobie sprawę z mojego zdenerwowania. Uśmiechnął się i rzekł: Pewnie pan się dziwi, że zadaję tak szczegółowe pytania. Widzi pan, ja kilka lat temu skończyłem fizykę na uniwersytecie w Honolulu, ale nie mogłem dostać pracy w zawodzie, więc zatrudniłem się tutaj jako „immigration officer”. Życzę panu miłego pobytu w Stanach Zjednoczonych – powiedział oddając mi paszport.

Tak to, okrążając kulę ziemską w kierunku na wschód przeżyłem dwukrotnie dzień 30 sierpnia 1978 roku. Oczywiście nie zyskałem przez to ani jednego dnia życia; przeżyłem tyle samo godzin, ile bym przeżył, nie ruszając się z domu. To tylko „trik” wynikający z tego, że mieszkając na kuli musimy w jakiś logiczny sposób numerować godziny w różnych częściach świata.

Życzę wszystkim czytelnikom i redaktorom *Fotonu*, bardzo ciekawych dalekich podróży i przeżywania doznań wynikających z naszego zamieszkiwania na kuli. A *Fotonowi* – długich jeszcze lat powodzenia i sukcesów. Tak trzymać!

Prof. dr hab. Andrzej Kajetan Wróblewski, emerytowany profesor fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i jego były rektor w latach 1989–1993. Zajmuje się fizyką cząstek elementarnych. Jest współautorem znanego podręcznika akademickiego *Wstęp do fizyki*, autorem wielokrotnie cytowanej przez nas *Historii fizyki*, bestsellerów takich jak: *Prawda i mity w fizyce*, *Uczni w anegdocie*; członek PAN i PAU.





Czy fizyka cząstek elementarnych może być opłacalna?

Grzegorz Brona

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Od Redakcji:

Uaktualniony artykuł z *Postępów Fizyki* 5/2003, s. 202.

Czy inwestowanie w naukę jest opłacalne? Tak – nie ma co do tego żadnych wątpliwości! To przecież dzięki nauce mamy wydajniejsze komputery i bardziej pojemne dyski twarde, bezpieczniejszy i szybszy transport, nowe leki na dawniej nieuleczalne choroby itd. – nauka dostarcza rozwiązań, o których nikomu nawet się nie śniło jeszcze 20 lat temu. Dzięki odkryciom naukowców łączność z osobą znajdującą się po drugiej stronie globu może być nawiązana w niespełna sekundę, a informacje przekazywane są dzięki sieci Internet praktycznie bez żadnych ograniczeń. Nie ma więc wątpliwości, że pieniądze spływające do „kieszeni” instytucji naukowych nie są pieniędzmi straconymi. Ale czy aby na pewno powinno się wspierać naukę w każdej jej formie i postaci? Czy, na przykład, milionów euro lub dolarów wydawanych na lepsze zbadanie zagadkowego świata cząstek elementarnych, odkrycie praw rządzących strukturą materii na jej najbardziej fundamentalnym poziomie, nie lepiej byłoby przeznaczyć na rozwój onkologii, aby szybciej opracować wspomniały lek, który wreszcie pokona nawet najgroźniejsze nowotwory? Po co finansować badania prowadzone z czystej ciekawości, skoro ich rezultaty najprawdopodobniej nie wpłyną na nasz standard życia? Warto tutaj zwrócić uwagę na to, że najpotężniejsze państwa Starego Kontynentu (jak Niemcy, Francja i Wielka Brytania) najsilniej wspierają owe, wydawałoby się jałowe dla gatunku ludzkiego, przedsięwzięcia, finansując między innymi funkcjonowanie takich instytucji jak Europejska Organizacja Badań Jądrowych – CERN. Dlaczego tak się dzieje? Czy aby na pewno pieniądze wydane na finansowanie takich przedsięwzięć to pieniądze stracone?

CERN – największe laboratorium naukowe na świecie – zajmuje się badaniami cząstek elementarnych (elektronów, kwarków itd.). Laboratorium jest utrzymywane ze środków asygnowanych przez 20 państw europejskich. Całkowity roczny budżet CERN to przeszło 1 miliard franków szwajcarskich. Największy wkład mają Niemcy – ponad 200 milionów franków oraz Wielka Brytania – ponad 160 milionów franków. Te astronomiczne wprost sumy są niemal w całości przeznaczone na konstruowanie i utrzymywanie potężnych maszyn badających najmniejsze składniki materii. Ponadto z CERN-em współpracują liczne ośrodki naukowe na całym świecie (m.in. uniwersytety), które wnoszą swój wkład w postaci opracowanych i zbudowanych detektorów oraz dodatkowych pieniędzy. Dlaczego tak się dzieje, że ktoś, a w szczególności tak wyda-

wałoby się racjonalnie postępujące państwa, jak Niemcy i Wielka Brytania, wspierają rozwój czysto akademickiej dziedziny nauki? Czy wystarczającym powodem jest chęć zadowolenia wąskiej grupy kilku tysięcy naukowców realizujących swoje specjalizacje? A może jednak w tym szaleństwie jest jakaś metoda? Przyjrzyjmy się kilku dziedzinom życia i zastanówmy się, czy oraz co wniosły do nich badania nad strukturą mikroświata.

W ostatnim dziesięcioleciu dokonał się prawdziwy przełom informatyczny. Pierwsze komputery co prawda pojawiły się już po II wojnie światowej, ale przez wiele lat były one przeznaczone jedynie dla potrzeb organizacji rządowych i wielkich firm. W prywatnych domach zaczęły funkcjonować dopiero w latach osiemdziesiątych, zaś prawdziwą karierę zrobiły w latach dziewięćdziesiątych. Jedną z przyczyn tego przełomu było pojawienie się usługi WWW, do której dostęp był i jest stosunkowo niedrogi. Komputer przestał być postrzegany przez większość ludzi jako bardziej skomplikowana maszyna do pisania i stał się nowym oknem na świat. Jak to ma się do badań prowadzonych w CERN?

Otóż okazuje się, że World Wide Web narodził się w latach 1989–1990 w laboratoriach CERN właśnie. Opracowało go dwóch naukowców Tim Berners-Lee oraz Robert Cailliau. Pierwotnie WWW miało służyć fizykom pracującym w laboratorium do wymiany informacji i prezentacji osiągnięć. Jednak już kilka miesięcy później oprogramowanie potrzebne do obsługi zarówno serwerów WWW, jak i pierwsza przeglądarka internetowa, zostały udostępnione naukowcom na całym świecie. Zgodnie z dokumentem z 30 kwietnia 1993 roku oprogramowanie WWW opracowane przez CERN i współpracujące z nim instytucje zostało udostępnione bez żadnych opłat wszystkim, którzy chcieliby z niego skorzystać!

Serwery WWW zaczęły pojawiać się najpierw na uczelniach, na wydziałach fizyki, które współpracowały z CERN. Zbiegło się to w czasie z narodzinami, w marcu 1991 roku, polskiego potentata teleinformatycznego – NASKu (Naukowej i Akademickiej Sieci Komputerowej), którego pierwszym dyrektorem został znany fizyk specjalizujący się w badaniach nad cząstkami elementarnymi – prof. Tomasz Hofmokr. 17 sierpnia tego samego roku nastąpiło pierwsze połączenie przy pomocy protokołu IP pomiędzy Polską, a zachodnią Europą. W listopadzie 1993 roku uruchomiona została zaś Polska Strona Domowa, na pierwszym polskim serwerze WWW. Nieco wcześniej, bo w grudniu 1991 roku WWW dotarło do Stanów Zjednoczonych. Pierwszy serwer WWW znalazł się tam w jednym z amerykańskich odpowiedników CERN – w laboratoriach Stanford Linear Accelerator Center – SLAC. Lawina ruszyła...

Dziś z usług WWW korzysta codziennie wiele milionów ludzi. Powstały tysiące firm związanych z tym obszarem działalności, które dają pracę dziesiątkom tysięcy osób. Potężne korporacje teleinformatyczne prześcigają się w tworzeniu coraz lepszych, bardziej przyjaznych i atrakcyjnych przeglądarek stron

i innych aplikacji internetowych. Wybierając nowy komputer, kupujący kieruje się między innymi możliwościami dostępu do Internetu, a w tym przede wszystkim do WWW. Szacuje się, że pajęczyna WWW generuje obecnie kilkakilkanaście procent sprzedaży dużych firm. Większość użytkowników WWW jednak nie zdaje sobie sprawy, że powstało ono w laboratorium CERN, a szybki rozwój Sieci umożliwiony został przez nieodpłatne udostępnienie wynalazku wszystkim zainteresowanym. Ciekawe jak by wyglądał dostęp i rozwój WWW, gdyby standard ten został zapoczątkowany w jakiejś prywatnej firmie... No dobrze – to już było – co dalej?

Otóż „dalej” okazuje się, że CERN nie powiedział jeszcze ostatniego słowa w sprawie sieci komputerowych. Aktualnie opracowywany jest tam nowy projekt o nazwie GRID. Sieć GRID ma połączyć komputery różnych instytucji naukowych, firm i organizacji tak, aby mogły wspólnie działać przy rozwiązywaniu skomplikowanych zadań. Dzięki temu połączeniu naukowcy (na przykład szukający leku na raka) potrzebujący potężnej mocy obliczeniowej procesorów, będą mogli połączyć się z tysiącami komputerów rozproszonych na całym świecie i użyć ich niewykorzystywanych w danym momencie możliwości. Jeśli, na przykład, pewne laboratorium nie potrzebuje chwilowo swoich komputerów (powiedzmy w nocy), drugi zespół badawczy, pracujący w zupełnie innej części świata, będzie mógł wykorzystać ów sprzęt do realizacji swoich projektów. Sieć GRID będzie wykorzystywana między innymi przez fizyków cząstek elementarnych (do poszukiwania nowych cząstek elementarnych), lekarzy pracujących nad nowymi lekami oraz naukowców zajmujących się modelowaniem zmian klimatu na Ziemi. Wprowadzenie tego rozwiązania na szeroką skalę pozwoli znacznie skrócić czas potrzebny na uporanie się z wieloma problemami trapiącymi dziś ludzkość.

Istnieją też bardziej „bezpośrednie” i praktyczne osiągnięcia fizyki cząstek elementarnych. Obecnie na całym świecie pracuje około 10 000 różnych akceleratorów cząstek. Ponad 5000 z nich jest używanych do celów medycznych (dla porównania tylko około 100 jest używanych w badaniach podstawowych). Jednym z zadań tych maszyn jest produkcja promieniotwórczych izotopów, które następnie podawane są pacjentowi (badanemu na przykład pod kątem wykrycia ewentualnego nowotworu). Substancja rozprzestrzenia się po ciele człowieka i wchłaniana jest w różnym stopniu przez poszczególne tkanki i organy. Zwiększenie koncentracji atomów w danym obszarze może świadczyć o zmianach chorobotwórczych, w tym o zmianach nowotworowych. Koncentracja substancji może być wyznaczona poprzez rejestrowanie cząstek powstałych w wyniku jej rozpadu. Cząstkami rejestrowanymi są kwanty światła (fotony), a metoda nazywa się Pozytonową Tomografią Emisyjną (PET). Każdego roku diagnostyce z użyciem radiofarmaceutyków zostaje poddanych około 20 milionów ludzi. Wczesne wykrycie nowotworu ratuje setki tysięcy istnień ludzkich. Technologia PET została rozwinięta w Genewskim Szpitalu Kantonalnym, gdzie pierw-

sze detektory skonstruowali fizycy pracujący w CERN z wykorzystaniem urządzeń stosowanych do badania cząstek elementarnych.

Istnieje również drugi sposób wykorzystania akceleratorów w medycynie – radioterapia. Zamiast posługiwać się skalpelem, lekarze stosują zogniskowaną wiązkę wysokoenergetycznych cząstek, za pomocą której z dużą precyzją „wypalają” obszar zajęty przez komórki nowotworowe. Stosowane są tutaj zarówno wiązki promieni X (otrzymywane w czasie wyhamowywania wysokoenergetycznych elektronów), wiązki neutronów (otrzymywane za pośrednictwem zdezerowania wiązek protonowych z tarczami berylowymi), jak i wiązki elektronowe i protonowe pochodzące bezpośrednio z akceleratorów. Stosowanie tego typu zabiegów ma tę wielką przewagę nad standardową chirurgią, że energia padającej wiązki może być tak dobrana, by zniszczyć tylko chore tkanki znajdujące się na konkretnej głębokości w ciele człowieka. Szczególnie precyzyjne są wiązki protonowe, nad których zastosowaniem w medycynie pracuje właśnie CERN.

Czy badania prowadzone w CERN mogą przydać się jeszcze w jakiś inny sposób? Jednym z najpoważniejszych problemów, z którymi boryka się ludzkość jest zagrożenie ze strony śmiertelnych wirusów. Na świecie żyje dzisiaj ponad 33 milionów ludzi zakażonych wirusem HIV (niektóre źródła mówią o 46 milionach). Od początku epidemii choroba ta zabiła przeszło 26 milionów osób. Walka z wirusem toczona jest na wielu frontach, z wykorzystaniem wielu sposobów. Jednym z nich jest dokładne poznanie struktury owego wirusa. Powszechnie stosowaną metodą badania budowy bardzo małych obiektów (a takim jest również wirus) jest stosowanie promieniowania synchrotronowego. Technika ta polega na wykorzystaniu akceleratorów do produkcji wysokoenergetycznego promieniowania X. Akceleratory przyśpieszają elektrony do momentu osiągnięcia przez nie wysokich energii, a następnie zakrzywiają przy pomocy pola magnetycznego tor ich lotu, co powoduje emisję promieniowania – tzw. promieniowanie synchrotronowe (wysokoenergetyczne promieniowanie X). Promieniowanie to jest kierowane na badany obiekt i rozprasza się na nim. Naukowcy obserwując rozproszone fotony są w stanie odtworzyć obraz struktury obiektu. Obecnie na całym świecie istnieją 42 synchrotrony przeprowadzające takie badania, a wiele kolejnych jest w budowie.

Aktualnie fizycy zajmujący się akceleratorami przygotowują się do następnego kroku. Opracowywane są plany stworzenia nowego super-akceleratora przyśpieszającego elektrony. Maszyna ta, której długość przekroczy 30 kilometrów, ma powstać przed rokiem 2020. Jej lokalizacja jest jeszcze nieustalona. Przyśpieszane elektrony, będą przechodzić przez specjalne układy silnych magnesów, gdzie emitować będą spójną wiązkę wysokoenergetycznego promieniowania, wysokoenergetyczny odpowiednik wiązki laserowej. Ten, tak zwany, „laser na swobodnych elektronach”, dostarczy naukowcom nowego narzędzia, dzięki któremu stanie się możliwe badanie struktury mikroobektów z niespotykaną do tej pory dokładnością. Ultrakrótkie impulsy promieniowania, genero-

wanego przez ten laser, pozwolą poznać przebieg procesów zachodzących na poziomie atomowym.

Na tym nie koniec możliwości. Według znanego powszechnie prawa Gordona Moore'a moc obliczeniowa dostępnych na rynku procesorów komputerowych podwaja się co 18 miesięcy. Aby sprostać wymaganiom tego prawa, naukowcy zajmujący się układami scalonymi muszą stosować coraz bardziej zaawansowane techniki badania i wyrobu procesorów. Muszą oni między innymi z wielką precyzją badać półprzewodniki, które następnie wykorzystają. Właściwości półprzewodników w bardzo znacznym stopniu zależą od niewielkich domieszek różnych substancji (zanieczyszczeń). Domieszki te mogą być specjalnie wprowadzane, aby zmodyfikować charakterystykę danego półprzewodnika. Naukowcy muszą dokładnie wiedzieć, jak rozkłada się stężenie owych zanieczyszczeń. W tym celu zastępuje się zwykle domieszki domieszkami promieniotwórczego izotopu tego samego pierwiastka. Obserwując rozpady radioaktywne, do których dochodzi wewnątrz półprzewodnika, można ustalić, jak rozkładają się w nim domieszki. Izotopy te produkowane są przy pomocy akceleratorów, a rozpady badane przy użyciu detektorów pierwotnie opracowanych na potrzeby badań mikroświata.

Aby zwiększyć moc obliczeniową procesorów, na krzemowych płytkach umieszcza się coraz więcej elementów. W jaki sposób można je tam umieścić? Zadaniem tym zajmują się wielkie grupy naukowców pracujących dla potężnych przedsiębiorstw wytwarzających układy scalone. Aby wypalić na płycie krzemowej ścieżki o jak najmniejszej szerokości potrzebne są fale elektromagnetyczne o jak najwyższej energii. Obecnie opracowywane są techniki tzw. litografii synchrotronowej, która pozwoli zmniejszyć kilkukrotnie wielkość elementów nanoszonych na procesor, a tym samym zwiększyć jego wydajność. Dzięki wykorzystaniu akceleratorów, które pierwotnie zostały opracowane przez fizyków cząstek elementarnych, wymogi stawiane przez prawo Moore'a będą spełnione.

Czy to już wszystkie dziedziny życia i nauki, które wykorzystują technologie opracowane przez fizyków cząstek elementarnych? Oczywiście, że nie. Przykłady można by mnożyć w nieskończoność. Akceleratory cząstek są wykorzystywane do pokrywania silników samolotowych cienką warstwą chromu zabezpieczającą je przed korozją. Zaczynają być też stosowane na lotniskach, dzięki czemu możliwe staje się wykrywanie bomb, które terroryści ukrywają w bagażu. Używane są do wyjątkowo dokładnej sterylizacji narzędzi i do oblekania protez kości (np. sztucznych stawów biodrowych) specjalnymi warstwami, dzięki którym zmniejsza się ryzyko odrzucenia implantu przez organizm pacjenta. Pojawił się także pomysł zastosowania akceleratorów do przetwarzania odpadów promieniotwórczych w nieszkodliwe substancje. Zagadnieniem tym zajął się między innymi były dyrektor CERN-u i laureat nagrody Nobla – Carlo Rubbia. Prace nad tą ideą są w toku. Oczywiście technologie opracowane

w CERN to nie tylko akceleratory, detektory i sieci komputerowe. Są to również: metody otrzymywania i pracy z wysoką próżnią i w bardzo niskich temperaturach (kriogenika), zagadnienia związane z nadprzewodnictwem, elektrotechniką, a nawet geodezją (budowa 27 kilometrowego akceleratora umieszczonego kilkadziesiąt metrów pod powierzchnią była ogromnym wyzwaniem).

Można jednak zadać kolejne pytanie – czy bez finansowania badań nad cząstkami elementarnymi nie opracowano by owych, wymienionych wcześniej, technologii? Po co wydawać miliardy euro na utrzymywanie wielkich ośrodków naukowych, których jedynie „ubocznym” efektem działalności jest wprowadzanie nowych rozwiązań do innych dziedzin życia? Czy nie lepiej przekazać całą tę kwotę bezpośrednio biofizykom, informatykom, czy naukowcom zajmującym się elektroniką, a oni sami będą potrafili wypracować owe rozwiązania?

Kraje gotowe przeznaczyć ogromne sumy pieniędzy na rozwój takich ośrodków jak CERN zrozumiały, że odpowiedź na to pytanie brzmi – nie, i że przekazywane fundusze nie są pieniędzmi „utopionymi” w ambicjach garstki „szalonych” naukowców. Badania nad cząstkami elementarnymi są bowiem frontem badań naukowych i jako takie wymagają opracowywania wciąż nowych technologii. W ośrodkach badawczych gromadzą się najlepsi fizycy, informatycy i inżynierowie z całego świata. Tutaj mogą wymieniać bez przeszkód myśli, idee, razem szukać rozwiązań. Wszyscy pracują nad zgłębieniem wiedzy z dziedziny fizyki wysokich energii, ale, aby osiągnąć założony cel, muszą oni rozwikłać tysiące pojawiających się problemów i wymyślić setki nowych, oryginalnych rozwiązań. Gdyby naukowcy ci pracowali sami, oddzieleni barierami granic, wiele z idei, które wyeksportowały takie ośrodki jak CERN, czekałoby jeszcze na swoich odkrywców. Zrozumieli to nawet przywódcy znajdujący się swojego czasu (przed rokiem 1989) po obu stronach żelaznej kurtyny, którzy pozwolili swoim fizykom wysokich energii na praktycznie nieskrępowane kontakty z naukowcami z „wrogiego” obozu. Wielkie laboratoria takie jak CERN, czy DESY na długo przed upadkiem Muru Berlińskiego przyjmowały do siebie fizyków z państw komunistycznych, stając się zarazem dla tych państw jednym z niewielu „okien na świat”.

W historii nauki dwudziestego wieku można znaleźć dowody na to, że postawienie ambitnego celu przed silną grupą najlepszych naukowców owocuje rozwiązaniem nie tylko danego problemu, ale również licznymi innymi wynalazkami, które znajdują swoje zastosowania w wielu dziedzinach życia. Było tak zarówno w czasie II wojny światowej, jak i w okresie wyścigu na Księżyc. Ośrodki badawcze, takie jak CERN, dają możliwość osiągania rozwoju nauki w podobny sposób, jednak tym razem w ramach międzynarodowej współpracy i w celach pokojowych.

Jedynie niewielki procent budżetu CERN-u jest „przejadany” przez naukowców tam pracujących. Reszta, w postaci zamówień dla przemysłu, wraca do krajów inwestujących. Zamówienia te tworzą tysiące miejsc pracy i pozwalają

na rozwój wielu gałęzi przemysłu. Do krajów uczestniczących w przedsięwzięciu przepływają technologie z pozostałych państw. W ten sposób kraje takie jak Niemcy i Wielka Brytania nie inwestują bezpośrednio w swój przemysł i nie budują kolejnych przysłowiowych fabryk wytwarzających zapalki. Decydują się natomiast na inwestowanie w naukę i tym samym zapewniają rozwój przemysłu oraz gromadzenie technologii. A to procentuje, o czym chyba nie trzeba nikogo przekonywać. Wystarczy porównać poziom rozwoju gospodarczego tych państw z poziomem rozwoju chociażby Polski...

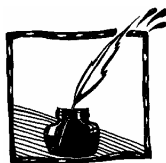
W Polsce bardzo często porusza się problem finansowania nauki i sensowności rozwoju niektórych jej dziedzin. Zarzuty nieprzydatności stawiane są przed wieloma naukami podstawowymi. Fizyka cząstek elementarnych jest tu przykładem, innym jest astronomia. Dyskusje takie odbywają się zarówno na poziomie instytucji finansujących naukę, jak również na poziomie zwykłych obywateli. Często doniesieniom o przełomowych odkryciach, umieszczanym choćby na portalach internetowych, towarzyszą liczne komentarze ludzi niezwiązanych z nauką sugerujące, że po raz kolejny, aby uszczęśliwić wąskie grono naukowców, zmarnowano miliony. Zapomina się o tym, że dana dziedzina nauki, której odkryć nie można w bezpośredni sposób przełożyć na poprawienie jakości życia obywateli, może w ciągu następnych kilkudziesięciu lat okazać się tą, która stworzyła idee i rozwiązania zmieniające cały świat. A fizyka cząstek elementarnych, pozostając na froncie badań naukowych jest właśnie taką dziedziną, która na każdym kroku wymaga dokonywania przełomów i wprowadzania innowacji. Zrozumiały i wykorzystują to największe potęgi gospodarcze świata. Może pora abyśmy i my to zrozumieli...

Polecamy stronę internetową CERN, którą w wersji polskiej prowadzi Zygmunt Ajduk.

Dr Grzegorz Brona, MBA, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych

Zajmuje się badaniami struktury wewnętrznej protonów i neutronów, a w szczególności zagadnieniami związanymi z ich spinem. Blisko współpracuje z laboratorium CERN, gdzie bierze udział w największym obecnie eksperymencie fizyki wysokich energii COMPASS. Interesuje się również zagadnieniami związanymi z transferem wiedzy pomiędzy ośrodkami naukowymi i komercyjnymi.





Skąd pochodzą cząstki o największej energii?

Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki UJ

Jak co roku, autorzy biuletynu Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego wytypowali dziesięć najważniejszych odkryć fizycznych, o których donosili w tym roku. Znalazło się wśród nich odkrycie ogłoszone zaledwie miesiąc temu: identyfikacja prawdopodobnych źródeł cząstek o najwyższej energii, które docierają na Ziemię.

Przypomnijmy, że już od ponad stu lat fizycy rejestrują naładowane cząstki, które docierają do nas z Kosmosu. Jest ich niemało: w każdej sekundzie przez powierzchnię jednego metra kwadratowego przelatuje około dwustu takich cząstek o energii rzędu kilku MeV, czyli takiej, do jakiej przyspieszyłoby je pole elektryczne z różnicą potencjałów rzędu kilku milionów voltów. Jednak strumień tych cząstek maleje szybko z energią (w przybliżeniu jak E^{-3}) i cząstki o energii ponad 1 EeV, czyli 10^{18} eV, przelatują przez powierzchnię 1 km² tylko raz na tydzień, a o energii ponad 100 EeV zaledwie raz na stulecie. Aby takie cząstki rejestrować, musimy więc budować olbrzymie detektory.

Dlaczego detekcja takich cząstek jest ważna? Okazuje się, że jest to przedział energii, w którym obserwacje mogą mieć kluczowe znaczenie dla dalszego rozwoju astronomii i kosmologii. Wiemy, że cząstki te przylatują do nas spoza naszej Galaktyki, bo nie ma żadnej korelacji między kierunkami, z których nadlatują, a płaszczyzną „Drogi Mlecznej”. Nie znamy też żadnych mechanizmów przyspieszania cząstek do takich energii w obrębie Galaktyki. Jednak poszukiwanie pozagalaktycznych źródeł tego promieniowania prowadzi też do zaskakujących trudności.

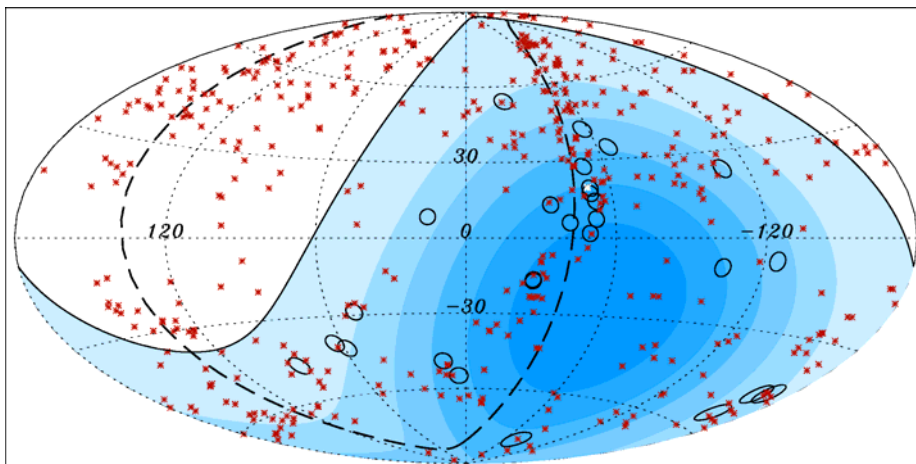
Jak wiemy, przestrzeń kosmiczna jest wypełniona tzw. promieniowaniem relikowym, stanowiącym „pamiątkę” po wczesnej fazie rozwoju Wszechświata. Fotony składające się na to promieniowanie mają znikomą energię, poniżej meV, ale przy zderzeniach z nimi naładowane cząstki promieniowania kosmicznego (głównie protony) o energiach ponad 100 EeV mogą produkować nowe cząstki i tracić znaczną część energii. Efekt ten, przewidziany przed czterdziestu laty przez amerykańskiego fizyka Kennetha Greisena i niezależnie przez dwóch fizyków rosyjskich, Wadima Kuzmina i Gieorgija Zacepina, nosi nazwę „obcięcia GZK” widma energii promieniowania kosmicznego. W jego wyniku strumień docierających do Ziemi cząstek o energii ponad 50 EeV powinien maleć z energią znacznie szybciej niż potęgowo, a cząstki o energii kilkuset EeV mogą dotrzeć do Ziemi tylko z odległości mniejszych niż kilkadziesiąt megaparse-

ków (1 Mpc, czyli megaparsek, to odległość, z której światło biegnie do nas ponad 3 miliony lat).

Przez następne lata różne eksperymenty donosiły o obserwacjach pojedynczych cząstek o energii kilkuset EeV. Cząstki o energii powyżej 30 EeV są zakrzywiane w międzygalaktycznym polu magnetycznym na tyle słabo, że z obserwacji kierunku, z którego nadlatują, można wnioskować o położeniu ich źródła. Nie udało się jednak zidentyfikować żadnego znanego obiektu kosmicznego jako możliwego źródła cząstek o tak wielkiej energii. Sugerowało to, że nasza wiedza o promieniowaniu reliktowym i/lub astrofizyce wymaga istotnych uzupełnień.

Dodajmy, że cząstki wielkich energii nie docierają na powierzchnię Ziemi, bo już w górnych warstwach atmosfery zderzają się z jądrami atomów materii, a produkty tych zderzeń oddziałują z kolejnymi atomami produkując tzw. wielkie pęki atmosferyczne, zawierające w sumie tysiące cząstek. Używane dotąd wielkie detektory promieniowania kosmicznego należały zwykle do jednego z dwu typów. W jednych wykrywano w detektorach rozmieszczonych szeroko na powierzchni Ziemi (zwykle w wysokich górach) te cząstki naładowane z pędu, które tam doszły, a w drugich rejestrowano w specjalnych teleskopach światło produkowane w oddziaływaniu cząstek pędu z atmosferą (przez efekt Czerenkowa albo przez fluorescencję azotu). Trudności w wiarygodnym oszacowaniu energii pierwotnej cząstki i jej kierunku były pobudką do budowy nowej aparatury, w której oba sygnały miały być równocześnie odbierane i analizowane. Tak powstał eksperyment „Pierre Auger”, nazwany tak na cześć wielkiego fizyka francuskiego, który był jednym z pionierów badań promieniowania kosmicznego.

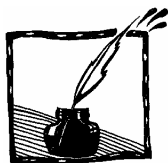
Pierwsza część detektora „Pierre Auger” działała i była stopniowo rozbudowywana przez ostatnie dwa lata w Argentynie, w pobliżu miasteczka Malargue. Składa się z 1600 detektorów cząstek naładowanych (wodnych detektorów Czerenkowa o pojemności 12 m³ każdy) rozmieszczonych regularnie na powierzchni 3000 km², oraz kilku teleskopów rejestrujących światło fluorescencyjne (oczywiście tylko w bezchmurnej nocy). Uczni z 17 krajów, w tym z Polski, zebrali już dość danych, aby opublikować pierwsze wyniki. Są one zebrane na poniższym rysunku, na którym zestawiono kierunki nadejścia 27 cząstek o najwyższych energiach (ponad 57 EeV) z położeniami na niebie 472 tzw. „aktywnych jąder galaktyk” (AGN) odległych od Ziemi o mniej niż 75 Mpc. Zaciemniony obszar obejmuje część nieba widoczną w eksperymencie Auger, przy czym najciemniejsze są obszary widoczne najdłużej. Przerywana linia wyznacza płaszczyznę naszej Galaktyki.



Widać jasno, że niemal wszystkie cząstki można skojarzyć z położeniem znanych AGN. Prawdopodobieństwo przypadkowej koincydencji na tym poziomie jest znikome. Możemy więc stwierdzić, że ustalono, skąd pochodzą te cząstki, chociaż mechanizm ich przyspieszania nie jest nadal dobrze znany. Rozkład energii wydaje się zgodny z tym, czego oczekiwano w wyniku obcięcia GZK. Oczywiście należy zebrać jeszcze wiele danych, aby sprawdzić wszystkie fakty, ale w ciągu najbliższych kilku lat liczba zarejestrowanych przypadków wzrośnie o rząd wielkości. Potem zapewne powstanie w Teksasie druga część detektora i obserwacje pokryją całe niebo. Niemniej już te pierwsze wyniki eksperymentu Auger stanowią początek nowego działu nauki: astronomii cząstek naładowanych. Można mieć nadzieję, że doprowadzi ona do wielu ważnych odkryć.

Prof. dr hab. Krzysztof Fiałkowski jest kierownikiem Zespołu Zakładów Fizyki Teoretycznej w Instytucie Fizyki UJ. Uprawia fizykę cząstek elementarnych, jest członkiem Komisji do Oceny Podręczników Szkolnych PAU, sam jest współautorem kilku podręczników z fizyki dla szkół ponadgimnazjalnych.





Nieustępliwość problemu interpretacji mechaniki kwantowej¹

Andrzej Staruszkiewicz

Instytut Fizyki UJ

Streszczenie

Autor uważa, że problem interpretacji mechaniki kwantowej jest realnym problemem naukowym. Jako taki jest problemem bez precedensu w historii nauki: 80 lat wysiłków wielu wybitnych uczonych nawet nie napoczęło tego problemu. Współczesne dyskusje często dotyczą problemów wielokrotnie dyskutowanych w przeszłości. Autor zastanawia się, jak mogłoby wyglądać rozwiązanie tego niezwykłego i uciążliwego problemu.

Historia i natura problemu

Niedawno minęło 80 lat od chwili gdy Erwin Schrödinger napisał równanie różniczkowe cząstkowe zwane od tego czasu równaniem Schrödingera. Równanie to jest ładząco proste, opisuje ruch fal zwanych od tego czasu falami materii. Fale materii są pod wieloma względami podobne do innych fal badanych przez fizykę, np. fal elektromagnetycznych lub akustycznych. W szczególności, przy spotkaniu z granicą dwu ośrodków, fala materii, tak jak fala elektromagnetyczna lub akustyczna, dzieli się na dwie części, falę, która wchodzi do drugiego ośrodka i falę odbitą. W przypadku fal elektromagnetycznych lub akustycznych oznacza to także podział energii: energia fali pierwotnej dzieli się na energię fali wchodzącej do drugiego ośrodka i energię fali odbitej. Tymczasem zupełnie niewątpliwe doświadczenia pokazują, że energia cząstek elementarnych takich jak elektron, nigdy nie dzieli się na granicy dwu ośrodków, tylko albo w całości przechodzi do drugiego ośrodka, albo w całości odbija się. Otóż, tego zupełnie niewątpliwego faktu doświadczalnego nie da się wywnioskować z równania Schrödingera. Przeciwnie, ktoś znający zasady fizyki teoretycznej, np. XIX wieczny fizyk taki jak Helmholtz lub lord Rayleigh, po przestudiowaniu równania Schrödingera byłby przekonany, że energia fali opisanej przez to równanie dzieli się na granicy ośrodków na energię wchodzącą i energię odbitą. Można by powiedzieć, że równanie Schrödingera po prostu nie opisuje prawidłowo ruchu fal materii, gdyby nie dodatkowa, zdumiewająca okoliczność: równanie Schrödingera pozwala, przy pomocy przepisu podanego przez Borna, obliczyć prawdopodobieństwo tego, że w pojedynczym akcie rozproszenia

¹ Artykuł został wygłoszony: na posiedzeniu Komisji Filozofii Nauki PAU kierowanej przez prof. Jerzego Janika oraz na seminarium „Nauka, Religia, Dzieje” zorganizowanym przez prof. Jerzego Janika pod protektoratem J.E. ks. Arcybiskupa Józefa Życińskiego.

cząstka bądź przejdzie do drugiego ośrodka, bądź zostanie odbita. Oznacza to, że między rozwiązaniami równania Schrödingera a rzeczywistością, której to równanie dotyczy, istnieje związek zupełnie nowego typu, nie mający precedensu w dotychczas znanych teoriach fizyki matematycznej.

O co naprawdę chodziło Einsteinowi w jego dyskusjach z Bohrem?

Niezwykły charakter związku między strukturą matematyczną, jaką jest równanie Schrödingera a rzeczywistością fizyczną ujawnianą przez doświadczenia z falami materii, dał powód do dyskusji, która na dobrą sprawę trwa po dzień [1]. Najbardziej znanym fragmentem tej dyskusji były dyskusje Bohra i Einsteina. Gdy ja byłem studentem, tzn. 50 lat temu, przeważał pogląd, że problemu naukowego nie ma, a Einstein reprezentuje rodzaj naukowego konserwatyizmu, który jest nie do utrzymania w fizyce kwantowej. Obecnie, na początku XXI wieku zdaje się przeważać pogląd, że jakiś problem jednak jest, aczkolwiek różni Autorzy różnie postrzegają naturę tego problemu.

Ja sam widzę ten problem następująco. Problemem jest to, że interpretacja Borna równania Schrödingera nie jest w sposób konieczny związana z samym tym równaniem. Równanie Schrödingera można by interpretować jako klasyczne równanie falowe. Tak właśnie zinterpretowałby je XIX-wieczny fizyk, np. Helmholtz. Tyle, że z interpretacji tej wynika, że na granicy dwu ośrodków energia fali dzieli się na energię wchodzącą i odbitą, co nigdy nie zachodzi dla fal materii. Zatem klasyczna interpretacja równania Schrödingera jest logicznie możliwa lecz bezużyteczna, bo przewiduje zjawiska, które nigdy nie zachodzą. Warto w tym miejscu przytoczyć dwa postulaty epistemologiczne Einsteina.

(1) Teoria fizyczna powinna zawierać w sobie swoją interpretację.

(2) Między teorią fizyczną a rzeczywistością powinien istnieć związek, ale nie taki, jaki istnieje między mięsem a rosołem zrobionym z tego mięsa, ale raczej taki, jaki istnieje między numerkiem płaszcza zostawionego w szatni a samym płaszczem. (Drugi postulat jest odrzuceniem naiwnego Arystotelizmu i wyjaśniania przy pomocy jakości.) Oba te postulaty nie są, rzecz jasna, oczywiste. Jeżeli jednak przyjąć je, a ja je przyjmuję jako bardzo trafne, to trzeba zgodzić się z tym, że mechanika kwantowa ich nie spełnia, aczkolwiek istnieje ogromny obszar zastosowań mechaniki kwantowej, w których oba te postulaty są spełnione. Warto zdawać sobie sprawę z tego, że równanie Schrödingera jest obecnie podstawowym narzędziem chemii kwantowej i związanej z nią technologii. Jednym z zastosowań chemii kwantowej są rachunki *ab initio*, których celem jest ustalenie rozmiarów i kształtów molekuł o zadanym składzie chemicznym. Otóż, jeżeli stan podstawowy molekuły jest nie zdegenerowany, to nikt nie ma cienia wątpliwości jak stosować równanie Schrödingera, po prostu oblicza się stan o najniższej energii. Jest to klasyczna procedura, doskonale znana fizykom XIX wieku. Mamy tu sytuację pełnej klarowności, w której oba postulaty epistemologiczne Einsteina są spełnione, a sama mechanika kwanto-

wa ujawnia swą niesamowitą siłę i moc predyktywną. Może się jednak zdarzyć, że stan podstawowy molekuly jest zdegenerowany, np. wskutek istnienia prawej i lewej wersji molekuly. Powstaje wówczas trudny problem, dlaczego w przyrodzie występują tylko prawe i lewe wersje molekuł a nie ich liniowe superpozycje, które też są rozwiązaniami równania Schrödingera. Degeneracja stanu podstawowego może być wynikiem współdziałania bardzo wielu niezależnych okoliczności i w tym sensie czystym przypadkiem. Jest coś głęboko niepokojącego w tym, że taki czysty przypadek zmienia wspólną teorię stanów stacjonarnych równania Schrödingera w teorię, w której istnieją filozoficzne wątpliwości co do samej zasady jej stosowania. Np. niewystępowanie superpozycji stanów makroskopowo rozróżnialnych tłumaczy się czasem przy pomocy tzw. teorii dekoherencji. Trzeba jednak zgodzić się z tym, że w fizyce teoretycznej istnieje coś takiego jak hierarchia wartości i że w tej hierarchii teoria dekoherencji stoi znacznie niżej niż teoria stanów stacjonarnych równania Schrödingera.

Dalsze argumenty za tym, że jakiś problem istnieje

Kartezjusz [2] wypowiedział niezwykle trafną myśl, że gdy dwu ludzi nie zgadza się ze sobą, to przypuszczalnie obaj nie wiedzą co mówią, gdyby bowiem jeden z nich pojmował swoją rzecz jasno i wyraźnie, to wytłumaczyłby to drugiemu, a ten zrozumiałby to. Gdyby Bohr był w posiadaniu prawdy, to nie mógłby znaleźć bardziej pojętego słuchacza niż Einstein i *vice versa*. Samo zaistnienie dyskusji Bohra z Einsteinem jest sygnałem braku jasności pojmowania u obu adwersarzy. Nikt nigdy nie prowadził takich dyskusji na temat np. ogólnej teorii względności, mimo, że teoria ta często prowadzi do wniosków bardzo trudnych dla intuicji i potocznego rozumienia. Jest tak dlatego, że ogólna teoria względności spełnia oba postulaty epistemologiczne Einsteina. Problem interpretacji mechaniki kwantowej dał początek ogromnej i stale tworzonej literaturze, którą można określić tylko jako dziennikarstwo udające fizykę teoretyczną. Np. koncepcja „wielu światów”, którą zainicjował znany fizyk John Archibald Wheeler, a zaakceptowało wielu innych też bardzo znanych fizyków, ludzi, którzy, wydawałoby się, powinni wiedzieć, co to jest fizyka teoretyczna, jest czystym nonsensem, który polega na tym, że nie zmieniając niczego w samej zasadzie stosowania równania Schrödingera, dorabia się do tej zasady bezsensowną ontologię o charakterze czysto werbalnym, bez żadnych następstw rachunkowych. Do tej samej kategorii dziennikarstwa udającego fizykę teoretyczną należy idea udziału świadomości obserwatora w akcie redukcji pakietu falowego, wypowiedziana przez laureata nagrody Nobla z fizyki Wignera. Wszystkie współczesne doświadczenia z zakresu fizyki atomowej, jądrowej lub fizyki wysokich energii odbywają się bez udziału świadomego obserwatora. Ich wynikiem są wydruki komputerowe, które od początku stanowią obiekty klasyczne, zupełnie niezależnie od tego, czy ktoś zechce je odczytać, czy nie. Uważam za oczywiste, że jeżeli skądinąd rozumni ludzie mówią

głupstwa, to, po pierwsze, jest to problem *per se*, po drugie, jest to najprawdopodobniej manifestacja innego, bardziej zasadniczego problemu, którym w tym wypadku jest brak jasności pojmowania naukowego. Uważam też, że jeżeli za dwieście lub trzysta lat ktoś napisze filozoficzną historię fizyki teoretycznej, to uzna zarówno koncepcję wielu światów, jak i koncepcję partycypacji świadomości za symptomy choroby a nie za osiągnięcia fizyki teoretycznej.

Co musiałoby się stać, żeby ten uciążliwy problem przestał wreszcie być tematem stale produkowanej i przeważnie bezwartościowej literatury?

Fizyka teoretyczna od samego początku tzn. od powstania *Principiów* Newtona posługuje się metodą, dla której w gruncie rzeczy nie ma alternatywy. Metoda ta polega na wyizolowaniu, bądź fizycznym, bądź tylko mentalnym, z całości Wszechświata pewnej jego części, która jest na tyle dobrze odseparowana od reszty Wszechświata, że badanie jej jako układu izolowanego ma sens. Przykładem może być wahadło matematyczne, od badania którego to wszystko się zaczęło. Jest jasne, że ruch Księżyca i innych ciał niebieskich ma wpływ na ruch wahadła. Wpływ ten można jednak oszacować ilościowo i zdecydować, że jest on „mały”. „Mały” znaczy tyle, że trzeba by bardzo długo czekać, żeby wpływ Księżyca zmienił fazę wahadła o 180 stopni. Dla krótkich czasów, rzędu setek czy tysięcy cykli, wpływ ten można zaniedbać. Otóż mechanika kwantowa ujawnia, że ta procedura dzielenia Wszechświata na układ w założeniu izolowany i resztę Wszechświata ma zupełnie nowe i nieoczekiwane ograniczenia. Wynika to np. z zasady nierozróżnialności cząstek elementarnych. Dwa elektrony, jeden tutaj a drugi na Księżycu, są identyczne, co znaczy, że istnieje między nimi korelacja zupełnie niezależna od odległości i siły oddziaływania między nimi. Przypuszczam, że wszystkie trudności interpretacyjne mechaniki kwantowej mają jedno wspólne źródło, a mianowicie to, że z całości Wszechświata został wyizolowany pewien układ, po czym okazuje się, że dokonana w ten sposób idealizacja była niedopuszczalna. Fundamentalna niemożność podzielenia Wszechświata na badany układ i resztę, o której można zapomnieć, ma od początku swój wyraz w strukturze matematycznej równania Schrödingera. Mianowicie, w fizyce teoretycznej istnieje tradycja opisywania układów fizycznych przy pomocy tzw. działania Hamiltona. Jest to funkcjonal o tej własności, że równania ruchu badanego układu są równaniami Lagrange’a-Eulera dla działania Hamiltona. Otóż dla dwu układów, między którymi nie działają żadne siły, działanie Hamiltona w mechanice klasycznej jest sumą działań obu tych układów, co znaczy, że ich ruchy są niezależne od siebie. Tymczasem w mechanice kwantowej tak nie jest, co znaczy, że sama tylko obecność drugiego układu ma wpływ na ruch pierwszego, mimo, że z założenia nie działają między nimi żadne siły. Jasne jest, że w takiej sytuacji uprawianie fizyki teoretycznej jest bardzo trudnym i ryzykownym przedsięwzięciem. Być może konieczna jest umiejętność enumeracji a priori tych warunków, które muszą być

spełnione, żeby dany układ mógł być uważany za izolowany. Same tylko sukcesy mechaniki kwantowej w fizyce atomowej i chemii kwantowej pokazują, że może się tak zdarzyć i często faktycznie tak się zdarza, że uważając dany układ za izolowany nie popełniamy błędu. Chodziło by zatem o to, żeby warunki stosowalności tego przybliżenia wysłowić a priori i w sposób uniwersalny tzn. ważny dla każdego układu. Roger Penrose [3] należy do tych Autorów, którzy zgadzają się z tezą, że jakiś problem istnieje. Jeżeli dobrze rozumiem Penrose'a, to jest on zdania, że w równaniu Schrödingera zawarte jest uproszczenie polegające na pominięciu drobnej nieliniowej poprawki, przypuszczalnie pochodzenia grawitacyjnego. Uproszczenie to nie ma znaczenia dla krótkich czasów i stanów stacjonarnych, natomiast zmienia jakościowo ewolucję funkcji falowej dla długich czasów. Przykłady tego typu zachowań są istotnie znane w fizyce matematycznej. Np. rozwiązania równania Kortewega-de Vriesa dla długich czasów ewolucji rozpadają się na przestrzennie izolowane solitony i to niezależnie od tego jak zostały wybrane dane początkowe Cauchy'ego. Gdyby komuś udało się skonstruować nieliniową wersję równania Schrödingera o własnościach postulowanych przez Penrose'a, to być może byłoby to coś mającego szansę akceptacji. Rudolf Haag [4] uważa, że „musimy rozróżnić między możliwościami, które są zapisane w pojęciu stanu kwantowego i faktami, które są wynikiem wyboru między różnymi alternatywami”. To jest niewątpliwie prawda, tylko Haag nie podaje jak to zrobić. Fizyka teoretyczna jest sztuką budowania modeli matematycznych rzeczywistości fizycznej. Nikomu dotychczas nie udało się uchwycić środkami fizyki teoretycznej intuicyjnie oczywistej różnicy między dokonaną i zamkniętą przeszłością a niedokonaną i otwartą przyszłością, a teoria względności wniosła do tego zagadnienia nowe i bardzo poważne trudności. Bert Schroer, niemiecki teoretyk ze szkoły Haaga, wypowiada myśl, że „relatywistyczna kwantowa teoria pola zawiera w sobie swoją własną interpretację”. Oznaczałoby to, że relatywistyczna kwantowa teoria pola, w przeciwieństwie do nierelatywistycznej mechaniki kwantowej, spełnia epistemologiczne postulaty Einsteina.

Muszę przyznać, że nie rozumiem tej wypowiedzi, podejrzewam nawet, że coś takiego nie może być prawdą. Niemniej zgadzam się, że zaangażowanie od początku relatywistycznej kwantowej teorii pola zamiast nierelatywistycznej mechaniki kwantowej, do której ogranicza się większość Autorów, stanowi krok we właściwym kierunku. Samo bowiem wypisanie i stosowanie jednocząstkowego równania Schrödingera zawiera w sobie „ontological commitment” (ontologiczny postulat – od red.), który może nas niebezpiecznie oddalać od rzeczywistości. Jednocząstkowe równanie Schrödingera w oczywisty sposób zakłada możliwość kontrolowania tożsamości cząstki w czasie, która to możliwość nie istnieje w rzeczywistości. Jak już wspomniałem, wszystkie elektrony we Wszechświecie są identyczne, co ma ten skutek, że skupienie uwagi na jednym z nich z pominięciem całej reszty zawiera w sobie niedopuszczalną idealizację.

zając, a mianowicie założenie, że jest możliwe kontrolowanie tożsamości elektronu w czasie. Rozważmy np. klasyczny eksperyment rozpraszania elektronu na dwu szczelinach. Problemem jest tutaj, jaki obraz czasoprzestrzenny i jaką sekwencję zdarzeń można by związać z tym co jest niewątpliwe, a mianowicie z faktem, że elektron na początku objawia się jako coś na tyle rozciągniętego i miękkiego, że przechodzi przez obie szczeliny jednocześnie a na końcu objawia się jako coś zlokalizowanego w bardzo małym fragmencie a priori dostępnej przestrzeni. Użycie do opisu tego zjawiska jednocząstkowego równania Schrödingera w oczywisty sposób zakłada, że ten sam elektron najpierw uległ dyfrakcji a potem został zarejestrowany przez licznik. Tymczasem jedyną rzeczą, którą możemy z uzasadnieniem twierdzić, jest to, że zarejestrowany został elektron taki sam jak ten, który uległ dyfrakcji.

Nierówności Bella

Olbrzymia i stale produkowana literatura na temat probabilistycznej interpretacji mechaniki kwantowej budzi przygnębienie. W tym morzu dziennikarstwa, literatury i kiepskiej filozofii jest chyba tylko jeden jasny punkt: nierówności Bella [5]. Powszechny entuzjazm z jakim przyjęto prace Bella potwierdza tę ocenę. Nierówności Bella, potwierdzone przez szereg niezależnych doświadczeń, pokazują, że fundamentalna niemożność odseparowania rozważanego układu od „reszty Wszechświata” jest faktem empirycznym a nie artefaktem wynikającym z przybliżonego charakteru równania Schrödingera. Nie należy więc łudzić się, że problem ma jakieś proste, dotychczas nie zauważone rozwiązanie.

Literatura

- [1] Por. np. Mara Beller, *Quantum Dialogue*, The University of Chicago Press, 1999.
David Wick, *The Infamous Boundary*, Seven Decades of Controversy in Quantum Physics, Birkhauser 1995.
Franco Selleri, *Wielkie Spory w Fizyce Kwantowej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego 1999.
- [2] Descartes, *Prawidła Kierowania Umysłem*, PWN 1958.
- [3] Roger Penrose, *Droga do Rzeczywistości*, Prószyński i S-ka 2006.
- [4] Rudolf Haag, *An Evolutionary Picture for Quantum Physics*, Communications In Mathematical Physics 180(1996)733. Patrz także tegoż *Trying to Divide the Universe*, kontrybucja z okazji 75 rocznicy urodzin prof. Jana Łopuszańskiego.
- [5] J.S. Bell, *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press 1993.

Prof. dr hab. Andrzej Staruszkiewicz emerytowany profesor IF UJ, były kierownik Zakładu Teorii Względności i Astrofizyki, członek korespondent PAN i czynny członek PAU. Od dekad wygrywa wszystkie ankiety studenckie jako najlepszy wykładowca w Instytucie Fizyki UJ.





O nauczaniu mechaniki kwantowej w szkole średniej

Andrzej Staruszkiewicz

Instytut Fizyki UJ

Mechanika kwantowa zajmuje szczególne miejsce wśród wielkich teorii fizyki. Mimo, że od powstania mechaniki kwantowej minęło przeszło 80 lat, jej interpretacja i jej implikacje filozoficzne są przedmiotem dyskusji toczonej w czasopiśmie naukowych, na konferencjach itd. Dyskusje te są oczywistą oznaką tego, że fizyka jako nauka nie ma pełnej jasności na temat mechaniki kwantowej. Okoliczność tę podkreśla wielu autorów, np. R. Penrose w swojej pięknej książce *The Emperor's New Mind*, Oxford 1989, pisze:

„I believe that one must strongly consider the possibility that quantum mechanics is simply wrong when applied to macroscopic bodies”¹. Wszystko to znaczy, że nauczyciel ucząc mechaniki kwantowej powinien przestrzegać kardynalnej zasady: **nie uczyć tego, czego się samemu nie rozumie i czego nie rozumie fizyka jako nauka**. Wynika stąd, moim zdaniem, że w szkole średniej nie powinno się objaśniać pojęcia funkcji falowej i jej interpretacji probabilistycznej; nie można też wchodzić w indeterminizm mechaniki kwantowej, bo jest to właśnie zagadnienie bardzo niejasne dla fizyki jako nauki.

Co zatem może być przedmiotem nauczania w szkole średniej? Sądzę, że można, z zachowaniem koniecznej ostrożności, przedstawić następujące zagadnienia:

- (1) relacje de Broglie’a;
- (2) zasadę nieoznaczoności Heisenberga;
- (3) zasadę wykluczania Pauliego;
- (4) dyskretność w zjawiskach biologicznych.

(1) Relacje de Broglie’a tzn. stwierdzenie, że z ruchem falowym monochromatycznym o częstości ν i długości fali λ związana jest energia $E = h\nu$ i pęd $p = h/\lambda$, gdzie h jest stałą Plancka, można wprowadzić jako niezbity wynik doświadczeń nad efektem fotoelektrycznym, efektem Comptona i dyfrakcją elektronów. Relacje de Broglie’a mogą sprawiać trudność komuś, kto mając już pewną wiedzę z zakresu fizyki klasycznej usiłuje utworzyć czasoprzestrzenny obraz obiektu, który jest cząstką i falą jednocześnie; z taką właśnie trudnością zmagali się twórcy mechaniki kwantowej. Jeżeli jednak tego nie robić – a uczeń na ogół nie będzie tego robić – to nie sądzę, by był problem z zaakceptowaniem relacji de Broglie’a, zwłaszcza jeżeli wiadomo, że są one podsumowaniem zupełnie niewątpliwych doświadczeń.

¹ Uważam, iż należy poważnie brać pod uwagę możliwość, że mechanika kwantowa jest po prostu zła w zastosowaniu do ciał makroskopowych.

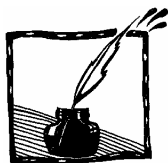
(2) Dla właściwego przedstawienia zasady nieoznaczoności należy przede wszystkim rozumieć jej status naukowy. Otóż zasada nieoznaczoności nie jest, wbrew swojej nazwie, zasadą fizyczną lecz raczej twierdzeniem matematycznym o falach de Broglie'a. Przez zasadę fizyczną rozumiem regułę lub prawo, które *a priori* mogłoby być prawdziwe lub fałszywe, lecz doświadczenie pokazuje jego prawdziwość. Zasada wykluczania jest tak rozumianą zasadą fizyczną. Natomiast zasada nieoznaczoności jest konieczną, matematyczną konsekwencją znanej własności transformat Fouriera, która polega na tym, że funkcja silnie zlokalizowana ma transformatę Fouriera silnie rozmytą i na odwrót, funkcja prawie monochromatyczna ma transformatę Fouriera silnie zlokalizowaną. Sądzę, że ta ogólna własność superpozycji sinusoid może i powinna być przekazana uczniom, a nauczyciel może tu zademonstrować pomysłowość i inwencję: sinusoidy można składać graficznie lub na komputerze, można też zwrócić uwagę na zjawisko dudnienia bliskich częstości. Uczeń powinien wynieść ze szkoły ideę, że krótki, aperiodyczny sygnał składa się z wielu sygnałów harmonicznym i że im krótszy jest sygnał, tym wyższe częstości są w nim zawarte. Ten czysto matematyczny fakt stanowi istotę zasady nieoznaczoności.

(3) Zasadę wykluczania Pauliego można również wprowadzić jako objaśnienie faktów doświadczalnych, np. jako jedyne wyjaśnienie budowy powłok elektronowych atomów i tablicy Mendelejewa. Jest tu trudność polegająca na tym, że prawie nie sposób sformułować zasadę wykluczania bez użycia niektórych pojęć kwantowomechanicznych, np. pojęcia stanu. W tej sytuacji nauczyciel powinien położyć nacisk na to, że właśnie zasada wykluczania pozwala zrozumieć niektóre najprostsze własności materii, która nas otacza. Uczeń powinien wynieść ze szkoły ideę, że bez mechaniki kwantowej nie można zrozumieć – jak zwraca uwagę Feynman – choćby tego, że stoimy na podłodze zamiast swobodnie spaść przez nią w dół.

(4) Fizyka potrzebowała prawie 300 lat by w opisie materii dojść do jej dyskretnej, policzalnej natury. Tymczasem w zjawiskach biologicznych policzalność jest wszechobecna i tak pospolita, że jej się prawie nie zauważa: człowiek ma 10 palców i 32 zęby, liść koniczyny składa się z trzech płatków etc. Sądzę, że uczeń powinien wynieść ze szkoły ideę, że ten policzalny charakter zjawisk biologicznych jest w ostatecznym rachunku odbiciem dyskretnej i policzalnej natury materii, z której składają się żywe organizmy.

Od Redakcji:

Artykuł ukazał się już w *Fotonie* 6 (marzec 1992).



Narodziny mechaniki kwantowej

Cytaty wyłowione z *Historii Fizyki*
Andrzeja Kajetana Wróblewskiego

Redakcja *Fotonu* podaje Państwu na tacy wyłowione przez nas w *Historii Fizyki* cytaty sławnych twórców mechaniki kwantowej. Niech posłużą jako wstęp do kolejnych zamieszczonych w *Fotonie* artykułów poświęconych mechanice kwantowej.

Rok 1922

Werner Heisenberg rozmawia z Bohrem w Getyndze (s. 470)

[...] (WH) zapytałem... Co jednak znaczą obrazy atomów pokazywane i omawiane na wykładach, dla których podawał pan również uzasadnienia. Co pan miał na myśli?...

Musimy się spodziewać – odrzekł Bohr – że paradoksy teorii kwantów, niezrozumiałe rysy związane ze stabilnością materii, wraz z każdym nowym doświadczeniem będą stawać się coraz jaśniejsze. Jeśli tak będzie się działo, to można mieć nadzieję, że z biegiem czasu utworzą się nowe pojęcia, za których pomocą będziemy mogli jakoś ująć równanie i te niepokładowe zdarzenia w atomie. Do tego jednak jeszcze nam daleko...

Zapytałem więc Bohra: Jeśli wewnętrzna struktura atomów jest tak mało dostępna pogładowemu opisowi, jak pan mówi, jeśli właściwie nie ma języka, w którym moglibyśmy mówić o tej strukturze, to czy w ogóle zrozumiemy kiedyś atomy? Bohr zwlekał przez chwilę i odpowiedział: Tak. Ale jednocześnie dopiero wtedy dowiemy się, co znaczy słowo „rozumieć”...

Rok 1925

Heisenberg w liście do Pauliego pisze: (s. 471)

Jestem przekonany, że wyjaśnianie wzoru Rydberga [np. dla wodoru] przez odwoływanie się do orbit kołowych i eliptycznych (zgodnie z klasyczną geometrią), nie ma najmniejszego sensu fizycznego. Poświęcam cały mój rozpaczliwy wysiłek w celu całkowitego zniszczenia pojęcia orbity – której i tak nie można zaobserwować – i zastąpienia go przez bardziej odpowiednie pojęcie.

Rok 1926

Schrödinger pisze: (s. 474)

Moja teoria była inspirowana przez L. de Broglie'a i przez krótkie, ale niesłychanie dalekowzroczone uwagi A. Einsteina [Berl. Ber. 1925, s. 9]. Byłem całkowicie nieświadomy jakiegokolwiek związku genetycznego z Heisenbergiem. Oczywiście wiedziałem o jego teorii, ale była dla mnie odpychająca, czy raczej odrażająca, ze względu na bardzo trudne metody transcendentnej algebry i brak pogładowości (Anchaulichkeit).

Heisenberg w liście do Pauliego: (s. 475)

Im więcej myślę o części fizycznej teorii Schrödingera, tym bardziej obrzydliwa mi się ona wydaje. To co Schrödinger pisze o jej pogładowości (Anchaulichkeit), nie ma w ogóle sensu, i inaczej mówiąc, myślę, że jest to bzdura.

Twórcy mechaniki kwantowej na Konferencji Solvaya w 1927 roku.



A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, Ed. Herzen, Th. De Donder, E. Schrödinger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R.H. Fowler, L. Brillouin,
P. Debye, M. Knudsen, W.L. Bragg, H.A. Kramers, P.A.M. Dirac, A.H. Compton, L. de Broglie, M. Born, N. Bohr,
I. Langmuir, M. Planck, M. Curie, H.A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, Ch. E. Guye, T.R. Wilson, O.W. Richardson

<http://w3.pppl.gov/~hammett/courses/gpp1/intro/solvay1927.html>

Photograph by Benjamin Couprie, Institut International de Physique Solvay, Brussels, Belgium



Kwanty w szkole – pochwała modelu Bohra

Zofia Gołąb-Meyer

Streszczenie wystąpienia na Szkole Dydaktyki Fizyki w Kudowie, jesień 2007. Autorka przedstawia swoje stanowisko w kontrapunkcie do prezentacji Ludwika Lehmana, którego referat opublikowano w *Fizyce w Szkole*.

Nauczanie elementów fizyki kwantowej w szkole i przedstawianie jej laikom w ogólności, jest sztuką karkołomną, stanowi nie lada wyzwanie, które zresztą wielu wybitnych ludzi i nauczycieli podejmuje, *nota bene*, z różnym skutkiem. W powszechnym kanonie wielu krajów europejskich model Bohra znajduje miejsce w programach szkolnych. U nas także znalazł się w podstawie programowej. Ten fakt spotyka się często z krytyką. Argumentuje się, że model ma znaczenie wyłącznie historyczne, że jest niespójny, że ma założenia zupełnie *ad hoc*, że ma bardzo ograniczone możliwości zastosowania i przewidywania. Jednym słowem, że jest modelem bardzo ubogim w konfrontacji ze współczesną mechaniką kwantową. Padają mocne argumenty, że należy uczyć prawdy, tak by niczego nie musieć później „odszcze kiwać”. Pan Krzysztof Prałat z II LO w Poznaniu w liście do Redakcji *Fizyki w Szkole* (2/2007, s. 63) słusznie zwraca uwagę na szereg błędów metodycznych popełnianych przy nauczaniu o modelu Bohra. Problemem nie do pokonania wydaje się być brak synchronizacji z nauczaniem chemii. Na lekcjach chemii, znacznie wcześniej niż na lekcjach fizyki, uczniowie dowiadują się o orbitalach i chmurach elektronowych. Wiedza ta, nie oparta na solidnej podstawie, wpada w szufladkę o nazwie „chemia” i pozostaje bez związku z fizyką.

Oczywiście ograniczenia modelu Bohra jako takiego są znane. Inna sprawa, że te ograniczenia i krytyka modelu, tak jak i sam model wcześniej są przez uczniów przyjmowane na zasadzie informacji podanej przez autorytety, a nie poparte własną wiedzą i rozumieniem. Uczniowie nie posiadają dostatecznej wiedzy, choćby z elektrodynamiki, aby sami mogli zauważyć te ograniczenia. Wprawdzie nie jest to argument istotny za modelem Bohra w szkole, ale warto go mieć na uwadze.

Panu Ludwikowi Lehmanowi ostro atakującemu model Bohra w szkole (*Dość bohrowania, Fizyka w Szkole*, 3/2007, s. 17) trzeba przyznać rację, gdy zauważa on niepoprawne sformułowania przy nauczaniu modelu.

Trzeba dobrze samemu rozumieć jaka jest istota modelu, co on przewiduje i jakie ma ograniczenia. Jeśli nie ma tego zrozumienia, to jest wrażenie, że model Bohra to **klamstwo**, a dopiero mechanika kwantowa zapodaje **prawdę**.

(„...model Bohra to kłamstwo. I uczniowie to dobrze wiedzą od samego początku. I my nauczyciele, to wiemy. Tak długo oddychaliśmy w oparach absurdu, że różnica między PRAWDĄ a KŁAMSTWEM zamazała się nam zupełnie”. Lehman, *FwS*, 3/2007, s.18).

I niestety jest to prawda, „zamazało się” i nauczycielom, i niektórym autorom podręczników. Chodzi o nieporozumienie związane ze zrozumieniem sensu modelu.

Model Bohra powinien być i na ogół jest prawidłowo przedstawiany jako typowy przykład MODELU, a nie ogólnej teorii.

Model jest po to, by pomóc zrozumieć, wyobrazić sobie, przebieg jakichś zjawisk pierwotnie dziwnych, czy obcych. Użyteczny model ma uchwycić istotne cechy zjawisk czy obiektów modelowanych. Już dziecko bawiąc się miśkiem nie oczekuje od zabawki prawdziwych ludzkich zachowań. Wie, że miś sam nie zje i nie będzie się poruszać, nie przemówi ludzkim głosem. Model Bohra przedstawiany w szeregu innych modeli – począwszy od modelu atomu w postaci babki z rodzynkami – nie ma powodu być przyjmowany jako prawda absolutna o naszej rzeczywistości (mimo iż każdy, świadomie lub nie, oczekuje prawdy absolutnej).

Prawdą jest jednak, iż na hasło „atom” u większości wykształconej populacji wyskakuje ikona modelu: kulka otoczona obręczkami ilustrującymi obiegające jądro elektronu lub, co gorsza, na hasło „atom” wyskakuje obraz-ikona grzyba po wybuchu bomby jądrowej.

Za upowszechnienie powyższej ikony nie jest odpowiedzialne nauczanie fizyki lepsze czy gorsze. Używana w szkole ilustracja to płaskie koncentryczne okręgi z zaznaczonymi przejściami elektronów.

Argumentuje się, że obraz elektronu goniącego jako klasyczna kulka po orbicie jest sprzeczny z głównym założeniem mechaniki kwantowej. Prawda. Tyle, że nie posiadamy żadnego poprawnego obrazka. Uważa się, że już lepsze są chmurki gęstości prawdopodobieństwa.

Założmy, że rzeczywiście model Bohra pozostawia w umysłach ludzi trwałą obraz elektronów jako kulek poruszających się klasycznie wokół jądra.

No i jakie płynie z tego niebezpieczeństwo? Żadne. Może jedynie zrodzić pewien dyskomfort poznawczy, gdy dana osoba zechce zgłębiać inne problemy wymagające rozumienia mechaniki kwantowej. Tak, wtedy zajdzie potrzeba pogłębienia tematu i zrozumienia ograniczeń modelu.

Bywają sytuacje, kiedy zrodzone w nauczaniu tzw. *misconception* są groźne, zarówno w sensie jednostkowym, jak i w skali społecznej. Niezrozumienie lub złe zrozumienie zasady zachowania energii czy też drugiej zasady termodynamiki może mieć niemiłe konsekwencje, tak jak i błędne zrozumienie prawa Archimedesesa. Nie z takim przypadkiem mamy tu do czynienia.

Co daje model Bohra? Pokazuje, że fizyka radzi sobie z opisem atomów, które są obiektami złożonymi z jąder i elektronów. Pokazuje, że nadspodziewanie **dobrze ilościowe rozumienie** tajemniczego zjawiska (prążkowa struktura widm atomowych) można uzyskać za pomocą **zaskakująco prostego założenia** o kwantyzacji momentu pędu. We wszystkich nas drzemie trochę z Keplera, by odgadywać ilościowe relacje występujące w naturze z prostych reguł matematycznych, za którymi kryje się jakaś harmonia. Model Bohra ilustruje potęgę fizyki. Model jest na tyle prosty, że może być, on sam i jego przesłanie, zrozumiany nawet przez bardzo przeciętnych uczniów.

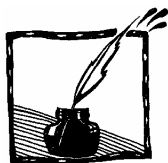
Bardzo ważnym argumentem za modelem Bohra w szkole jest czynnik kulturowy. Model Bohra był niesłychanie ważnym wydarzeniem w rewolucji naukowej XX wieku, o poważnych konsekwencjach dla rozwoju technologii, która odmieniła codzienne życie każdego z nas. I dobrze, żeby to był powszechnie znany fakt, ważniejszy niż zabójstwo księcia Ferdynanda na moście w Sarajewie, które spowodowało wybuch I wojny światowej.

Od Redakcji:

Redakcja *Fotonu* poleca artykuł, naszego długoletniego współpracownika Theo Ruijgroka z uniwersytetu w Utrechcie, pt. *Wyczucie kwantów*, dostępny w Internecie (*Foton* 14/1992)



Od prawej: Schrödinger, Heisenberg i Dirac z żonami na dworcu w Sztokholmie



Atom, który zbudował Bohr

Mariusz Sadzikowski

Instytut Fizyki UJ

Uważałem i do dziś uważam za cud, że ten pelen sprzeczności i niepewny fundament okazał się dla człowieka o tak wyjątkowym instynkcie i subtelności jak Bohr wystarczający do odkrycia podstawowych praw linii spektralnych i powłok atomowych, a zarazem ich znaczenia dla chemii. Widzę w tym najwyższy stopień muzykalności w dziedzinie myśli.

A. Einstein [1]

I. Prolog

Nauczanie rządzi się pewnymi regułami. Nie są to jednak prawa ściśle, ale raczej wskazówki, których przestrzeganie pozwala na większą skuteczność działania. Między innymi istnieje ważna zasada, wedle której należy przekazywać taką wiedzę, której uczeń nie będzie się musiał „oduczać” na późniejszym etapie. W szczególności należy unikać tworzenia w świadomości obrazów, które w ostatecznym rozrachunku są po prostu fałszywe. W świetle wymienionej tu zasady pojawia się więc pytanie: czy należy omawiać w szkole model atomu Bohra?

Uważam, że odpowiedź na takie pytanie może być tylko twierdząca. Wszelkie argumenty o anachroniczności modelu oraz fałszywym obrazie, który tworzy, nie opierają się pozytywnym informacjom, które ze sobą niesie. Odrzucenie tego modelu podobne byłoby do wyrzucenia z literatury powieści „Wokół księżyca” Juliusza Verne’a, tylko dlatego, że opisana w niej podróż nie odpowiada standardom NASA dla lotów wahadłowców. To wszystko nie oznacza jednak, że należy przedstawiać model atomu w jego pierwotnej postaci, ani powtarzać jego uproszczonego „wyprowadzenia”. Nie jest ono bowiem ani klasyczne, ani kwantowe. Jest hybrydą o znaczeniu historycznym i w takim kontekście można je rzeczywiście omówić. Przede wszystkim należy się skupić na tym, czego ten uproszczony model może nas prawdziwego nauczyć o świecie mikroskopowym – nawet jeżeli nie będzie to cała prawda. Model Bohra niesie ze sobą ziarna prawdy, inaczej nie można by było na nim zbudować, jak na dobrym fundamencie, pełnej teorii kwantowej. Zadaniem nauczyciela jest wyłowić te ziarna, podkreślając ich znaczenie.

Spójrzmy więc na model Bohra raz jeszcze. Podstawowymi cechami świata mikroskopowego są: cząstkowa struktura materii oraz fakt, że podstawowe prawa są opisane przy pomocy zasad probabilistycznych. Z tej właśnie perspektywy należy patrzeć na atom wodoru.

II. Nowy atom: Sir Ernest Rutherford

Nasza historia będzie miała trzech bohaterów: elektron (odkryty w 1897 roku przez J.J. Thomsona), proton – dodatnio naładowane jądro atomu¹ oraz foton (który wprowadził do fizyki Albert Einstein swoją pracą o efekcie fotoelektrycznym²). Te trzy elementarne składniki materii będą potrzebne do zrozumienia atomu wodoru. Elektron charakteryzuje się masą m oraz ładunkiem elementarnym e . Proton odegra u nas poślednią rolę źródła pola elektrycznego. Foton jest cząstką, której energia jest związana z częstotliwością kołową wzorem $E = \hbar\omega$, gdzie $\hbar = h/2\pi$, zaś h to stała Plancka. Wróćmy jednak do budowy atomu.

W serii znanych doświadczeń nad rozpraszaniem cząstek alfa na cienkiej folii złota, które Rutherford zlecił do przeprowadzenia Ernestowi Marsdenowi, otrzymano zaskakujący wynik: cząstki alfa mogły się rozpraszać na folii nawet pod kątami rzędu 180° . Jak obrazowo ujął to Rutherford:

To było tak, jakbyś wystrzelił piętnastocalowy pocisk do kawałka bibułki, a ten pocisk odbił się od bibułki i uderzył w ciebie.³

Ten wynik doświadczalny wymagał interpretacji. Podał ją Rutherford po prawie dwóch latach rozważań. Atom musiał być zbudowany z dodatnio naładowanego jądra, małych rozmiarów, zaś elektrony musiały krążyć wokół niego, neutralizując ładunek atomu jako całości. Rutherford poparł tę hipotezę obliczając wzór na przekrój czynny rozpraszania naładowanych cząstek na ciężkim jądrze (więcej szczegółów na temat tego zjawiska można znaleźć w [2]).

Jego obliczenia teoretyczne świetnie zgadzały się z doświadczeniem. W ten sposób pojawił się planetarny model atomu, w którym rolę gwiazdy odgrywa jądro, zaś planetami są elektrony. Jak wspomina Hans Geiger [3]:

Pewnego razu Rutherford wszedł do mojego pokoju z widocznymi oznakami dobrego humoru i powiedział:

– Wiem już jak wygląda atom!

Choć Rutherford wiedział jak wygląda atom, rozumiał on jednocześnie, że według zasad klasycznej fizyki taki atom był skazany na zagładę. Opisując wyniki swoich eksperymentów wraz z ich interpretacją w artykule opublikowanym w „Philosophical Magazine” napisał [3]:

Zagadnienia trwałości przedstawionego tu atomu nie należy rozpatrywać na tym etapie...

Uratować atom Rutherforda mogły tylko nowe zasady. Nadchodził czas Bohra.

¹ Odkrycie protonu możemy przypisać Rutherfordowi, ale stało się to parę lat później w stosunku do powstania modelu Bohra.

² W czasie, gdy Bohr opisywał atom wodoru, foton był raczej uznawany za fanaberię wielkiego mistrza, niż rzeczywisty obiekt. Dopiero dekadę później, po doświadczeniach Comptona, kwant świetlny znalazł stałe miejsce w opisie światła.

³ A.K. Wróblewski, *Historia Fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2006, s. 449.

III. Nowe zasady: Niels Bohr

Punktem wyjścia analizy budowy atomu jest spostrzeżenie Rutherforda, że prawie cała masa atomu skupiona jest w dodatnio naładowanym centrum, zaś elektron porusza się w jego polu elektrycznym. Ponieważ jądro jest o wiele cięższe od elektronu w pierwszym przybliżeniu możemy potraktować je jako nieskończenie ciężkie. Pozostaje więc do rozwiązania problem jednego elektronu poruszającego się w centralnym polu elektrycznym opisanym prawem Coulomba. Tak więc za strukturę wewnętrzną atomu odpowiada pojedynczy elektron. Przemyslenia Bohra, kierowane genialną intuicją, doprowadziły do wniosku, że atom charakteryzuje dyskretne spektrum energetyczne. Możemy to sformułować w postaci pierwszego prawa Bohra.

Pierwsze prawo Bohra

Atom wodoru, w swoim układzie spoczynkowym, może przyjmować dyskretne wartości energii opisane wzorem:

$$E_n = -\frac{R_\infty}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

zaś $R_\infty \cong 13,6$ eV jest to stała Rydberga⁴. Wielkim sukcesem Bohra było wyrażenie stałej Rydberga przez bardziej podstawowe stałe fizyczne w jednym prostym wzorze:

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0 h^3 c}$$

gdzie ϵ_0 to przenikalność dielektryczna próżni.

Zgodność pomiędzy wartością doświadczalną a obliczeniami zrobiła olbrzymie wrażenie na ówczesnych fizykach. Każdy rozumiał, że Bohr musiał uchylić rąbka tajemnicy, choć nikt nie rozumiał, dlaczego ten model działa.

Powróćmy teraz do ważnego zagadnienia trwałości atomów. Według fizyki klasycznej poruszający się ruchem niejednostajnym ładunek wypromieniowuje energię w postaci światła. Czy w takim razie atom Bohra jest trwały? Ten problem został rozwiązany na zasadzie pokornej akceptacji faktu doświadczalnego: przecież wiemy, że atomy są trwałe. Przyjmujemy więc nową zasadę.

Zasada stacjonarności

W stanie podstawowym, elektrony poruszające się w atomie nie promieniują.

W szczególności dla atomu wodoru, jeden elektron, w stanie o najniższej energii, czyli $n = 1$, nie promieniuje. Problem trwałości atomów był poza zasię-

⁴ Indeks ∞ przypomina, że wartość ta została obliczona przy założeniu, że proton jest nieskończenie ciężki. W rzeczywistości jest on cięższy od elektronu około 1800 razy. Skończoną masę protonu dość łatwo uwzględnić w obliczeniach.

giem teorii Bohra. Na swoje rozwiązanie musiał poczekać do powstania mechaniki kwantowej. Co można powiedzieć więcej o elektronie związanym w atomie, poza tym, że odpowiada za strukturę energetyczną? Każdy ze stanów energetycznych jest związany z różnymi konfiguracjami przestrzennymi elektronu. Czy można powiedzieć, w jaki sposób elektron porusza się wokół jądra atomowego? Nie. Elektron, w zasadzie, może być wszędzie. Można jedynie określić prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w zadanym obszarze przestrzeni. W celu opisu tego faktu musimy wprowadzić pojęcie gęstości prawdopodobieństwa. W szczególności dla stanu podstawowego możemy zapytać: jakie jest prawdopodobieństwo P_r znalezienia elektronu w przedziale odległości r i $r + dr$ od centrum potencjału? Prawdopodobieństwo jest proporcjonalne do szerokości przedziału dr i wyraża się wzorem $P_r = \rho(r)dr$, gdzie funkcja promienia $\rho(r)$ jest właśnie gęstością prawdopodobieństwa. Przykładowo, mechanika kwantowa pozwala nam obliczyć, że prawdopodobieństwo znalezienia elektronu między centrum potencjału a połową promienia Bohra $a_0/2$ wynosi około 8 procent. Czym więc są „orbity” Bohra, po których miałyby poruszać się elektron? Promienie orbit to takie odległości elektronu od jądra atomu, w których gęstość prawdopodobieństwa znalezienia elektronu jest maksymalna⁵. W szczególności promień atomu wodoru a_0 , zwany również promieniem Bohra, to odległość, w której gęstość prawdopodobieństwa jest maksymalna dla atomu w stanie podstawowym. Bohrowi udało się odgadnąć poprawny wzór na „rozmiar” atomu. Możemy więc wypowiedzieć w prosty sposób (prawie) ściśle prawo.

Zasada „ruchu orbitalnego”

Prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w atomie wodoru, w stanie podstawowym, jest maksymalne w odległości $a_0 = \hbar^2/me^2$.

Wielkim sukcesem Bohra było znalezienie formuły na promień atomu, dzięki czemu udało się „obliczyć” rozmiar atomu $a_0 \cong 0,5 \text{ \AA}$ i powiązać go z podstawowymi stałymi przyrody.

Zmierzamy teraz do momentu, gdy na scenie pojawi się trzeci bohater – foton. Atomy mogą bowiem oddziaływać ze światłem pochłaniając je lub emitując. Jeżeli atom pochłoniął kwant świetlny, wtedy przechodzi ze stanu n do stanu wyższego $m > n$. Atom w stanie wzbudzonym m , po upływie pewnego czasu, przechodzi do stanu niższego n (w ostateczności kończy w stanie podstawowym $n = 1$), wysyłając foton. Mechanika kwantowa pozwala nam obliczać prawdopodobieństwa emisji i absorpcji fotonów w zależności od częstości promieniowania (częstości fali elektromagnetycznej związanej z fotonami). W szczegól-

⁵ Oprócz dyskretnej wartości energii możemy również przypisać elektronowi wartość momentu pędu. Kołowe „orbity” występują jedynie dla elektronów, które nie noszą ze sobą żadnego momentu pędu. To zagadnienie można pominąć, by nie komplikować prostego obrazu. Zwłaszcza, że stan podstawowy atomu Bohra ma fałszywą wartość momentu pędu.

ności potrafimy stwierdzić, kiedy prawdopodobieństwa tych procesów są maksymalne. Naszą wiedzę możemy podsumować w postaci nowego prawa.

Drugie prawo Bohra

Prawdopodobieństwo emisji i absorpcji kwantów świetlnych przez atom jest maksymalne, gdy częstotści fotonów spełniają warunek

$$\omega_{mn} = \frac{E_m - E_n}{\hbar}, \quad (2)$$

przy czym $E_m > E_n$.

Bezpośrednią konsekwencją warunków (1), (2) jest wyprowadzenie wzoru na częstotści linii widmowych atomu wodoru:

$$\omega_{mn} = -\frac{R_\infty}{\hbar} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Trzy dekady wcześniej ten sam wzór odgadł na gruncie empirycznym nauczyciel ze szkoły dla dziewcząt w Bazylei, Johann Jacob Balmer⁶.

Na podstawie tego wzoru możemy omówić serie linii spektralnych występujących w widmie promieniowania wodoru.

W mojej opinii wszystkie powyższe prawa czy zasady należy podać bez „wyprowadzeń”, jedynie opatrzone odpowiednimi komentarzami, jak należy je rozumieć. Na zakończenie można pozwolić sobie na uzasadnienie ich odpowiednimi „wyprowadzeniami”, wskazując jednocześnie na ich pomocniczą rolę w argumentacji. Należy przy tym wyraźnie podkreślić, że podane przekształcenia niczego nie dowodzą.

IV. Epilog

Żadnej z podanych powyżej zasad nie musimy się „oduczać” na późniejszym etapie, co najwyżej trzeba je uzupełnić lub uczynić bardziej precyzyjnymi. Przy omawianiu atomu Bohra należy podkreślać cząstkową budowę materii oraz probabilistyczny charakter reguł podstawowych. Cząsteczkowa budowa materii jest w jasny sposób widoczna. Losowość w prawach podstawowych ujawnia się szczególnie w drugim prawie Bohra oraz zasadzie „ruchu orbitalnego”.

Omawiając atom Bohra można wywieść jeszcze jedną lekcję ogólną. Postęp w naukach podstawowych (przyrodniczych) rzadko osiąga się wychodząc od aksjomatów, a następnie wyprowadzając kolejne wnioski. Raczej podąża się w nieznaną, nie widząc ostatecznego celu. Jasno podkreślił to Werner Heisenberg porównując poszukiwania w nauce do wyprawy Krzysztofa Kolumba i dodając [4]:

⁶ Balmer podał wzór, w którym $n = 2$, zaś $m \geq 3$.

Podobnie w nauce można zdobyć naprawdę nowy ład chyba tylko wtedy, gdy w decydującym momencie jest się gotowym do porzucenia podstaw, na których opiera się dotychczasowa nauka, i jakby do skoku w pustkę.

Taki właśnie charakter miał model Bohra atomu wodoru, z czego jego autor zdawał sobie bardzo dobrze sprawę. Heisenberg wspominając swoją rozmowę z Bohrem, która miała miejsce w Getyndze latem 1922 roku, wkłada w usta Bohra następujące zdanie [4]:

Obrazy te (atomów) są przecież wywnioskowane z doświadczeń lub, jeśli pan woli, odgadnięte, a nie uzyskane z jakichś rachunków teoretycznych. Mam nadzieję, że obrazy te opisują strukturę atomów tak dobrze, ale również tylko tak dobrze, jak jest to możliwe za pomocą poglądowego języka fizyki klasycznej.

W tym kontekście cytuję Alberta Einsteina, którym rozpocząłem artykuł, w niezwykle celny sposób ujmuje istotę rzeczy.

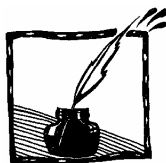
Literatura

- [1] A. Einstein, *Zapiski autobiograficzne*, Wydawnictwo Znak, Kraków 1996.
- [2] A. Dyrek, M. Sadzikowski, *Poszukiwania podstawowych składników materii i ich oddziaływań*, *Foton* 39/1995.
- [3] D. Danin, *Rewolucja kwantowa*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1990.
- [4] W. Heisenberg, *Część i całość*, Państwowy Instytut Wydawniczy, 1987.



Bohr dyskutuje z Heisenbergiem i Paulim

Dr hab. Mariusz Sadzikowski jest pracownikiem Zakładu Teorii Cząstek w IF UJ, w latach 1992–1997 był członkiem Redakcji *Fotonu*.



Dziwy świata kwantowego¹

Henryk Arodź

Instytut Fizyki UJ

1. Wstęp

Zjawiska kwantowe odkryto około 100 lat temu, a od ponad 80 lat znamy doskonałą ich teorię: mechanikę kwantową. Od ponad 50 lat znamy też znacznie ogólniejszą od niej kwantową teorię pól. Nie są to więc rzeczy nowe – z perspektywy roku 2008 mechanika kwantowa jest niewiele młodsza od elektrodynamiki Maxwella i jest ona, podobnie jak elektrodynamika, jednym z filarów współczesnej fizyki. W niniejszym artykule – reportażu ze świata kwantowego – opisuję fragmenty, niekiedy bardzo drobne, lecz charakterystyczne, świata materialnego z uwzględnieniem zjawisk kwantowych. Celowo wybrałem przykłady proste, niektórzy zawodowi fizycy mogą nawet uznać je za banalne. Moim zdaniem, właśnie one pokazują chyba najlepiej, jak niezwykle jest świat kwantowy, a przy tym wolne są od otoczki nieporozumień związanej np. z tzw. paradoksem Einsteina-Podolskiego-Rosena lub z nierównościami Bella.

Świat kwantowy jest niezwykle w tym sensie, że zjawiska fizyczne, w których dominują cechy kwantowe są bardzo odmienne od postrzeganych bezpośrednio naszymi zmysłami. Jednakże wiadomo od dawna, że w wypadku świata materialnego tego typu niezwykłość nie jest czymś nadzwyczajnym, a raczej regułą. Gdybyśmy naiwnie wierzyli naszym zmysłom, to twierdzilibyśmy, że światło biegnie z prędkością nieskończoną, że Słońce obiega Ziemię a Księżyc wykonuje jakieś dziwne pląsy poruszając się w przestrzeni, przy czym prawie zawsze coś go przysłania, że woda i powietrze są ciągłe (nie widzimy przecież cząsteczek) itd. Obraz świata materialnego kreślony przez fizykę na ogół nie jest zgodny z naszym bezpośrednim doświadczeniem zmysłowym i naszymi potocznymi intuicjami, które są poprawne jedynie w bardzo ograniczonym zakresie.

Podkreślmy, że mimo iż świat kwantowy różni się bardzo od świata klasycznego i jest sprzeczny z naszymi potocznymi intuicjami, niemniej jednak to właśnie on jest światem rzeczywistym. Przez świat klasyczny rozumiemy tutaj hipotetyczny świat materialny podlegający prawom fizyki, nieuwzględniającym mechaniki kwantowej. Świat klasyczny w przyrodzie po prostu nie istnieje. Na poziomie naszych doznań zmysłowych przekonanie o klasyczności świata wynika z małej dokładności naszych zmysłów, na poziomie teorii zaś teorie klasyczne, np. mechanika klasyczna oparta na zasadach dynamiki Newtona, nie są

¹ Wykład wygłoszony na Przedszkolu Fizyki w czerwcu 2007.

niczym więcej jak jedynie przybliżeniem do teorii kwantowych. Według współczesnej fizyki, świat materialny jest jeden i jest on kwantowy. Należy natychmiast dodać, że w wielu zagadnieniach przybliżenie klasyczne jest bardzo dokładne i całkowicie wystarczające.

Kluczową rolę w poznawaniu kwantowej natury świata materialnego odgrywają starannie przygotowane eksperymenty, często bardzo trudne do zrealizowania, a także narzędzia matematyczne umożliwiające bardzo dokładny opis matematyczny tego świata. W niektórych zagadnieniach osiągnięto fantastyczną dokładność przewidywań teoretycznych rzędu 10^{-10} %. Nie ma wątpliwości co do tego, że fizycy bardzo dobrze poznali własności świata kwantowego, chociaż nie można wykluczyć, iż coraz dokładniejsze eksperymenty przyniosą jakieś niespodzianki i w konsekwencji zmuszą nas do odejścia od mechaniki kwantowej i kwantowej teorii pól w ich obecnych sformułowaniach i przyjęcia nowych, jeszcze lepszych teorii.

Do świata klasycznego z pewnością nie należy wnętrze atomu. Tutaj przybliżenie klasyczne na ogół zawodzi. Masa spoczynkowa elektronu, oznaczana zwykle przez m_e , wynosi zaledwie $0,91 \cdot 10^{-27}$ g, a typowe bezwzględne wartości energii elektronu w atomie są rzędu elektronowolta, tj. rzędu $1,6 \cdot 10^{-19}$ J (energia ta jest ujemna). Liczby te są zapewne znane, niemniej jednak przytaczamy je, aby unaocnić jak niesłychanie są one małe. Gdyby masę elektronu powiększyć $2,3 \cdot 10^{27}$ razy, to otrzymalibyśmy masę jednej łyżki wody, a masa łyżki wody zwiększona o ten sam czynnik zrównałaby się z masą Ziemi. Rozmiar atomu jest rzędu 10^{-8} cm. Powiększając go 10^8 razy otrzymamy 1 cm, a odcinek o długości 1 cm powiększony o ten sam czynnik sięgałby w linii prostej od Krakowa do Genui. Nie powinniśmy więc być zdziwieni, że wnętrze atomu rządzi się prawami bardzo odmiennymi od praw wystarczających do opisu świata makroskopowego, gdzie efekty kwantowe są zaniedbywalnie małe. Zauważmy, że rozmiar atomu jest jednak większy niż można by się spodziewać na podstawie wyżej przedstawionej proporcji mas elektronu i łyżki wody („tylko” czynnik 10^8 w porównaniu z 10^{27}). Związane jest to m.in. z długozasięgowością oddziaływań elektromagnetycznych.

Mechanika kwantowa do dzisiaj jest otoczona aurą tajemniczości i niezwykłości. Tymczasem, jak każda teoria fizyczna, całkiem prozaicznie dotyczy ona materii i oczywiście nie zawiera żadnych elementów ezoterycznych. Co więcej, mechanika kwantowa okazuje się być teorią na swój sposób prostą, jednakże pod warunkiem, że odłożymy na bok nasze intuicje fizyczne ze świata makroskopowego i nie będziemy próbowali interpretować zjawisk kwantowych, używając wyobrażeń i pojęć z fizyki klasycznej. Nie oznacza to, że odkrywanie praw fizyki obowiązujących w świecie kwantowym było łatwe. Wręcz przeciwnie, można się zadumać nad niezwyklej dociekliwością i przenikliwością jej odkrywców.

2. Cząstka kwantowa

2.1. Stany cząstki kwantowej

Aby uniknąć zbędnych komplikacji, zajmijmy się jednym z najprostszych obiektów kwantowych: tak zwaną cząstką punktową bezspinową o większej od zera masie m . Przyjmijmy, że może ona poruszać się jedynie wzdłuż osi x – z tego powodu mówimy, że jest to cząstka jednowymiarowa. Zaznaczmy od razu, iż punktowość tej cząstki bynajmniej nie oznacza, że zajmuje ona jeden punkt w przestrzeni – jest to przykład określenia mogącego zmylić Czytelnika, niestety w literaturze dotyczącej teorii kwantowych można znaleźć ich wiele. Przypomnijmy, że w mechanice klasycznej stan tej jednowymiarowej cząstki w danej chwili czasu t matematycznie opisujemy podając jej położenie $X(t)$ na osi x oraz jej prędkość $dX(t)/dt$ w tejże chwili – w tym wypadku termin „cząstka punktowa” ma znaczenie dosłowne. W wypadku cząstki kwantowej dokładniejsze byłoby określenie „cząstka, która w przybliżeniu klasycznym jest cząstką punktową”, ale oczywiście jest ono zbyt długie. W mechanice kwantowej stan cząstki w danej chwili czasu t najczęściej jest reprezentowany przez tzw. funkcję falową, jednak poniżej używać będziemy tzw. opisu hydrodynamicznego, zobacz np. § 9 w [1], który jest bardziej poglądowy². W opisie hydrodynamicznym stan cząstki kwantowej w danej chwili czasu t jest reprezentowany przez parę funkcji $\rho(x, t)$, $\chi(x, t)$ o wartościach rzeczywistych. Związek tych funkcji z funkcją falową podajemy w Dodatku na końcu artykułu. Wartości funkcji ρ są nieujemne – funkcja ta daje gęstość cząstki kwantowej. Cząstka ma więc pewien rozkład gęstości, jest pewnym obłokiem materii rozciągniętym na osi x , a nie punktem. Podkreślmy, że chodzi nam o gęstość cząstki, a nie gęstość jej masy. Ponieważ mamy jedną cząstkę na całej osi x , więc

$$\int_{-\infty}^{+\infty} dx \rho(x) = 1. \quad (1)$$

Gęstość masy jest równa $m\rho$, gdzie m jest masą cząstki. Bardzo ważne jest, że ten obłok materii tworzący cząstkę kwantową ma własności fizyczne bardzo odmienne od własności obłoków materii znanych ze świata makroskopowego, takich jak kropla wody czy obłok gazu. Widać to już z postaci wzoru (3) na energię cząstki podanego niżej. Jednakże chyba najdziwniejszą cechą tej materii kwantowej jest jej integralność – obłok będący cząstką kwantową można deformować i rozdzielać na kilka części dowolnie odległych od siebie, ale żadnej z tych części nie można usunąć bez wpływu na pozostałe – mimo, że oddalone od siebie, pozostają one w ścisłym związku ze sobą, są „skorelowane”. Własno-

² Ograniczamy się do najprostszych sytuacji fizycznych, w których cząstka znajduje się w tzw. stanach czystych. Pełna przestrzeń stanów cząstki kwantowej zawiera również tzw. stany mieszane.

ści materii kwantowej tworzącej cząstkę są absolutnie niezwykle. Fizyka klasyczna zupełnie nie nadaje się do jej opisu. Jej zastosowanie daje kompletnie fałszywe wyniki. Na przykład, rozumując klasycznie można by się spodziewać, że ponieważ elektron ma ładunek elektryczny, ten obłok materii ma energię elektrostatyczną związaną z rozkładem przestrzennym ładunku. Tymczasem prawidłowy wzór na energię cząstki (3) takiej energii nie zawiera. Co więcej, nie obserwuje się też ekspansji tego obłoku, która byłaby spowodowana odpychaniem elektrostatycznym różnych jego części jednoimiennie naładowanych³ – tutaj błąd znowu polega na klasycznym spojrzeniu na materię kwantową. Odpychania elektrostatycznego w jednej cząstce nie ma, ale występuje ono między dwoma elektronami. Są to fakty doświadczalne!

Funkcja χ jest tzw. potencjałem prędkości, co znaczy, że prędkość $v(x, t)$ fragmentu cząstki (czyli fragmentu owego obłoku materii kwantowej) w punkcie x w chwili t jest dana wzorem

$$v(x, t) = \frac{\hbar}{m} \frac{\partial \chi}{\partial x} \quad (2)$$

gdzie $\hbar = 1,0546 \cdot 10^{-34}$ J · s jest stałą Plancka. Wartość funkcji v w punkcie x i chwili t nazywamy lokalną prędkością fragmentu cząstki.

Widzimy, że stan naszej jednowymiarowej cząstki kwantowej jest o wiele bogatszy w szczegóły niż stan cząstki klasycznej: dwie funkcje w miejsce dwu liczb. Oznacza to, że cząstka kwantowa ma *a priori* nieskończenie wiele razy więcej możliwości zachowania się pod wpływem danej siły zewnętrznej niż cząstka klasyczna. W szczególności, cząstka kwantowa w danej chwili czasu „czuje” wartości siły w wielu punktach przestrzeni (czyli reaguje na pole siły), podczas gdy cząstka klasyczna odczuwa jedynie siłę w jednym punkcie przestrzeni, tym, w którym cząstka się aktualnie znajduje.

Całkowita energia cząstki w stanie (ρ, χ) jest dana wzorem

$$E = \int dx \left[\frac{m}{2} \rho v^2 + \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial \sqrt{\rho}}{\partial x} \right)^2 + \rho U(x) \right]. \quad (3)$$

Człony pierwszy i ostatni są zgodne z intuicjami klasycznymi, odpowiadają one odpowiednio energii kinetycznej i potencjalnej. Nowością jest człon drugi. Jego kwantowe pochodzenie jest widoczne w tym, że zawiera on stałą Plancka \hbar . Jest on nazywany członem gradientowym. Jego obecność powoduje, że stany ze szybko zmienną (z x -em) funkcją ρ mają na ogół energię większą niż stany, dla których wykres tej funkcji jest płaski. Jeśli chcemy zmniejszyć energię cząstki, należy umożliwić jej rozplątanie się na jak największy fragment osi x , aby

³ Za to występuje ekspansja spowodowana tzw. ciśnieniem kwantowym, zobacz niżej.

energia gradientowa była mała. Oczywiście energetycznie korzystne jest też ulokowanie się w pobliżu minimum potencjału U oraz mała energia kinetyczna.

Zmianę stanu cząstki klasycznej w czasie określa równanie Newtona. Jego odpowiednikiem dla cząstki kwantowej jest równanie Schrödingera (zobacz Dodatek). Rozwiązując to równanie otrzymujemy funkcje ρ, χ dla dowolnego czasu t jeśli tylko znamy je w pewnej dowolnie ustalonej chwili t_0 . Ogólnie, zarówno gęstość cząstki jak i prędkości jej fragmentów mogą zmieniać się z czasem. Dzięki temu w świecie kwantowym możliwe są procesy nieistniejące w świecie klasycznym. Znanym przykładem jest przechodzenie jednej cząstki kwantowej równocześnie przez dwie szczeliny w przegrodzie. Dodajmy, że zwykle przy tym część cząstki w ogóle nie przechodzi tylko się odbija od przegrody. Po jakimś czasie część cząstki znajduje się daleko przed przegrodą, a druga za przegrodą i obie części się od przegrody oddalają. Takie zjawisko jest drastycznie sprzeczne z naszymi, opartymi na mechanice Newtona, wyobrażeniami o ruchu jednej cząstki, niemniej doświadczenia potwierdziły to zjawisko. To rozmiękanie się naszej intuicji z faktami jest spowodowane tym, że zjawiska kwantowe są niesłychanie subtelne. Są one wyraźnie widoczne w wypadku obiektów bardzo małych i nie poddanych zbyt wielu oddziaływaniom – żaden z tych warunków nie jest spełniony w wypadku przedmiotów postrzeganych bezpośrednio naszymi zmysłami.

2.2. Stany stacjonarne

Stan stacjonarny to z definicji stan, w którym gęstość cząstki ρ oraz lokalna prędkość v nie zmieniają się w czasie, mimo działających na cząstkę sił. Zauważmy, iż dla stanu stacjonarnego warunki te nie wykluczają zależności potencjału prędkości χ od czasu. W wypadku cząstki kwantowej żyjącej w świecie jednowymiarowym, stany stacjonarne muszą mieć $v = 0$. Wynika to z faktu, że w takim świecie nie są możliwe wiry, a tylko niezmienny w czasie wir może mieć prędkość $v \neq 0$ i niezależną od czasu gęstość cząstki ρ^4 .

Zacytujmy wyniki dotyczące cząstki zamkniętej na odcinku o długości a i nie poddanej działaniu żadnych sił poza działającymi w punktach końcowych odcinka siłami zawracającymi cząstkę. Możemy więc przyjąć, iż $x \in [0, a]$, $U = 0$ na tym odcinku, $\rho = 0$ w punktach końcowych odcinka. Okazuje się (zobacz np. § 23 w [1]), że cząstka taka ma przeliczalną liczbę stanów stacjonarnych, ponumerowanych liczbą naturalną n , w których

$$\rho_n(x) = A_n \sin^2\left(\pi n \frac{x}{a}\right),$$

⁴ Dodajmy, że nasuwający się tu kontrprzykład, a mianowicie funkcja ρ niezależna od x oraz od t i stała funkcja v różna od 0, jest wykluczony przez warunek (1).

gdzie $n = 1, 2, 3, \dots$ Energia cząstki w n -tym stanie stacjonarnym jest dana wzorem

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}. \quad (4)$$

Aby zobaczyć, jakie są wartości tych energii przyjmijmy, że nasza cząstka znajduje się w pierwszym stanie stacjonarnym. Dla pyłku o masie 10^{-6} g uwięzionego na odcinku o długości $a = 1$ mm, otrzymujemy $E_1 \approx 0,5 \cdot 10^{-52}$ J. Tak małej energii, oczywiście, nie można zmierzyć żadną dostępną dzisiaj metodą. Co więcej, pyłek zwykle znajduje się w środowisku o pewnej niezerowej temperaturze T i jest poddany oddziaływaniom z drobinami je tworzącymi. Aby kwantowe poziomy energii E_n były łatwo widoczne, średnia energia ruchów termicznych wynosząca (orientacyjnie) kT , gdzie k jest stałą Boltzmana, powinna być mniejsza niż odstęp między poziomami. W przeciwnym wypadku cząstka będzie bardzo szybko przeskakiwać między różnymi stanami stacjonarnymi i w efekcie zaobserwujemy jakąś uśrednioną energię E wyraźnie różną od E_1 . Jeśli zaś energia kT jest mniejsza od E_1 , to cząstka będzie długo pozostawać w pierwszym stanie stacjonarnym, a opuszczać go na bardzo krótko, więc jej średnia energia będzie z dobrym przybliżeniem równa E_1 . Warunek $kT < E_1$ daje następujące ograniczenie na temperaturę: $T < 3,5 \cdot 10^{-30}$ K. Nawet jeśli skonstruujemy przyrząd pozwalający mierzyć energię z żadaną dokładnością, to pozostanie problem, jak obniżyć temperaturę otoczenia cząstki – przypomnijmy, że najniższe osiągalne obecnie temperatury są rzędu 10^{-9} K.

Interesujące jest oszacowanie maksymalnej dopuszczalnej temperatury otoczenia w wypadku elektronu. Podstawiając $a = 10^{-2}$ mm i $m = m_e$, co odpowiada elektronowi uwięzionemu w króciutkim druciku z przewodnika, otrzymujemy $E_1 \approx 0,5 \cdot 10^{-34}$ J, a następnie raczej trudne do spełnienia ograniczenie na temperaturę: $T < 3,5 \cdot 10^{-12}$ K. Dla elektronu uwięzionego w jednowymiarowej „kropce kwantowej” mamy $a = 10^{-6}$ cm, co daje $E_1 \approx 0,5 \cdot 10^{-28}$ J oraz $T < 3,5 \cdot 10^{-6}$ K. Ten obszar temperatur jest dostępny eksperymentalnie. Gdy elektron uwięzimy na odcinku o rozmiarze atomu, $a = 10^{-8}$ cm, otrzymujemy $E_1 \approx 0,5 \cdot 10^{-17}$ J oraz $T < 3,5 \cdot 10^5$ K – kwantowe poziomy energii będą widoczne nawet w temperaturach znacznie przekraczających temperaturę łuku elektrycznego (10^4 K).

Wzór (4) pokazuje też, że istnieje tzw. ciśnienie kwantowe. Chodzi o to, że energia E_n rośnie, gdy maleje a . Zatem podczas przesuwania punktu o współrzędnej a , który można uważać za ściankę jednowymiarowego naczynia zawierającego cząstkę, w kierunku punktu o współrzędnej 0 (ten punkt jest drugą ścianką naszego jednowymiarowego naczynia), musimy wykonać dodatnią pracę. Oznacza to, iż cząstka wywiera na ścianki naczynia ciśnienie, tzw. ciśnienie kwantowe.

Właśnie ciśnienie kwantowe jest przyczyną tego, że cząstka w pustej przestrzeni nie ma stanów stacjonarnych, ponieważ przy braku ścianek rozplywa się

ona na całą pustą przestrzeń. Stany stacjonarne powstają, gdy ciśnienie kwantowe jest skompensowane przez jakąś siłę przytrzymującą. Pięknym przykładem równowagi między siłą przytrzymującą a ciśnieniem kwantowym są stany stacjonarne teoretycznego atomu wodoru, tzn. stany stacjonarne elektronu w polu kulombowskim punktowego protonu⁵. Stanów tych jest nieskończenie wiele. W większości z nich obłok materii kwantowej będący elektronem ma skomplikowany kształt. Niektóre, z pewnych powodów zwane stanami bazowymi, wyróżniają się symetrią, mimo dość złożonego kształtu. Przykład mamy na rysunku 1 (str. 49). Przedstawia on tzw. stan 4-2-1 atomu wodoru. W centrum znajduje się punktowe jądro naszego atomu wodoru, niewidoczne na rysunku. Ale to dzięki niemu elektron się nie rozplywa.

2.3. Skwantowany moment pędu

Moment pędu jest wielkością charakteryzującą ruch obrotowy. Aby umożliwić naszej jednowymiarowej cząstce wykonywanie takiego ruchu, umieścimy ją na okręgu o promieniu R . Okazuje się, że stany stacjonarne swobodnej cząstki na okręgu charakteryzują się równomiernym rozłożeniem się jej na całym okręgu,

$$\rho = 1/(2\pi R),$$

a także stałą na całym okręgu szybkością v (zatem każdy punkt „chmurki” ma taką samą szybkość). Pokażemy, że ta szybkość nie może być dowolna!

Z jednej strony mamy wzór (2), w którym x jest teraz odległością wzdłuż okręgu mierzoną od jakiegoś dowolnie wybranego punktu odniesienia, a więc zmienia się w zakresie od 0 do $2\pi R$. Ponieważ wzór (2) mówi, iż przyrost funkcji χ na jednostkę długości jest równy $v m/\hbar$, więc

$$\chi(0) - \chi(2\pi R) = 2\pi R v \frac{m}{\hbar}. \quad (5)$$

Z drugiej strony, ponieważ $x = 0$ oraz $x = 2\pi R$ odpowiadają temu samemu punktowi okręgu, $\chi(0)$ i $\chi(2\pi R)$ nie są całkiem niezależne. Jednakże byłoby błędem przyjęcie, iż muszą one być sobie równe. Prawidłowy jest natomiast słabszy warunek

$$\chi(0) - \chi(2\pi R) = 2\pi n, \quad (6)$$

gdzie n może być dowolną liczbą całkowitą. Jest to związane z tym, że we wzorach dla wielkości mierzalnych w mechanice kwantowej funkcja χ nie występuje bezpośrednio, lecz poprzez $\cos \chi$ i $\sin \chi$. Wzór (2), w którym występuje pochodna $\partial\chi/\partial x$ nie przeczy tej regule, bowiem

$$\frac{\partial\chi}{\partial x} = \cos \chi \frac{\partial \sin \chi}{\partial x} - \sin \chi \frac{\partial \cos \chi}{\partial x}.$$

⁵ Realny atom wodoru ma znacznie bardziej złożoną strukturę. Przyczyn jest wiele, wśród nich niezerowy promień protonu oraz oddziaływanie z kwantowym polem elektromagnetycznym.

W wypadku naszej cząstki na okręgu należy więc żądać by

$$\sin \chi(0) = \sin \chi(2\pi R), \cos \chi(0) = \cos \chi(2\pi R),$$

a to jest równoważne właśnie warunkowi (6). Uwzględniając ten warunek, otrzymujemy ze wzoru (5) że

$$v = \frac{\hbar}{mR} n. \quad (7)$$

Prędkość cząstki poruszającej się po okręgu i znajdującej się w stanie stacjonarnym jest skwantowana (!), bowiem jest ona całkowitą wielokrotnością prędkości $\frac{\hbar}{mR}$, którą można nazwać kwantem prędkości. Za tym idzie skwantowanie momentu pędu M_z tej cząstki: ponieważ $M_z = m v R$, więc

$$M_z = \hbar n.$$

Energia naszej kwantowej cząstki na okręgu w stanie stacjonarnym dana jest wzorem

$$E = 2\pi R \frac{m}{2} f^2 v^2 = \frac{\hbar^2 n^2}{2mR^2} = \frac{M_z^2}{2I},$$

gdzie $I = mR^2$ jest momentem bezwładności cząstki. Zauważmy zgodność ze wzorem znanym z mechaniki klasycznej.

Kwantowanie prędkości cząstki poruszającej się po okręgu jest oczywiście czymś bardzo niezwykłym. W wypadku jednej cząstki efekt ten jest widoczny jedynie w mikroświecie⁶. Wystarczy obliczyć wielkość kwantu prędkości $v_0 = \hbar/mR$ dla różnych wartości m i R . Dla makroskopowych wartości tych parametrów otrzymamy bardzo małą prędkość, np. dla $m = 1$ g; $R = 1$ cm mamy $v_0 \approx 10^{-27}$ cm/s, co oznacza, iż jeden obieg okręgu trwałby około $2 \cdot 10^{20}$ lat, czyli znacznie dłużej niż szacowany wiek Wszechświata. Pomiar prędkości cząstki nie są na tyle dokładne, by wykryć tak małe różnice prędkości cząstki, więc wydaje nam się, że prędkość cząstki może mieć dowolną wartość. Z kolei dla „atomowych” wartości m i R , np. $m = m_e$, $R = 0,5 \cdot 10^{-8}$ cm, otrzymujemy $v_0 \approx 2 \cdot 10^3$ km/s, czyli jeden obieg okręgu trwałby około $1,5 \cdot 10^{-16}$ s. Nic więc dziwnego, że w świecie atomu kwantowanie prędkości jest zjawiskiem dobrze widocznym (choć najczęściej mówi się o związanym z nim kwantowaniu momentu pędu).

⁶ Istnieją jednak układy fizyczne makroskopowe, tj. złożone z wielkiej liczby cząstek mogących poruszać się w trójwymiarowej przestrzeni (a nie tylko po okręgu), w których kwantowanie prędkości również występuje. Na przykład, skwantowana jest prędkość rotacji płynu w wirach w nadciekłym helu i w kondensacie BEC.

3. Pola kwantowe

W miarę poznawania własności kwantowych cząstek pojawiało się coraz więcej faktów, nie dających się wyjaśnić na gruncie teorii tych cząstek, czyli w ramach mechaniki kwantowej. Zaczynijmy od czegoś, co nazywane jest spinem cząstek. Jeszcze w roku 1922, a więc na kilka lat przed powstaniem mechaniki kwantowej odkryto, że elektron posiada dipolowy moment magnetyczny (W. Gerlach, O. Stern). Przez pewien czas wnioskowano następująco: dipolowy moment magnetyczny świadczy o istnieniu prądów wirowych, a te z kolei są obecne, bo najprawdopodobniej elektron jest wirującą, naładowaną elektrycznie kulką. Rozumowanie to jest próbą zastosowania do opisu świata kwantowego rozumowania znanego z klasycznej elektrodynamiki. Nic dziwnego, że szybko wykazano, że nie jest ono poprawne. Prawidłowy, kwantowy opis spinu podali W. Pauli (1927) i P.A.M. Dirac (1928): w funkcji falowej elektronu należy uwzględnić, obok wektora wodzącego \vec{x} punktów zwykłej przestrzeni, tzw. zmienną spinową $\mu = \pm 1/2$:

$$\psi = \psi(\vec{x}, \mu, t).$$

Równoważnie można powiedzieć, iż elektron jest opisywany dwiema funkcjami falowymi: po jednej dla każdej z dwu wartości zmiennej μ . Opis hydrodynamiczny nadal jest możliwy, ale trzeba wprowadzić dodatkowe funkcje oprócz gęstości ρ i potencjału prędkości χ . Pozostaje zagadką, dlaczego istnieją cząstki, do opisu których nie wystarcza jedna funkcja falowa.

Inną zagadkową sprawą jest identyczność cząstek. Na przykład, wszystkie dane eksperymentalne znane obecnie wskazują na to, że elektrony są absolutnie identyczne. Jest to kolejna niesamowita własność materii kwantowej, całkowicie nieobecna w znanym z codziennego doświadczenia klasycznym świecie makroskopowym. Jej konsekwencją są przedziwne własności układu wielu elektronów. Weźmy na przykład prosty układ fizyczny złożony z dwu elektronów. Jest to oczywiście układ kwantowy. Okazuje się, że w stanach czystych tego układu, czyli dających się opisać funkcjami falowymi, owe dwa elektrony stapiają się w jeden obiekt fizyczny, takie „dwaelektrony”. Nie potrafimy w nim wskazać części, która należałaby do jednego elektronu! Pojedynczego elektronu w takim stanie nie da się śledzić. Gdy „złapiemy” jeden z tych elektronów, nie wiemy, który trafił do naszej pułapki. Dwa elektrony w stanie czystym tworzą układ silnie skorelowany, „splątany”, którego nie można rozłożyć na elektron 1 w stanie ψ_1 oraz elektron 2 w stanie ψ_2 ! Zachowanie cząstek w takim stanie wyda się paradoksalne, gdy spróbujemy zinterpretować je niekwantowo.

Kolejną zagadką jest istnienie antycząstek. Chodzi o to, że ewidentnie są one jakoś powiązane z cząstkami, bo mają dokładnie tę samą masę, spin, dipolowy moment magnetyczny, itd. Na przykład, pozyton różni się od elektronu jedynie znakiem ładunku elektrycznego. Coś musi łączyć te cząstki!

Mniej więcej około roku 1970 uznano, że cząstki należy wiązać z obiektami materialnymi zupełnie innego typu niż one same, a mianowicie z polami. Chyba najbardziej znanym przykładem takiego powiązania jest foton i kwantowe pole elektromagnetyczne – to było już wiadome od lat 30. minionego wieku. Znane z elektrodynamiki klasyczne pole elektromagnetyczne jest przybliżeniem do pola kwantowego. Dla wielu zagadnień jest ono wystarczające, ale w przyrodzie istnieje tylko pole kwantowe. Pole wypełnia całą przestrzeń i nie ma określonego kształtu. Posiada ono energię, pęd, moment pędu, itd. Jego istnienie nie jest uzależnione od jakichś cząstek, bądź źródeł. Jak każdy obiekt fizyczny, pole istnieje w każdej chwili czasu w określonym stanie. Właśnie stanami pola kwantowego są cząstki, a także układy wielu identycznych cząstek. Pole może też znajdować się w takich stanach, że liczba cząstek nie jest określona, lub w stanie w ogóle bez cząstek (tzw. stan próżniowy).

W szczególności, fotony są stanami kwantowego pola elektromagnetycznego. Z kolei wszystkie elektrony oraz pozytony we Wszechświecie są związane z jednym polem kwantowym, tzw. polem bispinorowym Diraca! Okazuje się, że w ramach takiego teoriopolowego podejścia do cząstek można wyjaśnić, dlaczego wszystkie elektrony (lub pozytony) są jednakowe, oraz dlaczego elektron i pozyton mają dokładnie równe masy i przeciwne ładunki elektryczne. Podobnie jest z innymi cząstkami fundamentalnymi. Również spin pojawia się w naturalny sposób w powiązaniu z klasyfikacją pól pod względem ich zachowania przy transformacjach czasoprzestrzennych (w tym obrotach). Współczesna fizyka mikroświata jest oparta na teorii pól kwantowych. Niestety, ani doświadczalna, ani teoretyczna fizyka pól kwantowych nie są łatwe.

Podstawowymi obiektami materialnymi są więc pola kwantowe – cząstki są obiektami pochodnymi, a mianowicie pewnymi stanami pola. O materialnym istnieniu pola kwantowego świadczy mnóstwo opartych na tym założeniu obliczeń teoretycznych, które dają wyniki zgodne z obserwacjami. Na przykład, kwantowa teoria pól przewiduje możliwość anihilacji cząstki z jej antycząstką, a także powstawanie nowych cząstek podczas ich zderzeń. Wszystkie te nietrywialne procesy to nic innego, jak zmiany stanów pól kwantowych.

Jeszcze jednym argumentem za istnieniem pól kwantowych, w tym wypadku kwantowego pola elektromagnetycznego, jest efekt Casimira. Polega on na tym, że dwie równoległe, nienaładowane płyty z dobrze przewodzącego materiału, umieszczone w przestrzeni w której nie ma żadnych cząstek, przyciągają się z siłą znacznie większą niż siła przyciągania grawitacyjnego! Siłę tę obliczono w ramach teorii pól kwantowych i zmierzono. Przyczyną jej pojawienia się jest fakt, że przestrzeń nie jest pusta, lecz wypełnia ją kwantowe pole elektromagnetyczne, które w pobliżu płyt znajduje się w stanie próżni. Obecność płyt ma wpływ na postać stanu próżni kwantowego pola elektromagnetycznego. Im bliżej są płyty, tym mniejszą energię ma pole elektromagnetyczne w tym stanie.

Efekt ten jest mocnym argumentem za istnieniem w przyrodzie kwantowego pola elektromagnetycznego, a nie tylko układów fotonów.

4. Konkluzje

1. Zjawiska kwantowe są faktem przyrodniczym. Często są one całkowicie sprzeczne z naszą intuicją fizyczną, ale to tylko dodaje im atrakcyjności w oczach badaczy. Dzięki pracy pokoleń fizyków poznaliśmy szczegółowo własności świata kwantowego. Obecnie ta wiedza jest coraz szerzej wykorzystywana w technice.

2. Według współczesnej fizyki, świat materialny jest zbudowany z pól kwantowych. Są to najbardziej podstawowe elementy materii znane obecnie. Pozostało jednak wiele zagadek do rozwikłania. Na przykład, dlaczego wielu pól matematycznie możliwych nie obserwujemy w przyrodzie? Inną wielką zagadką jest pytanie, czy wprowadzone przez Einsteina pole grawitacyjne też ma naturę kwantową, podobnie jak np. pole elektromagnetyczne, czy może jest ono jedynie pewnym klasycznym przybliżeniem do większej i jeszcze nieznannej teorii kwantowej.

5. Dodatek

Funkcja falowa jednowymiarowej cząstki ma postać

$$\psi(x, t) = f(x, t) [\cos \chi(x, t) + i \sin \chi(x, t)] = f e^{i\chi}, \quad f = \sqrt{\rho},$$

gdzie x jest kartezyjską współrzędną punktu w 1-wymiarowej przestrzeni. Stanom fizycznym, tzn. realizowalnym w przyrodzie, odpowiadają gładkie funkcje f, χ zmiennych t oraz x .

Równania ruchu cząstki nierelatywistycznej, tzn. gdy $v \ll c \approx 3 \cdot 10^{10}$ cm/s, mają postać

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho v)}{\partial x}, \quad \rho = f^2, \quad (8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{m} \frac{\partial U}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\hbar^2}{2m^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\sqrt{\rho}} \frac{\partial^2 \sqrt{\rho}}{\partial x^2} \right), \quad (9)$$

gdzie U jest energią potencjalną. To ostatnie równanie obowiązuje dla x, t takich, że $f \neq 0$. Równania te można wyprowadzić z równania Schrödingera

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + U(x, t) \psi(x, t). \quad (10)$$

Jak widać, równanie (10) dla funkcji falowej jest dużo prostsze niż dwa równania (8), (9). To dlatego w literaturze dotyczącej mechaniki kwantowej

preferowana jest właśnie funkcja falowa i równanie Schrödingera, a nie opis hydrodynamiczny.

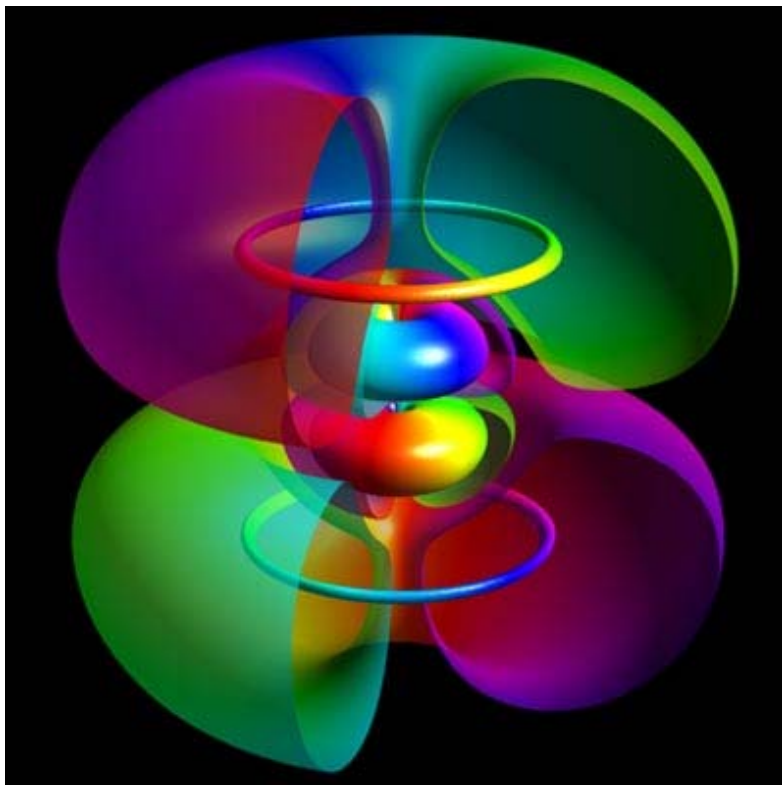
Ciśnienie kwantowe, o którym wspominam w artykule, jest blisko związane z relacją nieoznaczoności dla położenia i pędu cząstki.

Literatura

- [1] I. Białynicki-Birula, M. Cieplak, J. Kaminski, *Teoria kwantów. Mechanika falowa*, PWN, Warszawa 2001.
- [2] B. Thaller, *Visual Quantum Mechanics*, Springer, 2004.
- [3] R. Penrose, *Droga do rzeczywistości*. Prószyński i S-ka, 2006.

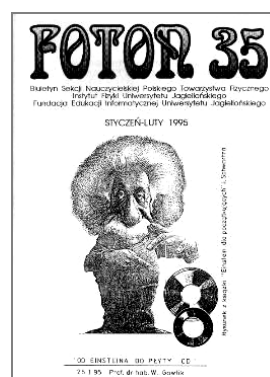
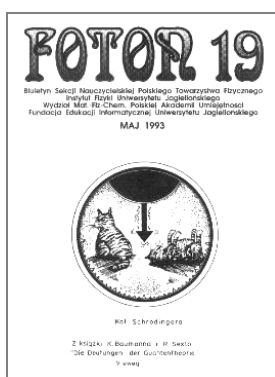
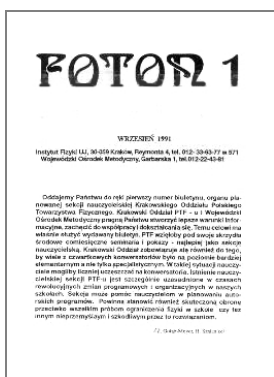
Prof. dr hab. Henryk Arodź jest kierownikiem Zakładu Teorii Pola w Instytucie Fizyki UJ. Jest autorem książki (wspólnie z K. Rościszewskim), podręcznika *Algebra i geometria analityczna w zadaniach* (Wyd. Znak). Na zdjęciu demonstruje solitony przedszkolakom w Zakopanem



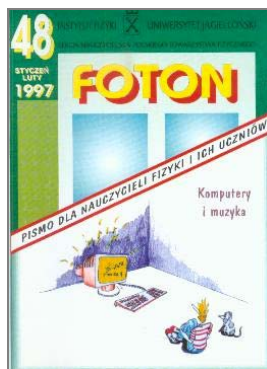
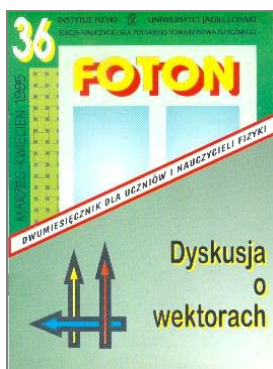


Rysunek 1. Wizualizacja komputerowa stanu 4-2-1 atomu wodoru, zamieszczona na stronie <http://vqm.uni-graz.at> i wykorzystana za zgodą jej autora Berndta Thallera. Na widocznych powierzchniach gęstość elektronu ρ ma stałą wartość. Kolor jest związany z wartością potencjału prędkości χ . Wiele ilustracji zjawisk kwantowych można znaleźć też w [2]

Metamorfoza *Fotonu* na przestrzeni 16 lat



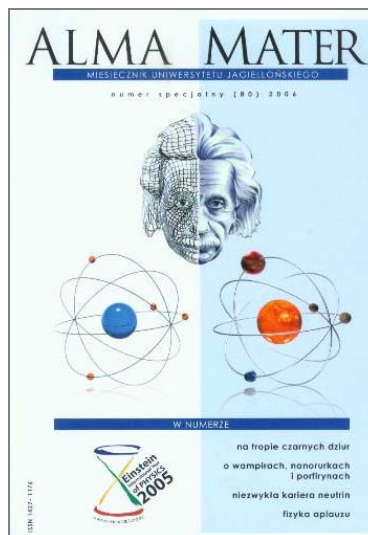
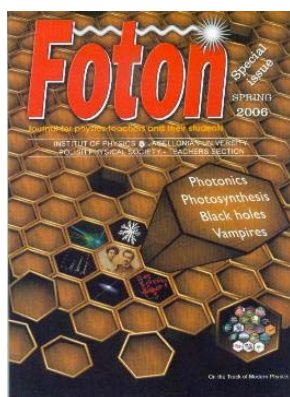
W 1991 założono Sekcję Nauczycielską PTF i powstał *Foton* (biuletyn Sekcji), redagowany przez Zofię Gołąb-Meyer i Henryka Szaleńca; wkrótce dołączyli Wojciech Blicharski (student), Leszek Motyka (doktorant) i Ewa Salach.



W roku 1995 do Redakcji dołączyli Barbara Warczak, Mariusz Sadzikowski, Andrzej Dyrek, Jacek Turnau; *Foton* zmienił swoje oblicze.

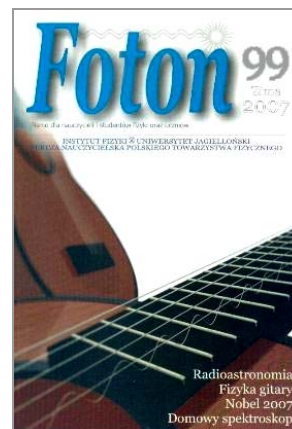
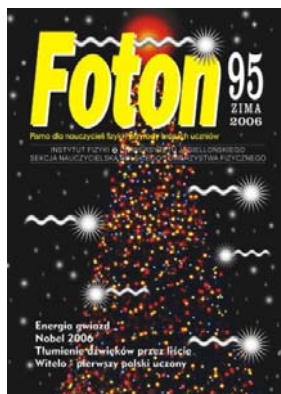
Rok 2002 – do Redakcji wstąpił Anna Dohnalik i Paweł Góra, rok 2003 – Katarzyna Cieślak (doktorantka).

Redakcyjną przygodę z *Fotonem* mieli też: Wiesław Mroszczyk, Maria Pawłowska, a nad poprawnością językową czuwała redaktor Krystyna Dulińska.

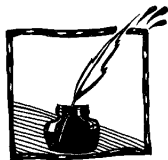


Rok 2006 – Redakcja wydała zeszyt tematyczny w języku angielskim oraz współredagowała Alma Mater.

NAJNOWSZA ERA FOTONU



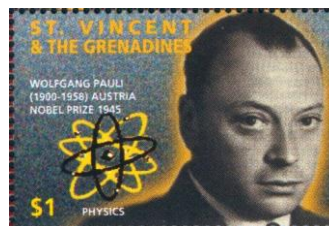
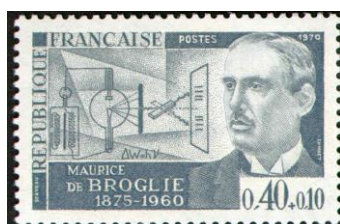
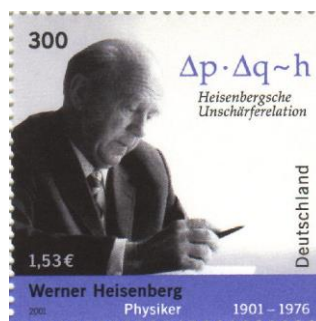
Obecny skład Redakcji: Zofia Gołąb-Meyer, Jacek Bieroń, Katarzyna Cieślar, Anna Gagatek, Paweł Góra, Jerzy Karczmarczuk, Dagmara Sokołowska, Wiesław Zajiczek (doktorant).



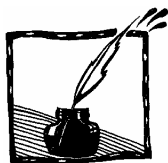
Obraz atomu i jego twórcy na znaczkach z kolekcji Jerzego Bartkego

Jerzy Bartke

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków



Jerzy Bartke jest emerytowanym profesorem w Instytucie Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN w Krakowie. Zajmuje się fizyką doświadczalną cząstek elementarnych. Badania prowadzi m.in. w CERN-ie.



Grzeczni chłopcy z dobrych domów dokonali rewolucji w fizyce XX wieku

Zofia Gołąb-Meyer

Od czasów filozofa i historyka Thomasa Kuhna (J.S. Kuhn, *Struktura rewolucji naukowych*) przyjęło się uważać odkrycie mechaniki kwantowej za rewolucję w fizyce. Rewolucja ta, dokonana na początku XX wieku, wydarzyła się w momencie, gdy fizyka święciła triumfy, wysforowała się na pierwsze miejsce wśród nauk przyrodniczych, cieszyła się wielką estymą. I chociaż była uprawiana na wielu uniwersytetach europejskich, w Ameryce i Azji, to jednak pozostawała nauką elitarną. Spis fizyków, matematyków i astronomów z całego świata, wydany w 1905 roku zawiera 1290 nazwisk fizyków, włączając w to nauczycieli gimnazjalnych (Andrzej Kajetan Wróblewski, *Historia Fizyki*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2006). Panowała opinia, że niewiele ciekawego zostało w fizyce do zrobienia. Max Planck wspomina:

Kiedy rozpoczynałem studia fizyczne i u mego czcigodnego nauczyciela Philippa von Jolly'ego zasięgałem opinii na temat warunków i perspektyw moich studiów, przedstawił mi on fizykę jako naukę wysoko rozwiniętą, prawie całkowicie dojrzałą, która po ukoronowaniu jej osiągnięć przez odkrycie zasady zachowania energii miała już wkrótce przyjąć ostateczną postać. Wprawdzie w tym czy innym zakątku pozostaje jeszcze do zbadania i usunięcia jakiś pyłek czy pęcherzyk, ale jeśli chodzi o system jako całość, to jest on dość zabezpieczony, a fizyka teoretyczna wyraźnie zbliża się do osiągnięcia takiej doskonałości, jaka od stuleci jest właściwa geometrii.

Jak wiemy, na pięknie zbudowanym gmachu fizyki XIX-wiecznej pokazały się rysy, które wyzwoliły rewolucję kwantową. Proponuję przyjrzenie się ludziom, którzy tę rewolucję zrobili. Okazuje się, że byli to – w dużym uproszczeniu, jednakowoż oddającym istotę rzeczy – nadzwyczaj starannie wychowani i wyedukowani grzeczni chłopcy z dobrych domów, absolwenci doskonałych szkół. Koniec wieku XIX dorobił się klasy akademików, ludzi parających się nauką zawodowo i stabilnie finansowanych przez państwo. Również nauczyciele gimnazjalni w większości nie byli już zbiorem rozmaitych indywiduów.

Analiza życiorysów uczonych działających na początku XX wieku pokazuje, że na ogół pochodzili oni z domów, nieraz od wielu pokoleń, akademickich czy nauczycielskich. Ród Bohrów to swoisty rekord. Niels Bohr był piątym pokoleniem nauczycieli. Jego ojciec był profesorem medycyny i poważnie kandydował do Nagrody Nobla za badania własności hemoglobiny. Wszyscy przyszli uczeni znajdowali w rodzinie oparcie dla swoich intelektualnych przygód. Ponadto był to czas, w którym zaczęto zwracać uwagę na rozwój dzieci, zarówno intelektualny, jak i fizyczny. Pokolenie rewolucjonistów było zdrowo odżywia-

ne, wysportowane, otrzymało wykształcenie klasyczne, literackie i muzyczne. Grywali na instrumentach (powszechnie znane przypadki to Planck, Einstein, Born, Heisenberg). Z wszelką pewnością, nie byli to fachowcy o wąskiej specjalizacji, przygotowani do jednego zadania, ale byli to ludzie o szerokich horyzontach, które zawdzięczali domowi i szkole.

Przyjrzymy się życiorysom najważniejszych osób rewolucji w fizyce XX wieku, od seniora w tej grupie Maxa Plancka począwszy, a na Diracu skończywszy.

Życiorys Marii Skłodowskiej-Curie jest powszechnie znany i pasuje on do wzorca dobrego domu z tradycjami intelektualnymi (ojciec nauczyciel fizyki). Życiorys Einsteina, przekazywany przez mass media sugeruje, iż nie miał Einstein okazji do uczęszczania do dobrych szkół. A tymczasem przeciwnie, zarówno gimnazjum w Monachium, w którym się faktycznie przedwcześnie rozbudzony intelektualnie Einstein dusił, ale jednak pozwolono mu na coś w rodzaju indywidualnego toku nauczania, jak i doskonała i nowoczesna szkoła kantonalna w Aarau w Szwajcarii, dowodzą czego innego. To w Aarau Einstein nawiązał pierwsze intelektualne przyjaźnie, ważne dla niego na całe życie.

O ile wczesne lata dzieciństwa Skłodowskiej, Einsteina oraz ich rówieśnika wiedeńczyka Ehrenfesta były prawie cieplarniane, to już jednak lata szkolne były pewnego rodzaju szkołą życia. Wszyscy oni mieli oparcie w rodzinie. Ehrenfest, syn ubogiego sklepikarza, miał dużo starszego brata inżyniera, który czuwał nad jego edukacją (podobnie jak z biegunowo innego domu, arystokrata księżę de Broglie dorastał pod opiekuńczym okiem brata Maurice'a – także fizyka).

Otwierający listę rewolucjonistów, noblista Max Planck, jest typowym przedstawiicielem tej grupy. Urodził się w Kilonii, wtedy jeszcze duńskiej, w rodzinie od dwóch pokoleń akademickiej, jako szóste dziecko. Został posłany do najlepszej szkoły w Monachium, dokąd jego rodzina się przeprowadziła. Studia rozpoczął w Monachium i następnie błyskawicznie (typowe; podobnie później Pauli, de Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Born, Dirac) potoczyła się jego kariera naukowa i akademicka. Planck był również bardzo utalentowany muzycznie i brał pod uwagę karierę artystyczną.

Grupa naszych rewolucjonistów nie jest jednak jednorodna. Znajdują się w niej rozmaite typy ludzkie, o różnych życiorysach. Luis de Broglie, księżę, beniaminek rodziny, do szkoły uczęszczał tylko trzy lata. Ścieżkę do nauki przetaił mu już o wiele starszy brat, który zanim zaczął parać się nauką, odsłużył 9 lat w marynarce francuskiej.

Urodzony we Wiedniu Erwin Schrödinger, którego ojciec i dziadek (profesor) byli chemikami, głównie był chowany przez matkę i ciotki. One stworzyły mu cieplarniane warunki do ogólnej edukacji.

Imię i nazwisko	Lata życia i miejsce urodzenia	Rodzice, rodzina	Szkoła	Uniwersytet	Nagroda Nobla
Max Planck	1858–1947 Kilonia	ojciec profesor, dziadek profesor	Gimnazjum Maximiliana w Monachium	Monachium, Berlin błyskawiczna kariera naukowa	1918 kwanty energii
Maria Skłodowska-Curie	1867–1934 Warszawa	ojciec Władysław nauczyciel fizyki, starsze rodzeństwo wspierające, wuj profesor	pensja dla panien w W-wie, praktyka i lekcje w muzeum przemysłowym	latające kursy Sorbona	1903 – promieniotwórczość 1911 – rad i polon
Albert Einstein	1879–1955 Ulm	stryj inżynier elektryk	Gimnazjum Luitpolda w Monachium (realne) kantonalna szkoła w Aarau w Szwajcarii	ETH Zurych	1921 efekt fotoelektryczny
Max Born	1882–1970 Wrocław	ojciec profesor uniwersytetu anatom i embriolog Gustaw Born	Gimnazjum im. Króla Wilhelma we Wrocławiu	Wrocław, Heidelberg, Zurych	1954 interpretacja MK
Niels Bohr	1885–1962 Kopenhaga	ojciec profesor medycyny, pięć pokoleń nauczycielskich, ciotka fizyk, brat matematyk	Gammelholm Grammar School	Uniwersytet w Kopenhadze	1922 model atomu
Erwin Schrödinger	1887–1961 Wiedeń Erdberg	ocietek chemik, dziadek profesor chemii	Gimnazjum Akademickie	Wiedeń	1933 falowe sformułowanie MK
Luis de Broglie	1892–1987 Dieppe (Seine Inférieure)	książę starszy brat Maurycy – znany fizyk	Lycée Janson of Saily – trzy ostatnie lata szkoły, wcześniej prywatni korepetytorzy	Sorbona, prywatne laboratorium brata	1929 dualizm falowo-korpuskularny
Wolfgang Pauli	1900–1958 Praga	ojciec Wolf Pachales, zamożny ojciec chrzestny Ernst Mach, prof. fizyki w Pradze	Doeblinger gimnazjum w Wiedniu	Monachium, ekspresowa kariera naukowa! w 1921 doktorat	1945 Zakaz Pauliego
Werner Heisenberg	1901–1976 Würtzburg	ojciec August, profesor bizantynistyki	Gimnazjum Maximiliana w Monachium	Monachium, Getynga, ekspresowa kariera, w 1923 doktorat	1932 sformułowanie macierzowe MK
Paul Dirac	1902–1984 Bristol	ojciec, nauczyciel francuskiego	Merchant Venturer's Secondary School, Bristol	Bristol, Cambridge w 1926 doktorat	1933 relatywistyczna MK

MK – mechanika kwantowa

Aby zilustrować środowisko domowe „naszych” fizyków przypominamy Państwu artykuł o ojcu Heisenberga (*Foton* 19/1993). Aby dać obraz szkoły krajów niemieckojęzycznych załączamy artykuł o gimnazjum Maximiliana w Monachium (*Foton* 8/1992).

Gimnazjum to niewiele różniło się od innych solidnych gimnazjów wiedeńskich, dość dobrze opisanych w literaturze, zwłaszcza niemieckojęzycznej. Wiedeń był pod koniec XIX wieku metropolią, ośrodkiem fermentu w nauce i kulturze.

Tu ludzie kończyli szkoły, często buntując się i nienawidząc jej sztywnych ram (Kafka, Feyerabend). Przyszli fizycy wychodzili z tych szkół z solidnym wykształceniem ogólnym.

Podsumowując, rewolucjoniści natrafili na wszystkie sprzyjające rozwojowi i wykształceniu warunki, czyli

- 1/ talent, wrodzoną pasję badawczą, ogromne ambicje,
- 2/ wspierającą rodzinę; na ogół brak kłopotów materialnych (Skłodowska – wyjątek),
- 3/ doskonałe warunki do wykształcenia, najlepsze szkoły, prywatne lekcje; wysokiej klasy nauczyciele, koledzy – partnerzy intelektualni,
- 4/ szybka kariera akademicka, praca naukowa już w bardzo młodym wieku!

O Auguście Heisenbergu, ojcu Wernera Heisenberga,

Werner Heisenberg był nie tylko wybitnym fizykiem, któremu udało się wnieść znaczący wkład w rozwój mechaniki kwantowej – był również wybitną osobowością. Dla wielu ludzi poparcie, jakiego udzielił nazistowskiej władzy swą aktywnością (a nawet samą obecnością w programie badań) stanowiło zagadkę. I chociaż publicznie głosił niezależność nauki od polityki, to był jednak klasycznym *homo politicus*. Jego osobowość niewątpliwie ukształtowały dom rodzinny i szkoła – w tym wypadku stanowiące i oddziałujące jak spójna całość.

Ojciec Heisenberga, Kaspar Ernst August, oraz dziadek ze strony matki, Mikołaj Wecklein, byli typowymi przedstawicielami niemieckiej profesury, inteligencji. Ojciec Heisenberga August urodził się w Osnabrücku w 1869 roku w rodzinie rzemieślniczej (ślusarstwo). August został wysłany do gimnazjum – wymagało to specjalnej decyzji, a następnie wysiłku i poparcia całej rodziny. W rodzinie rzemieślniczej kariera akademicka oznaczała awans społeczny. Okres dojrzewania Augusta przypadł na czasy Bismarcka, które zawsze później idealizował, i które stanowiły punkt odniesienia dla innych czasów. August nie zawiódł nadziei rodziny, studiował w Monachium języki klasyczne, jeden z bardziej prestiżowych przedmiotów, by w końcu w 1910 roku objąć w Monachium jedyną w Niemczech katedrę bizantynistyki. Droga do tej katedry była dość typowa. Po ukończeniu studiów i po zdaniu państwowych egzaminów nauczycielskich rozpoczął nauczanie łaciny i greki w prestiżowym gimnazjum

Maximiliana, którego rektorem był jego przyszły teść (też typowa sytuacja) Mikołaj Wecklein. Przed ślubem z Anną nauczał greki i łaciny w gimnazjum w Lindau. Gromadził środki finansowe na ożenek oraz materiały naukowe do pracy doktorskiej. Przyszły teść, gdy już zdecydował się oddać Heisenbergowi rękę córki Anny, załatwił mu posadę w liceum Luitpolda (gimnazjum Einsteina). Po uzyskaniu zgody na ślub (Heisenberg był urzędnikiem państwowym, panna młoda musiała uzyskać coś w rodzaju świadectwa moralności), zmianie wyznania poprzez pannę młodą (na ewangelickie) i ślubie, państwo młodzi przenieśli się do Würzburga, gdzie August dzięki protekcji teścia dostał posadę w gimnazjum, i gdzie miał nadzieję na habilitację (po nieudanej próbie w Monachium). Habilitował się w 1901 roku, na trzy tygodnie przed urodzeniem drugiego syna Wernera. Niezależnie od zajęć w gimnazjum miał wykłady na uniwersytecie i prowadził badania naukowe. Zapewniał rodzinie dostatnie i spokojne życie.

Żona Anna, choć bez wyższego wykształcenia, poświęcała czas nie tylko domowi, lecz także na poprawy klasówek i robienie mężowi notatek i tłumaczeń. W tym celu nauczyła się rosyjskiego. Był to typowy dom patriarchalny, rządził w nim ojciec, którego wszyscy się bali (przynajmniej synowie). Był człowiekiem porywczym. Dużo pracował w domu. Czuwał nad wykształceniem synów. Organizował im rozwijające i kształcące zabawy, np. szachy. Wszelkiego rodzaju gry intelektualne miały kształcić umysł i rozwijać ducha rywalizacji. Pobudzał braci do stałego współzawodnictwa. To być może spowodowało, iż bracia w zasadzie pozostali do końca życia w konflikcie. To chyba było też przyczyną, iż Werner zawsze chciał w grupach rówieśniczych dowodzić, być najlepszym (rekompensata sytuacji rodzinnej). W szkole, na studiach Werner był liderem grup młodzieżowych (o nacjonalistycznym odcieniu).

Ojciec zadbał również o wykształcenie muzyczne synów. Dużo z nimi sam muzykował (śpiewał). Takie cechy jak pracowitość, rzetelność, pewna asceza, umiłowanie przyrody oraz patriotyzm, by nie rzec nacjonalizm, Werner Heisenberg wyniósł z domu; to się wpajało zarówno w domu, jak i w szkole. August całe życie żywo interesował się postępami, a później karierą synów, a zwłaszcza Wernera, który robił wymarzoną karierę akademicką.

Werner już w szkole cieszył się opinią cudownego dziecka, z którą wstąpił na uniwersytet monachijski. August Heisenberg ułatwił synowi wybór kierunku studiów przez spotkania z profesorami – młody Heisenberg wahał się czy wybrać matematykę, czy fizykę. August był bardzo zawiedziony mizernym rezultatem egzaminu doktorskiego syna.

August uważał się za liberała. Jeśli idzie o stosunek do religii, to rzeczywiście był liberałem. Tak jak znakomita większość inteligencji, z entuzjazmem przyjął wybuch pierwszej wojny światowej i przez parę miesięcy służył w armii. Rodzina w tym czasie przebywała w Osnabrücku, gdzie dyskutowano z dziećmi problemy polityczne. August Heisenberg nie podpisał osławionego manifestu

niemieckich intelektualistów (usprawiedliwiającego niemiecką agresję jako obronę wartości kulturalnych) tylko dlatego, że był już w armii. Jednym z nielicznych, którzy nie podpisali manifestu, był Einstein (był to początek późniejszych napaści na Einsteina). Po wojnie August Heisenberg aktywnie demonstrował swe antyproletariackie poglądy, które przejął już prawie dorosły (rok 1919) syn Werner, walczący w Monachium z czerwonym terrorem. Nacjonalizm Werner przejął od ojca. Te nacjonalistyczne poglądy inteligencji i młodzieży zostały potem wykorzystane przez Hitlera, którego te grupy poparły.

Wenera łączyły z ojcem dość chłodne stosunki, ciepło miał od matki. Wydaje się jednak, że to osobowość ojca ukształtowała Wenera. Werner Heisenberg raz do roku, w rocznicę śmierci ojca poświęcał jego pamięci list do matki.



August Heisenberg z synami

Szkoła Wenera Heisenberga – Gimnazjum Maksymiliana w Monachium

W 1911 roku, kiedy Wenera Heisenberga zapisano do Gimnazjum Maksymiliana, szkoła ta, pod rządami dyrektora Mikołaja Weckleina cieszyła się dużą renomą. (...) Wśród długiej listy osobistości uczęszczających do tej szkoły znajdujemy także Maxa Plancka. Rektor gimnazjum, Wecklein, dokładał starań by zapewnić wysoki poziom grona nauczycielskiego. Szkoła była oczywiście płatna i nie było rejonizacji. Szkoła przyciągała elitę zamieszkałą w Schwabingu, zamożnej dzielnicy Monachium. Dzieci pochodziły głównie z wyższej warstwy średniej i chociaż szkoła dysponowała skromnymi stypendiami, to jednak niewielu uczniów z tego korzystało.

Spośród 37 uczniów przyjętych w 1911 roku do klasy 1A razem z Wenerem Heisenbergiem, 19 miało ojców z tytułem „Königlicher...” (królewski). Tak

więc spośród 37 ojców było 11 prawników lub urzędników państwowych, 8 profesorów i 5 oficerów. Pozostałych 13 to przedstawiciele klasy średniej, biznesmeni (4), rzemieślnicy (4), fabrykanci (3) i artyści (2).

Na 576 uczniów (chłopców) przypadło 44 nauczycieli (sami mężczyźni). Pod względem wielkości Gimnazjum Maksymiliana plasowało się na drugim miejscu po Gimnazjum Luitpolda (szkoła Einsteina).

Programy gimnazjum były zatwierdzone na całą Bawarię dekretem Ministerstwa Spraw Wewnętrznych. Nawet po reformie w 1914 roku główne cele edukacji w gimnazjach pozostały niezmienione, a mianowicie: edukacja na bazie etyki chrześcijańskiej w duchu patriotyzmu i przygotowania do kariery akademickiej (na drugim miejscu).

Przez pierwsze trzy lata Werner Heisenberg miał głównie łacinę (8 godzin) i matematykę (4). Greka startowała w czwartej klasie – 6 godzin tygodniowo. Fizyka – trzy lata później i tylko 2 godziny w tygodniu. W ostatniej klasie Heisenberg czytał w oryginale Horacego, Tacyta, Homera, Sofoklesa i Platona. Testy z fizyki zawierały głównie mechanikę klasyczną.

Zawartość programowa była wybitnie akademicka. Czteroletni okres I wojny światowej zakłócił normalny przebieg szkoły. Wprawdzie oficjalnie przedmioty ściśle były w programach mało akcentowane, to jednak w praktyce zainteresowanie uczniów tymi przedmiotami było duże. Zaczynał się okres rozwoju technologicznego i cesarz popierał i promował badania naukowe i techniczne. Przed gimnazjalistami otworzyły się perspektywy nowych karier. Z 41 uczniów kończących gimnazjum równocześnie z Heisenbergiem, 20 zamierzało poświęcić się karierze w nauce, technice lub medycynie. Inne obierane zawody to bankowość (7) i armia (5). Zaledwie jeden uczeń obrał kierunek humanistyczny, a mianowicie archeologię.

W gimnazjum humanistycznym uczniowie zainteresowani przedmiotami ścisłymi mieli warunki, by je rozwijać. Po przebudowie gimnazjum – wyposażone w laboratoria przyrodnicze – było najbardziej nowoczesnym w Monachium. Nauczyciele wykładali zwykle po dwa przedmioty, np. nauczyciele matematyki uczyli też fizyki, podsuwając już wcześniej zdolniejszym i bardziej zaawansowanym uczniom problemy z fizyki. Tak czynił nauczyciel Heisenberga – Profesor Christoph Wolff. Wywarł on wielki wpływ na rozwój młodego ucznia. (...) Wolff nie miał wprawdzie doktoratu, ale był cenionym nauczycielem. W 1910 roku otrzymał tytuł „Königlicher Studienrat”.

Na podstawie książki Davida C. Cassidy *Uncertainty, The life and science of Werner Heisenberg*, W.H. Freeman and Company, NY 1992.

<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Heisenberg.html>



Garść wspomnień starego redaktora

Adam Strzałkowski

Instytut Fizyki UJ

Setny numer czasopisma, to piękny Jubileusz! Pani Redaktor Dr Zofii Gołąb-Meyer składam serdeczne gratulacje i życzenia na przyszłość, dołączając garść wspomnień:

Na początku lat 50. redaktorem *URANII*, organu Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii, był mój przyjaciel Profesor Stefan Piotrowski. Pomagałem mu w tych pracach redakcyjnych i sporo pisałem artykułów do *URANII*. Gdy Stefan przenosił się później do Warszawy, przejąłem na pewien czas po nim tę redakcję.

Inaczej przed pół wiekiem wyglądała praca redaktora. Podobnie jak teraz, zaczynała się od wymyślenia tematów artykułów i wynajdowania autorów. Potem po spłynięciu do redakcji tekstów zaczynała się praca redakcyjna, czytania i poprawiania tekstów – nawet czasem błędów ortograficznych. Tak to odbywa się i teraz. Ale dalsza część pracy redaktora była zupełnie inna, związana z odmienną techniką druku. *URANIA* drukowana była w Drukarni Związkowej na ul. Mikołajskiej w Krakowie. Zaangażowanie redaktora w te prace drukarskie zaczynały się od przygotowania ilustracji, dobrania ich formatu, zamówienia klisz w zakładach cynkograficznych poza drukarnią. Tymczasem drukarnia składała tekst na linotypach. Gdy odbitki szczotkowe z klisz z ilustracjami i z tekstu dotarły do rąk redaktora, musiał on przeprowadzić pierwszą korektę, a następnie przy użyciu nożyczek i kleju, sporządzić makietę numeru. Należało zdecydować o kolejności artykułów, rozmieścić w tekście ilustracje, zdecydować w przypadku małych obrazków, czy i jak je obskładać, lub – jak to mówili zecerzy – „oblać” tekstem. Ot, taka zabawa w wycinanki. Potem redaktor musiał często dużą część dnia spędzić w drukarni przy łamaniu numeru. Było to konieczne, aby w przypadku jakichś nieprzewidzianych trudności technicznych podjąć na miejscu merytoryczną decyzję. Muszę powiedzieć, że lubiłem tę robotę. Zafascynowany patrzyłem, jak metranpaż, czyli zecer łamiący numer, ręcznie składał kawałki tekstu oblewające ilustracje. Błyskawicznie pobierał czcionki z kaszty i zestawiał je w linijki tekstu.

A potem na odbitce szczotkowej jeszcze ostatnia korekta już złamanego numeru i ... nie, nie to co Państwo myślicie! Wcale jeszcze nie można było drukować. Działała wtedy cenzura, której do akceptacji należało przedłożyć gotowy już skład. Interwencje cenzury były niekiedy irytujące, ale czasem i zabawne. Kiedyś Eustachy Białoborski w artykule o pracy Gen. Józefa Bema o rakietach zacytował jej pełny tytuł:

Doświadczenia nad rakietami zapalającymi, typu Congreve, zebrane do roku 1819 w Królewskiej Polskiej Artylerii i przekazane do wiadomości Jego Cesarskiej Wysokości Wielkiego Księcia Konstantego, Naczelnego Wodza wszystkich Królewskich Polskich Wojsk, przez Józefa Bema.

Cenzorowi Wielki Książę Konstanty zbyt się kojarzył z aktualnym wodzem Wojsk Polski Ludowej Konstantym Rokossowskim i nie chciał nam tego cytatu puścić. Kontakty z cenzurą zostawiałem sekretarzowi redakcji Dr Strzemboszowi, jak większość Strzemboszków w historii noszącemu imię Tomasz. Był prawnikiem i jakoś sobie dawał radę z cenzorami. I w tym przypadku jakoś cenzora przekonał.

Jednak specjalistą od robienia „w konia” cenzora był Profesor Michał Kamiński. Był znakomitym specjalistą od komet i częstym autorem w *URANII*. W swoim artykule o powrotach komety Haleya napisał zdanie:

Wiadomo, że patriarcha Abraham był współczesny królowi Hammurabimu... I zacytował:

W.J. Awdijew : Istoria drewno Wostoka.

W żadnym wydawnictwie radzieckim nie można było pisać o postaciach biblijnych jako historycznych, zapytałem więc zdumiony:

- *Panie Profesorze, czy naprawdę Awdijew napisał o patriarsze Abrahamie?*
- *Oczywiście, nie!* – padała odpowiedź – *Napisał o Hammurabim.*

Ale z cenzorem nie było już kłopotów, gdy zacytowany był uczony radziecki.

Przed okresem mojego redaktorowania sam dużo pisywałem do *URANII*. Potem jakoś przestałem. Uważałem zapewne, że mnie samemu jako redaktorowi nie wypada zapełniać szpalt redagowanego czasopisma swoimi artykułami. Gdy potem wyjeżdżałem na dłuższy pobyt zagranicę, a redakcję obejmował po mnie Andrzej Kajetan Wróblewski, napisałem mu list z radami. Niedawno Prof. A.K. Wróblewski przypominał mi, że najważniejszą z tych rad było, aby sam nie przestał pisywać do *URANII*. Uważałem to zatem za swój błąd. Mój następcą do rady tej się zastosował.



Dwaj redaktorzy *URANII* w latach 50.– po prawej Stefan Piotrowski po lewej jego następcą Adam Strzałkowski

Prof. dr hab. Adam Strzałkowski, jeden z nestorów krakowskiej fizyki, emerytowany profesor Zakładu Fizyki Jądrowej w IF UJ i IFJ, członek PAN i PAU. Jest autorem książki *O siłach rządzących światem* (PWN 1996).



Znaczenie prostych jakościowych doświadczeń w nauczaniu fizyki

Alfred Pflug

Technische Universität Dortmund

Referat wygłoszony na Konferencji GIREP w Skofja Loka, 1992 (*Foton* 21/1992).

1. Ukryte przesłanie w nauczaniu fizyki

Nauczając fizyki w szkole lub na uniwersytecie musimy być świadomi, że ogólne wyobrażenia, jakie nasi uczniowie i studenci nabywają poprzez naszą działalność w klasach, czy salach wykładowych są bardzo często zdeterminowane poprzez pewne *ukryte przesłanie*, z którego w większości przypadków nawet nie zdajemy sobie sprawy, dlatego więc w ogólności nie jesteśmy zdolni do rozważnego jego kontrolowania. W rezultacie istnieje pewne ryzyko, że standardowy sposób uczenia może tworzyć w umysłach uczniów pewien obraz reprezentowanej nauki, obraz dominujący i trwały, podczas gdy my sądzymy, że poprzez proste poznanie i racjonalne informacje trafiamy bezpośrednio do analitycznie zorganizowanych lewych półkul mózgowych naszych uczniów.

Nawet jeśli fizyk profesjonalista ma osobiste przeświadczenie o tym, że jego własna dyscyplina jest trójwymiarowym, żywym organizmem, budzącym się i wzrastającym złotym drzewem życia, nie będzie on automatycznie tworzył takiego samego jakościowego obrazu fizyki w duszach swoich uczniów i studentów, kiedy po prostu przekazuje wiedzę w zwykłym procesie nauczania opartym na standardowym wyposażeniu jak podręczniki, pokazy itp., ponieważ to ostatnie można znaleźć tylko w klasach i na salach wykładowych, ale nigdy w codziennym życiu. Podobnie jak mieszkańcy jaskini Platona, młodzi ludzie mogą wynieść ze szkół i uniwersytetów trwałe wyobrażenie na temat „wyglądu” drzewa fizyki w postaci szarych i płaskich, dwuwymiarowych cieni rzucanych przez to drzewo w różnych kierunkach w przestrzeni je otaczającej. Te przeciwne kierunki są zwykle charakteryzowane przez dwa uzupełniające się, ale niesamowystarczalne podejścia do fizyki nauczanej

- wzory matematyczne (np. $S = \frac{gt^2}{2}$ lub $E = mc^2$)
- przyrządy, aparatura (np. spadkownica Atwooda dla swobodnego spadku)

Obydwa te podejścia wydają się być zawężone przez ich specyficzne przeznaczenie do bardzo ograniczonego obszaru ważności i stosowalności. Zamiast opisywać rzeczywistość, manipuluje się nimi poprzez wyrafinowane,

ale sztuczne konstrukcje, nie mające związku z żadnym elementem doświadczeń nabywanych w zwykłym, codziennym życiu.

Są to zaledwie artefakty mądrości szkolnych, stworzone do funkcjonowania jedynie w pracowniach fizycznych i odtwarzania kapryśnych pomysłów nauczycieli i autorów podręczników – rzeczy, których nie ma ani w niebie, ani na ziemi. Znaczenia fizyczne wzorów są w wielu wypadkach głęboko pogrzebane pod ich matematyczną postacią, to jest charakterystycznym układem wybranych liter, który jest odtwarzany przez rodzaj mechanizmu Pawłowa i służy jedynie jako hasło na egzaminach, ale nie można go stosować w żadnej sytuacji codziennego życia.

2. Zamknięte drzwi do Twierdzy Fizyki

Dieter Nachtigall z uniwersytetu w Dortmundzie określił fizykę jako rodzaj wiedzy dostępnej jedynie dla ekspertów, ale której drzwi są zamknięte dla laika, w szczególności ucznia, czy studenta. Sądząc po średnim kursie w szkole czy na uniwersytecie, ktoś mógłby nawet odnieść wrażenie, że w wielu przypadkach próbując wkroczyć do Twierdzy Fizyki człowiek może czuć się jak w piekle Dantego, gdzie nad głównym wejściem widnieje napis „Porzućcie wszelką nadzieję ci, którzy tu wstępujecie” (*Lasciate ogni speranza voi ch' entrate*).

Fizyczna Twierdza ma kilka zamkniętych głównych drzwi, które jedynie ekspertom pozwalają wejść do wnętrza, zmuszając zwykle laików do pozostania na zewnątrz. Każde z tych wejść jest scharakteryzowane przez odmienny sposób selekcji ekspertów, ze względu na ich zdolność do biegłego, abstrakcyjnego rozumowania oraz wysoki poziom odporności psychicznej (odporność na niepowodzenie wysiłków). Ponieważ standardowym modelem takiej procedury wyławiania intelektualnej arystokracji (eksperci „*Taminos*”) ze zwykłych ludzi z ulicy (laicy „*Papagenos*”) jest „Czarodziejski Flet” Mozarta i Schikanedera, gdzie wolnomasoński liczbowy symbol trzy gra kluczową rolę (np. trzyskładnikowy akord w uwerturze, trzy damy, trzech chłopców, Tarnino pukający do trzech zamkniętych drzwi w świątyni Sorato itd.), my chcemy wyspecyfikować trzy typy barier, które muszą pokonać ci, którzy chcą dostać się do wnętrza Twierdzy Fizyki:

- (krypto)matematyczna struktura (równania i wzory)
- pojawianie się tzw. czarnych skrzynek (eksperymentalna niejasność)
- dogmatyczne sformułowania (aksjomaty i prawa)

Rola matematyki w fizyce jest doprawdy bardzo dwuznaczna. Jak most zwodzony powinna ona dawać łatwy i bezpieczny wstęp do Twierdzy Fizyki bez intelektualnych pułapek, ale w większości przypadków jest ona raczej jak głęboka fosa wypełniona zamuloną wodą, która broni wszystkim wstępu do świętego świata fizyków, jeśli wcześniej nie uczyli się latać, czy, ostatecznie, pływać. Metody matematyczne rzucone jak koło ratunkowe w morze błędów przez ekspertów – mieszkańców twierdzy, przekształciły się w bardzo ryzy-

kowe narzędzie ratunkowe w sytuacjach praktycznych, trudne do uchwycenia przez tonących. Bezpieczeństwo matematyki jest wątpliwe i nie posiada zdrowych podstaw. Pomaga uniknąć pomyłek, ale niekoniecznie będzie gwarantować głębszy wgląd w fizyczny problem. W dodatku matematyka jest zwykle wprowadzana do fizyki przez nieuczciwą strategię oszukiwania: startując od doświadczeń i obserwacji prawie wszystkie lekcje fizyki kończą się liczbami, wzorami i równaniami.

Galileusz sugeruje, że księga natury jest napisana w języku matematyki (*Il libro della natura e scritto in lingua matematica*), ale to może być nic więcej jak pewna antropomorficzna projekcja tego wielkiego ojca fizyki. Matematyka, będąca tradycyjnie już od starożytności dyscypliną akademicką, może jedynie **opisywać związki** (które mogą być niejawne i zręcznie oraz „rygorystycznie” wyprowadzane z fundamentalnych równań przy użyciu kontrolowanych przybliżeń), ale jest to niezależne od **objaśnienia** fundamentalnych praw natury. W nauczaniu fizyki matematyka powinna grać rolę dodatku do rzeczywistego doświadczenia i konkretnych działań bez klasyfikowania pustej przestrzeni oraz rozumowania z góry i przed wypełnieniem jej materią.

Konwencjonalne doświadczenia szkolne z fizyki są zwykle przygotowane przy wykorzystaniu specjalnych środków i urządzeń przeznaczonych jedynie do pokazania izolowanego efektu przejrzycie i precyzyjnie, wyłączwszy wszystkie zakłócenia, które mogłyby uczynić wynik mniej pokazowym i trudnym do uchwycenia. W konsekwencji uczniowie objaśniają funkcjonowanie tego rodzaju aparatury poprzez jej bardzo wyrafinowaną konstrukcję. Ich zdaniem te rzeczy działają, ponieważ zostały wykonane specjalnie do pracy w tak specyficzny sposób. Ogólne prawa natury mogą i powinny być studiowane z pomocą zwykłych obiektów życia codziennego, a nie przyrządów poświęconych konkretnemu doświadczeniu.

Jeżeli warunki eksperymentalne w pracowniach fizycznych i laboratoriach byłyby dopasowane do indywidualnych predyspozycji uczniów i studentów, a więc typ i rodzaj przyrządów do studiowania fizyki i pokazów fizycznych odnosiłby się jakoś do sytuacji z ich codziennego życia, wtedy przepaść między naukami przyrodniczymi i humanistycznymi – jak opisuje to fizyk i filozof C.P. Snow – prawdopodobnie zmniejszałaby się z pokolenia na pokolenie.

Ten kryzys nowoczesnej cywilizacji scharakteryzowany przez konflikt pomiędzy ekonomią a ekologią, który polaryzuje życie zachodnich uprzemysłowionych społeczności, może być spowodowany fundamentalną rywalizacją pomiędzy nauką i humanistyką. Jeśliby te dwa kamienie węgielne naszej kultury mogły iść razem w harmonii i wolności, szansa zastąpienia ślepej strategii lokalnej – optymalizacji przemysłu – szerszą koncepcją globalnego kompromisu, wzrosłaby drastycznie z korzyścią dla nas wszystkich.

Od wydania dzieła *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* Izaaka Newtona w 1687 roku, które jest biblią Mechaniki Klasycznej, stało się modne

formułowanie fundamentalnych poglądów na temat struktury Natury w stylu Elementów Euklidesa, a więc używając definicji, aksjomatów, lematów czy twierdzeń. Jest to pospolita wiara w to, że logika matematyki jest jedynym kluczem do zamkniętych drzwi Twierdzy Fizyki.

Ernst Mach napisał we wstępie do swojego słynnego austriackiego podręcznika *Grundriss der Naturlehre für die oberen Klassen*¹ (Tempksi und Freytag, Prag, Wien, Leipzig) w lutym 1891, że takie podejście jest korzystne jedynie dla jego autora, ale w większości przypadków nie pomoże studentom wejść łatwiej do Twierdzy Fizyki. Początkujący nie są zwykle zdolni z góry uznać i docenić znaczenia i użyteczności ostro zdefiniowanych pojęć i koncepcji (przed zdobyciem swoich własnych, osobistych doświadczeń).

Użycie **logicznego** zamiast **psychologicznego** podejścia do fizyki może nawet odstraszyć naszych uczniów od głębszego rozumienia tej dyscypliny, ponieważ formalna ścieżka niezgodna z podstawowymi zasadami ich indywidualnego toku poznawczego skończy się naprzeciwko zamkniętych drzwi Twierdzy Fizycznej otwierających się jedynie przed tymi, którzy podadzą poprawne formalnie hasło. Działanie selekcyjne tego ostatniego jest często usprawiedliwione sugestią, że nie jest to jakaś arbitralna konwencja, ale reprezentuje tzw. Prawo Natury.

Podczas gdy człowiek tworzy prawo odbijające hierarchię ogólnych wartości przyjętych przez społeczeństwa w jakimś obszarze przestrzeni i czasu, prawa natury wykazujące ciągłą ewolucję wywołaną ważnymi społecznymi zmianami, wydają się być wiecznie ważne dla całego Wszechświata. Jawią się one oszłomionemu obcemu jako fundament twierdzy, z której idą wszystkie inne korytarze, ale do której można wejść tylko przekraczając główne drzwi frontowe, nad którymi jest napisane: „Wstęp określony prawem”.

Mała grupa specjalistów, którzy są zdolni do wejścia do wnętrza przez wypowiedzenie słownego, poprawnego kodu rozpoznają później, że wychodząc na wyższy poziom, przekroczywszy drzwi odpowiadające jakimś prawom, otrzymują sprzeczność z poprzednimi: relatywistyczne prawo uniwersalnej prędkości propagacji pól jest na przykład w pełnej sprzeczności z podstawową newtonowską hipotezą o uniwersalności i absolutności przestrzeni i czasu, która jest fundamentem mechaniki klasycznej, itp.

3. Boczne wejście do Twierdzy Fizyki dla zwykłych ludzi (uczniów, studentów, laików, amatorów etc.)

Edukacja fizyczna w szkołach jest bardzo często oceniana poprzez badanie, czy zostały osiągnięte krótkowzroczne cele takie jak: umiejętności odpowiadania na specjalne pytania czy rozwiązywanie wybranych problemów, które w sposób zaplanowany prowadzą do określonych odpowiedzi.

¹ Wstęp do nauk przyrodniczych dla klas ogólnych.

Jeśli nasze nauczanie fizyki ma mieć długotrwały efekt w działaniu i sposobie myślenia naszych uczniów w ich przyszłym dorosłym życiu, powinniśmy raczej pomóc im stać się amatorami tj. miłośnikami fizyki, aniżeli profesjonalistami, ponieważ przytłaczająca większość z nich nie będzie korzystała z fizyki w swoim przyszłym życiu, pracując na utrzymanie.

Rodzaj ludzki musi odbudować w swoim istnieniu pewną harmonię z naturą zagubioną w okresie rewolucji przemysłowej. Oczywiście cel ten może być osiągnięty, jeśli podstawowe prawa fizyki, jak zasada zachowania energii i produkcja entropii, określą myślenie i działalność polityków i przemysłowców. Z tego wynika, że fizyka jako specyficzny pogląd na świat, jako umiejętność patrzenia na nasze ziemskie środowisko musi przenikać także ich osobiste życie, aby dali godny zaufania przykład społeczeństwu. Jedyne sposoby osiągnięcia tego celu polega na otwarciu nowych drzwi do Twierdzy Fizyki, które mają charakter bocznych wejść i mogą stanąć otworem dla laików i amatorów, w naszym przypadku uczniów i studentów. Te boczne wejścia, odległe od bramy głównej, są prawdopodobnie niedostrzegane przez ekspertów. Sprecyzujmy dwa różne typy tych ukrytych bramek

- drzwi otwierane ręcznie (*hands-on door*)
- drzwi–niespodzianki

Potwierdzono w wielu badaniach dotyczących nauczania fizyki, że uczniowie i studenci będą z większym prawdopodobieństwem pamiętali i stosowali te wiadomości, których byli uczeni, czyli uczyli się przy wykorzystaniu różnych form przekazu i zdobywania wiedzy. Równocześnie najważniejsze są doświadczenia własne, wykonywane bez nakazu, bez z góry określonego celu i strategii.

Szansa przeniesienia aktywności klasowej na działania w codziennym życiu wzrasta znacząco, jeśli zestawy eksperymentalne nie są jakieś specjalne, ale wzięte z codziennego życia. Nie jest dziwnym, że we wszystkich szkołach zestawy odtwarzają wiedzę szkolną, ponieważ zostały one wykonane jedynie w tym celu. Zapomina się, że przedmioty użytku codziennego otwierają możliwość ilustracji szerokiego zastosowania podstawowych praw fizycznych, które ważne są w warunkach życia codziennego.

O ile spotykane przez uczniów znane im warunki będą prowadziły do piagetowskiej asymilacji ich doświadczenia, o tyle element zaskoczenia może wywołać konflikt poznawczy i przyspieszyć proces przystosowywania się do nowego schematu poznawczego. W dodatku wszystkie nieoczekiwane zdarzenia będą pobudzać ludzi do dalszych poszukiwań, ponieważ to wywołuje poczucie zaciekawienia, które jest obok miłości, lenistwa i pragnienia posiadania władzy jednym z najważniejszych motywów ludzkiej działalności. Niespodzianka jest jak uderzenie w bęben mogące obudzić uczniów poddanych wzrastającej liczbie wpływów pozaszkolnych, które mogą być groźne dla ich fizycznego i psychicznego zdrowia.

Viktor Weisskopf w swojej *Cudownej Książce* opisał to odwieczne ludzkie pragnienie wydobywania się z oceanu niewiedzy, niepewności i strachu po prostu przez wzrost oświecającej wiedzy.

4. Od kuchennego wyposażenia do zasad natury i uczenia się przez manipulowanie i zabawę

Zawężmy teraz naszą dyskusję do krótkiego, wybiórczego i nieuporządkowanego wyboru i raczej niekompetentnej prezentacji niezbyt kosztownych, czy nawet nie niekosztujących doświadczeń wykonywanych przy wykorzystaniu zwykłych codziennych przedmiotów

- *Leniwa Deska:*
Pod ciężką deską, w którą wbija się gwóźdź, można bezpiecznie wsadzić rękę położoną na deszczulce z wystającymi do góry gwoździami (jak „łoże fakira”). Przy wbijaniu gwoździ wprawdzie jest duży przekaz pędu, ale energii – znikomy (o ile deska ma dużo większą masę od młotka).
- *Doskonały Kelner Manipuluje Grawitacją:*
Taca, na której stoi szklanka wypełniona wodą, wisi na trzech sznurach. Jeśli rozkołyszymy tacę trzymając drugi koniec podparcia tak, aby sznurki były ciągle mocno naprężone, woda nie wyleje się ze szklanki, niezależnie od tego, jaki ruch wykonuje taca: chwilowe przyspieszenie tacy jest zawsze równoległe do kierunku sznurków i wskazuje w stronę trzymającej ręki, ponieważ sznurki umożliwiają pociągnięcia, ale nie ściskanie czy pchanie. Tak więc „efektywna” grawitacja, którą „czuje” woda zawsze wskazuje prostopadle, w dół, do tacy. Stąd powierzchnia wody pozostaje równoległa do powierzchni tacy.
- *Wyścig mydelniczek po pochyłym torze:*
Po nachylonej desce spuszcza się z tej samej wysokości różne przedmioty o symetrii cylindrycznej, które będą się staczać po desce. Zachęcamy publiczność do zakładów, który przedmiot pierwszy minie metę. Wyjaśniamy obrazowo (radialny rozkład masy), iż wynik zależy od momentu bezwładności przedmiotu (walec szybszy od rury, kula szybsza od sfery itp.).
- *Jedwabny Szal jako Analizator Widma:*
Jeśli popatrzymy na włókno czystej, świecącej żarówki przez delikatny szal jedwabny z dużej odległości (w przybliżeniu 10 metrów lub więcej), widzimy wielokrotny obraz jasnego włókna rozłożony nad punktami dwuwymiarowej prostokątnej sieci. „Bezpośredni” obraz (na osi optycznej) jest biały i ma maksymalną jasność, podczas gdy intensywność przesuniętych obrazów maleje z odległością od osi obserwacji. Te słabsze obrazy są szersze od centralnego i w rzeczywistości zawierają całą sekwencję kolorów, gdzie niebieski znajduje się w pobliżu osi, a czerwony po przeciwnej stronie pokazując maksymalne odchylenie. Zwiększając odległość od włókna żarówki, sieć

zdaje się rosnać proporcjonalnie w obydwu kierunkach, co dowodzi, że wielowłóknisty (wieloprażkowy) „obiekt” pojawia się pod stałym kątem obserwacji. Przechylając szal stała sieci „obiekty” będzie rosnać tylko w kierunku przechylenia, podczas gdy prostopadła do niego pozostanie stała. Ponieważ przechylony szal wydaje się mieć mniejszą odległość linii w kierunku przesunięcia, sieć uformowana przez obrazy włókna żarówki jest podobna do siatki szalika, a więc jest rodzajem diagramu dyfrakcyjnego Lauego dla szala.

Literatura

- Robert Ehrlich, *Turning the World Inside Out*, Princeton University Press, Princeton 1990.
- Brenda Walpole, *Fun with Science, Experiments, Tricks, Things to Make*, Grisewood and Dempsey, London 1987.
- G.D. Freier, F.J. Andersen, *A Demonstration Handbook for Physics*, American Association of Physics Teachers, College Park 1981.
- Kevin Goldstein-Jackson, *Experiments with everyday objects*, Souvenir Press, London 1976.
- I.K. Kikoin, *Experimentieren als Spielerei*, Spektrum Verlag, Heidelberg 1991.
- Norbert Treitz, *Spiele mit Physik*, Harri Deutsch, Thun, Frankfurt/Main 1991.
- Josef Wittmann, *Trickskiste*, Beyerischer Schulbuchverlag, München 1986.

Tłum. Rafał Leszczyński

Alfred Pflug, wiedeńczyk, obecnie profesor fizyki Uniwersytetu Technicznego w Dortmundzie, kierownik Katedry Dydaktyki Fizyki. Zajmuje się metodami nauczania fizyki współczesnej (*Elementarisierung*).





„Brakująca” masa

Sergej Faletič^{1,2} i Gorazd Planinšič¹

¹ *Faculteta za matematiko in fiziko, Univerzi v Ljubljani, Slovenija*

² *Srednja šola Josipa Jurčiča, Ivančna Gorica, Slovenija*

Doświadczenie życia codziennego uczy nas, że masa (uzyskiwana poprzez ważenie) jest wielkością addytywną. Jeżeli stanę na wadze, trzymając krzesło w rękę, wartość odczytana na podziałce będzie równa sumie wartości, które byłyby wskazywane oddzielnie dla mnie i dla krzesła. Opisane poniżej doświadczenie pokazuje jawny paradoks związany z tym mniemaniem i pozostawia miejsce do dyskusji. Aby go przeprowadzić, potrzebne będą następujące rzeczy:

- zwykły balonik używany na przyjęciach (tzw. balony wodne są zbyt małe)
- mała pompka, która wykorzystuje naboje ze sprężonym powietrzem; używaliśmy nabojów zawierających 16 g CO₂ (zgodnie z napisem na etykiecie); pompkę można zastąpić pastylkami musującymi, jak opisano w przypisie
- waga o dokładności 1g lub lepszej
- termometr i przyrząd do pomiaru ciśnienia (opcjonalnie)

Plan doświadczenia jest następujący:

Na początku odczytujemy wskazanie wagi dla pustego balonika m_{bal} i wskazanie dla pompy zawierającej wypełniony gazem nabój m_{pomp} .

Następnie za pomocą pompy przepompowujemy cały gaz z naboju do balonika i zdejmujemy balonik, zabezpieczając wylot supłem. Wtedy możemy sprawdzić wskazanie wagi dla wypełnionego gazem balonika m_{bal}' i wskazanie wagi dla pompy zawierającej pusty nabój m_{pomp}' .

Ostatecznie chcemy stwierdzić, czy w doświadczeniu masa jest zachowana, sprawdzamy więc, czy przyrost masy balonika jest równy masie wpompowanego gazu:

$$m_{bal}' - m_{bal} = m_{gaz},$$

gdzie

$$m_{gaz} = m_{pomp} - m_{pomp}'.$$

Oczekujemy zgodności na poziomie podwójnej dokładności wagi. Poszczególne etapy pomiaru pokazane są na rys. 1.



(a)



(b)



(c)



(d)

Rys. 1. Cztery etapy pomiaru: a) masa pustego balonika, b) masa pompy z pełnym nabojem, c) masa pompy i pustego naboju (umieszczonego wewnątrz pompy) d) masa napelnionego balonika

Otrzymaliśmy następujące rezultaty,

$$m_{bal} = 3,4 \text{ g}$$

$$m_{pomp} = 126,9 \text{ g}$$

$$m_{bal}' = 9,0 \text{ g}$$

$$m_{pomp}' = 111,1 \text{ g} \geq m_{gaz} = 15,8 \text{ g}$$

I tu pojawia się niespodzianka: $m_{bal}' - m_{bal} = 5,6 \text{ g}!$

Zmierzony przyrost masy balonika jest o ok. 10 g mniejszy od oczekiwanego! Gdzie popełniliśmy błąd? Zmiana masy pompy z nabojem ($m_{pomp} - m_{pomp}'$) wyniosła 15,8 g, co jest zgodne z napisem na etykiecie (16 g). Spodziewamy się, że zaszedł jakiś proces albo zjawisko, którego nie uwzględniliśmy, a które jest odpowiedzialne za jawny ubytek masy. Ktoś może podejrzewać, że brakujące 10 g gazu uszło do pomieszczenia podczas pompowania, ale trudno uwierzyć, że nie zauważylibyśmy uchodzenia ponad połowy początkowej ilości gazu. Dokładna kontrola pompy i dodatkowe środki ostrożności takie jak zaciśnięcie wylotu balonika linką upewniły nas, że to nie był upływ gazu.

Pora więc na nowo zweryfikować postulat, zgodnie z którym: $m_{w\ \acute{s}rodka} = m_{pe\acute{t}ny} - m_{pusty}$. W końcu czyż nie jest prawdą, że jeśli wypełnimy balonik helem, to nie tylko, że nie będzie on cięższy niż gdyby był pusty, ale stanie się lżejszy i zacznie się wznosić. Zatem powyższy postulat nie jest prawdziwy. Jeśli wypełnimy czymś balonik, zwiększamy w ten sposób masę całości, zatem to, co pokazywane było na skali wagi nie było tak naprawdę masą. Zatem co pokazywała waga? Dochodzimy do wniosku, że była to siła, którą dany obiekt działał na wagę. Najczęściej jest ona z zadowalającą dokładnością równa co do wartości sile oddziaływania grawitacyjnego pomiędzy Ziemią a przedmiotem. Czasami jednak takie przybliżenie zawodzi.

Brakująca masa znaleziona

Przykładowo, jeśli ważymy ciało zanurzone wraz z wagą w wodzie, otrzymamy siłę, która jest znacząco mniejsza od ciężaru ciała. Jest to spowodowane istnieniem dodatkowej siły wyporu. Siła wyporu jest konsekwencją różnicy ciśnień otaczającego płynu (gazu lub cieczy) pomiędzy najwyższymi i najniższymi punktami ciała. Jej wartość można obliczyć ze wzoru

$$F_b = \rho_f gV$$

gdzie V jest objętością ciała, ρ_f jest gęstością otaczającego płynu, a g to przyspieszenie ziemskie. Siła wyporu działa przeciwnie do siły ciężkości, której wartość można wyrazić wzorem

$$F_g = \rho_o gV$$

gdzie V jest nadal objętością ciała, zaś ρ_o oznacza jego gęstość. Tak więc efektywny ciężar ciała co do wartości jest różnicą tych dwóch sił, która jest proporcjonalna do różnicy gęstości:

$$F_{eff} = F_g - F_b = Vg(\rho_o - \rho_f)$$

Ponieważ gęstość gazu CO_2 jest porównywalna z gęstością powietrza, efekty związane z wyporem nie są zanedbywalnie małe.

Tak więc prawidłowa interpretacja „masy” wskazywanej przez wagę jest następująca:

$$m_{bal}' = m_{bal} + m_{gaz} - \frac{F_b}{g},$$

gdzie F_b oznacza, jak poprzednio, wartość siły wyporu. Aby obliczyć F_b , musimy znać objętość balonika z gazem. Możemy jednak odwrócić problem, tzn. obliczyć objętość wypełnionego balonika na podstawie wskazań wagi, które znamy. Zrobimy tak, ponieważ objętość balonika może być obliczona co naj-

mniej dwoma innymi sposobami. Na końcu porównamy wartości objętości wyznaczone różnymi sposobami i jeśli będą zgodne, to potwierdzi się słuszność naszego rozumowania.

Z ostatniego równania i wyrażenia na F_b otrzymujemy

$$V_{bal} = \frac{m_{bal} + m_{gaz} - m_{bal}'}{\rho_f},$$

gdzie ρ_f jest gęstością powietrza ($1,20 \text{ kg/m}^3$). Korzystając z wyników naszych pomiarów, dostajemy

$$V_{bal} = 8,5 \text{ dm}^3.$$

Obliczymy następnie objętość balonika dwoma innymi sposobami.

Wyznaczenie objętości balonika

Załóżmy, że kształt powierzchni balonika można przybliżyć elipsoidą. Możemy zmierzyć promienie, umieszczając balonik pomiędzy dwiema równoległymi ściankami (np. pomiędzy dwoma pudełkami od butów) i mierząc odległość między nimi. Zakładamy, że dwa równikowe promienie a i b są w przybliżeniu równe, zaś promień biegunowy c musi być zmierzony oddzielnie. Objętość balonika obliczamy ze wzoru na objętość elipsoidy

$$V = \frac{4\pi}{3} abc.$$

W naszym przypadku zmierzaliśmy $2a = 2b = 24 \text{ cm}$ i $2c = 28 \text{ cm}$, co daje objętość

$$V_{bal} = 8,4 \text{ dm}^3.$$

Objętość balonika z równania stanu gazu doskonałego

Jednym ze sposobów na wyznaczenie objętości balonika jest wykorzystanie równania stanu gazu doskonałego:

$$V = \frac{m}{pM} RT.$$

Aby otrzymać objętość, musimy zmierzyć temperaturę i ciśnienie gazu wewnątrz balonika, podczas gdy masa i masa molowa gazu CO_2 są znane ($m = 15,8 \text{ g}$ w naszym przypadku i $M = 44 \text{ kg/kmol}$). Po napełnieniu balonika odczekaliśmy ok. 10 min, aby się upewnić, że temperatura gazu wewnątrz jest równa temperaturze pokojowej (w naszym przypadku $T = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$). Ciśnienie można zmierzyć za pomocą odpowiedniego przyrządu, ale jeśli nie jest on dostępny, można przyjąć ciśnienie atmosferyczne jako dobre przybliżenie

(okazuje się, że ciśnienie wewnątrz balonika jest tylko o 5% większe od ciśnienia atmosferycznego). W naszym przypadku zmierzaliśmy wartość $p = 101,6$ kPa. Korzystając z tych danych, wyliczamy z równania stanu:

$$V_{bal} = 8,6 \text{ dm}^3.$$

Wnioski

Jak pokazano powyżej, trzy wartości objętości balonika zgadzają się bardzo dobrze. Przekonuje nas to o tym, że nasze zrozumienie fizyki tego zagadnienia było poprawne (na poziomie elementarnym). Pokazuje również zgodność wniosków uzyskanych różnymi drogami.

Pozostaje jeszcze jeden problem. Nie chcemy uwolnić CO_2 do atmosfery – i tak jest go tam za dużo. Co więc można zrobić? Możesz poprosić nauczyciela chemii, aby zorganizował doświadczenie, w którym wykorzysta balon wypełniony CO_2 , aby pokazać znane reakcje dwutlenku węgla i wody wapiennej.

Przypis

Jeżeli nie dysponujesz pompką i nabojami z CO_2 , możesz użyć tabletki musującej (zazwyczaj witaminy) która wrzucona do wody uwalnia dwutlenek węgla. W tym przypadku należy wlać trochę wody do balonika i pokruszyć tabletkę na mniejsze kawałki, aby mogły przejść przez wylot balonika. Następnie wystarczy porównać wskazania wagi dla pustego balonika, tabletek i wody ze wskazaniem dla całości na końcu doświadczenia.

Tłum. WZ

Gorazd Planinšič jest profesorem fizyki na uniwersytecie w Lublanie, zajmuje się własnościami cienkich warstw metali, kieruje Zakładem Dydaktyki Fizyki, jest sekretarzem generalnym GIREP.



Sergej Faletič jest nauczycielem fizyki w szkole średniej w Ivančnej Goricy oraz pracownikiem uniwersytetu w Lublanie.



KĄCIK ZADAŃ

Odgłosy z jaskini (8) Zjawisko odrzutu

Adam Smólski

I Społeczne LO w Warszawie

Zjawisko odrzutu podczas przygotowywania lwiątkowych zestawów występuje stale i wciąż. Zadania odrzucamy z różnych powodów, najczęściej po negatywnych opiniach recenzentów. Bywa, że wątpliwości powstają już w samym Komitecie Organizacyjnym. Na przykład, co jednych śmieszy, innych zniesmacza. Tak było w zeszłym roku z zadaniem, którego nie mogę odżalować. Brzmiało:

Ziemia krąży wokół Słońca

A. 1 dobę, B. 1 tydzień, C. 1 miesiąc, D. 1 rok, E. ok. 4,5 miliarda lat.

Mnie śmieszyło. Nie wymyśliłem go sam, podpatrzyłem w pewnych „materiałach dydaktycznych”, gdzie nie miało, jak się Państwo domyślają, odpowiedzi E. Wpadało ją dopisać jako poprawną.

Zdarza się także, że zadania nie tyle odrzucamy, co wycofujemy w imię ułatwiania zestawów, choć uczestnicy „Lwiątka” zapewne powiedzą, że marnie nam to ułatwianie wychodzi. Bywa, że jakieś ładne zadanie „spada” z roku na rok, a niekiedy z ciężkim sercem musimy uznać, że jest w ogóle za trudne i do „Lwiątka” nie nada się nigdy. Tak się stało z moim ulubionym zadaniem ze szczególnej teorii względności. Już nie trzeba go utajniać, więc je publikuję. W treści są szczegóły sugerujące, że było szykowane na konkurs w 2008 roku:

Z Ziemi wystrzelono pojazd międzygwiazdny. Dla obserwatora na Ziemi, w chwili, gdy zegar w pojeździe pokazuje godz. 8:00, 31 marca 2008, pojazd jest odległy o 100 mln km i oddala się od Ziemi z prędkością 0,6c. Dla obserwatora w pojeździe, w tej samej chwili (tj. gdy zegar w pojeździe pokazuje godz. 8:00, 31 marca 2008) Ziemia znajduje się w odległości

A. 80 mln km,

B. 100 mln km,

C. 125 mln km,

D. Pytanie jest źle postawione - nie wiadomo, co to znaczy „w tej samej chwili”, bo czas jest względny,

E. Odpowiedź zależy od tego, jaką prędkość pojazd miał wcześniej.

Poprawna jest odpowiedź E, co może być pewnym zaskoczeniem. Warto więc podane odpowiedzi rozważyć dokładniej.

Na pierwszy rzut oka kusząca wydaje się odpowiedź D. Czas, wiadomo, jest względny i rzeczywiście nie byłoby wiadomo, co to znaczy „w tej samej chwili”, gdyby nie to, że w zadaniu wyjaśniono sens tego sformułowania. W tej samej chwili, to znaczy równocześnie z tym samym zdarzeniem w czasoprzestrzeni. Oczywiście w sensie równoczesności względem wybranego układu odniesienia – raz Ziemi, a raz pojazdu. Wybór układu odniesienia jest wyraźnie dokonywany: „dla obserwatora na Ziemi...”, „dla obserwatora w pojeździe”. Zatem nie tu jest pies pogrzebany.

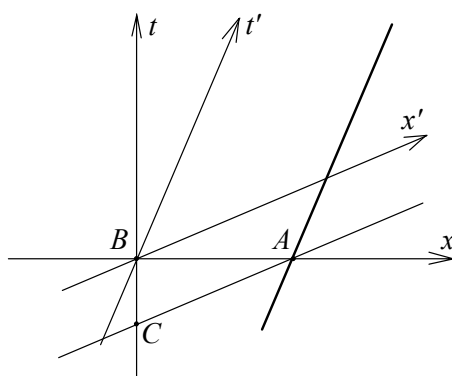
Więc pewnie A lub C. Coś się lorentzowsko skraca, ale co i względem czego? Aby nie korzystać z gotowych wyników, dokonajmy rutynowej analizy przyrostów czasu i odległości w różnych układach odniesienia.

Układy odniesienia Ziemi i pojazdu wyznaczają w czasoprzestrzeni układy współrzędnych odpowiednio (t, x, y, z) i (t', x', y', z') . W standardowy sposób założymy, że ruch pojazdu jest jednostajny prostoliniowy i zachodzi wzdłuż osi x , z równoległą do niej osią x' .

Wyróżnimy następujące zdarzenia A, B, C w czasoprzestrzeni:

- A jest wskazaniem przez zegar w pojeździe godziny 8:00, 31 marca 2008.
- B to ten punkt na linii świata Ziemi, który ziemski obserwator uznaje za równoczesny – w jego układzie odniesienia – ze zdarzeniem A .
- C natomiast to ten punkt na linii świata Ziemi, który obserwator w pojeździe uznaje za równoczesny – w jego układzie odniesienia – ze zdarzeniem A .

Zdarzenia B i A mają więc jednakową współrzędną czasową w układzie ziemskim (nieprimowanym), podczas gdy C i A mają tę samą współrzędną czasową w układzie pojazdu. Mamy dane $x_A - x_B = 100$ mln km, a pytamy o $x'_A - x'_C$. Pamiętajmy: odległość dwu punktów w każdym układzie odniesienia jest określona przez porównanie położenia tych punktów **równoczesnych w tym właśnie układzie odniesienia**.



Umieścimy początek obu układów w zdarzeniu B . Pogrubiona, nachylona linia prosta to linia światła pojazdu. Zatem: $x_A = 100$ mln km, $x_B = x_C = 0$, $t_A = t_B = 0$, $t'_A = t'_C$. Zachodzi transformacja Lorentza $x' = \gamma(x - vt)$, $t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$. U nas

$$v = 0,6c, \text{ więc } \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1,25.$$

Warunek $t'_A = t'_C$ daje $t_C - \frac{vx_C}{c^2} = t_A - \frac{vx_A}{c^2}$, czyli $t_C = -\frac{vx_A}{c^2}$.

Dalej

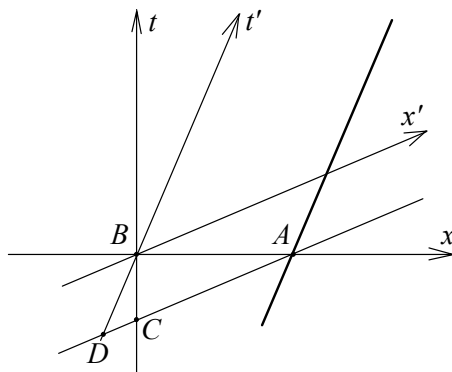
$$\begin{aligned} x'_A - x'_C &= \gamma(x_A - vt_A - x_C + vt_C) = \gamma(x_A + vt_C) = \gamma\left(x_A - v\frac{vx_A}{c^2}\right) = \gamma x_A \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = \\ &= \frac{x_A}{\gamma} = 80 \text{ mln km.} \end{aligned}$$

Jeszcze szybciej ten wynik otrzymamy, powołując się na odwrotną transformację Lorentza: $x = \gamma(x' + vt')$. Ponieważ $t'_A = t'_C$, więc $x_A - x_C = \gamma(x'_A - x'_C)$.

Zatem odpowiedź A, jak na razie. Lorentzowsko skraca się, dla obserwatora w pojeździe, odległość między kosmicznymi słupami kilometrowymi, z których zerowy jest na Ziemi, a stumilionowy właśnie mignął za oknem.

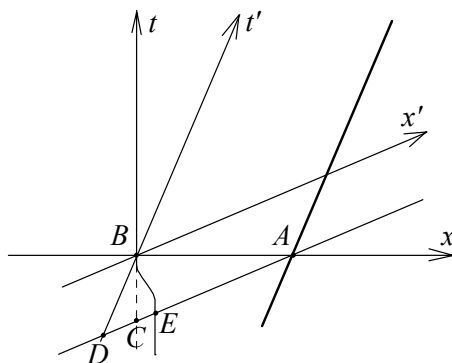
Jak to z STW bywa, łatwo doznać zamętu w głowie i kombinować dokładnie odwrotnie: przecież to pojazd się porusza, zatem to odległość do niego, obserwowana z Ziemi, ulega skróceniu. 100 mln po skróceniu to 125 mln przed skróceniem.

Czemu to jest źle? Bo skracałby się 125-milionowo-kilometrowy sznurek, który nasz pojazd ciągnąłby za sobą i którego koniec minąłby Ziemię w chwili i miejscu zdarzenia B . Tylko, że w układzie pojazdu owe 125 mln km byłoby odległością nie między A i C , ale między A i D na rysunku poniżej:



Pozostawiamy czytelnikowi sprawdzenie, że istotnie $x'_A - x'_D = \gamma x_A = 125$ mln km.

Jak powiedzieliśmy na wstępie, odpowiedź A nie jest jednak poprawna. Ustalając swą odległość od Ziemi w chwili t'_A , obserwator w pojeździe mierzy odległość do zdarzenia (nazwijmy je E) należącego już na Ziemi do przeszłości – w stosunku do chwili $t = 0$, w której Ziemianie stwierdzają, że prędkość pojazdu wynosi $0,6c$. Zatem 80 mln km to odległość do punktu C w czasoprzestrzeni, w którym Ziemi mogło wtedy wcale nie być – jeśli jej wcześniejszy ruch względem pojazdu nie był jednostajny. A w zadaniu nie założono, że prędkość pojazdu jest stała. Stąd odpowiedź E:



PS. W mojej dyskusji ze znajomymi omawiane zadanie wzbudziło pewne emocje, a zaproponowane rozwiązanie nawet protesty. Poddaję je zatem pod dyskusję szanownych Czytelników i chętnie dam się przekonać, jeśli pobydziałem. Przypomina mi się w tym momencie zadanie o kole rowerowym z drugiego odcinka „Odgłosów” (*Foton* 94). Wtedy też były protesty, a nawet redakcja ostrożnie dystansowała się od pomysłu. A jednak zadanie było w porządku.

Dr Adam Smólski, fizyk matematyczny, po doktoracie na UW objął redakcję *Fizyki w Szkole*, której szefował do 2005 roku. Uczy fizyki w szkole średniej. Wprowadził do Polski konkurs „Lwiątko”.





KĄCIK ZADAŃ

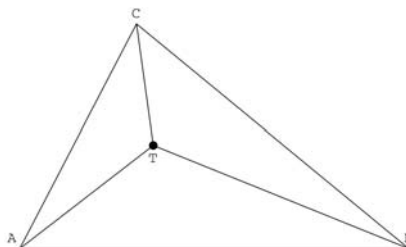
Punkt Torricellego

Theo Ruijgrok

Instituut voor Theoretische Fysica, Universiteit Utrecht

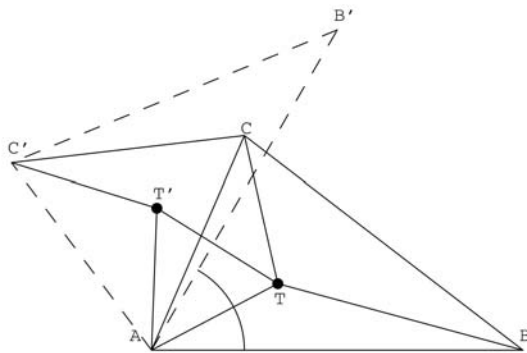
Rozważmy trójkąt ABC , którego najbardziej rozwarty kąt jest mniejszy od 120° . Wybierzmy dowolny punkt T z wnętrza trójkąta i poprowadźmy trzy odcinki łączące T z wierzchołkami trójkąta. Łączna długość tych odcinków wynosi L (patrz rysunek).

Należy wykazać, że jeśli punkt T został wybrany tak, iż L przyjmuje minimalną wartość, to każdy z trzech kątów przylegających do T wynosi 120° .



Rozwiązanie

Skonstruujmy trójkąt $A'B'C'$ poprzez obrót trójkąta ABC o 60° wokół wierzchołka A (patrz rysunek).



Ta operacja przeprowadza T w T' i trójkąt ATT' staje się równoboczny (wszystkie kąty mają po 60°). Ponieważ $C'T' = CT$ oraz $T'T = AT$, z rysunku natychmiast wynika, że L jest równe długości łamanej $C'T'TB$. Ta długość jest minimalna, jeśli łamana jest linią prostą. W wyniku widzimy, że kąty ATB i $C'T'A$ są równe CTA , a więc także CTB , więc równe 120° .

Theo Ruijgrok – emerytowany profesor fizyki w Instytucie Fizyki Teoretycznej w Utrechcie. Ulubiony wykładowca Zakopiańskich Przedszkoli Fizyki.



Fot. Z. G-M



Z Wojciechem Blicharskim, redaktorem *Fotonu* w latach 1992–1999

rozmawia Zofia Gołąb-Meyer

Wojtku, towarzyszyłeś Fotonowi osiem lat, prawie od początku, a dokładnie od piątego numeru w lutym 1992 roku, do końca 1999 roku, kiedy to Foton był już czasopismem pełną gębą. To za twoją sprawą Foton z paru stroniczek stał się – w ciągu jednego miesiąca – porządnie złożonym miesięcznikiem z ilustracją na okładce.

Przypomnij, proszę naszym Czytelnikom, jak trafiłeś do redakcji.

Chyba przy okazji jednego z naszych prywatnych spotkań na początku roku 1992 okazało się, że redakcja poszukuje, przynajmniej tymczasowo, osoby zajmującej się składem do druku i pomocą korektorsko-redakcyjną. No i tak z tymczasowej pomocy wyszło te kilka lat regularnej współpracy, kilka razy zmienialiśmy szatę graficzną, potem doszedł skromny portal internetowy.

Jak to się stało, że wybrałeś studia fizyki?

Jako mały chłopiec chodziłem z moim tatą na długie spacery do Lasku Wolskiego i na tych spacerach tato opowiadał nie do końca typowe historie dla małych chłopców: o protonach, neutronach i elektronach, a innym znów razem o układzie słonecznym lub zasadzie działania silnika elektrycznego. Z biegiem lat w akcję tych opowieści zaczęły wkradać się miony, kwarki, neutrina, drugie pochodne po czasie funkcji falowych, kwazary, czarne dziury i czerwone nadolbrzymy. Wkraczając więc w wiek, w którym dokonuje się wyboru kierunku studiów wiedziałem chyba wystarczająco dużo o wszystkich kłodach, które los rzuca fizykom pod nogi (oprócz niegrzecznych dzieci na spacerach), szczególnie, że mój tato nie był jedynym fizykiem w rodzinie.

Co Ci dała praca w redakcji?

Mogłem podglądać pracę małej redakcji od podszewki, poznałem kilka ciekawych osób, które odwiedzały redakcję i czasami pisywały do *Fotonu*. Przy okazji tematyki poruszanej w *Fotonie* dowiedziałem się dużo o metodach nauczania fizyki.

Czy zapamiętałeś z tamtych wydań Fotonu jakiś artykuł czy zeszyt, czy w ogóle coś warte wspomnienia?

Tłumaczyłem kiedyś z języka angielskiego artykuł pewnego fizyka, który zawierał zdania długie na pół strony. Czasem trudno było zorientować się, gdzie jest podmiot i orzeczenie i w zależności od tego, jak się je określiło, zdanie przybierało inne znaczenie. W tłumaczeniu nie sposób było oddać swoistej gramatyki, dlatego w polskiej wersji nie było już tak długich zdań. Do dziś jednak nie jestem w stu procentach pewien, czy intencje autora zostały przeze mnie dobrze oddane (śmiech).

Wróćmy do czasów szkoły. Chodziłeś do V LO w Krakowie do klasy uniwersyteckiej. Co to wtedy oznaczało? Co wam ta klasa dała? Jak potoczyły się losy twoich koleżanek i kolegów? Kiedy zdawaliście maturę?

Klasa uniwersytecka w tamtych czasach dawała na pewno dobre podstawy z zakresu matematyki i fizyki. Oczywiście dużo zależało od nauczycieli prowadzących poszczególne przedmioty, ale program był bardzo ambitny i pamiętam, że przechodząc z liceum na studia nie odczułem znaczącego podniesienia poziomu trudności materiału. Maturę zdawałem w roku 1988. Losy moich koleżanek i kolegów z pewnością można prześledzić na portalu *nasza-klasa* (śmiech).

Jaką specjalizację wybrałeś na studiach i gdzie robiłeś doktorat? Czy gdybyś dzisiaj miał dokonać wyboru, wybrałbyś tak samo?

Gdzieś w połowie studiów zainteresowałem się biochemią, fizyką molekularną i zastosowaniami w medycynie, stąd też wybór specjalizacji fizyka medyczna i doktorat z biofizyki w ówczesnym Instytucie Biologii Molekularnej. Myślę że to był i nadal jest świetny wybór, co potwierdza rosnąca ciągle liczba osób wybierających specjalizację z tego zakresu.

Po skończeniu doktoratu nie pozostałeś w zawodzie, a obecnie mieszkasz w Brukseli. Czy masz ciekawą pracę i co Cię skłoniło do zmiany?

Obecnie pracuję jako konsultant w obszarze systemów komputerowych do zarządzania procesami biznesowymi, głównie dla dużych międzynarodowych firm. A zawód to już zdążyłem zmienić chyba ze trzy razy od ukończenia doktoratu (śmiech). Ale tak na poważnie: odejście z nauki nie było dla mnie łatwą decyzją, jak również dla ogromnej liczby moich kolegów i koleżanek kończących doktoraty w okolicy roku 2000. Wszystkiemu chyba winna jest polityka Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego i budżet, jakim wtedy dysponowało, a raczej jego brak. Nakłady na naukę w tamtych latach stanowiły poniżej 0,5% PKB a przecież i samo PKB było dużo niższe niż dziś. Rezygnowaliśmy z kariery w nauce, ponieważ jakość projektów, które byli nam w stanie proponować nasi przełożeni i perspektywy rozwoju były adekwatne do tego pro-

centu PKB. Przecież finansowanie nauki to nie tylko wypłaty dla pracowników, ale głównie budżety projektów badawczych. Mieliśmy również świadomość, że nie da się robić dobrej nauki, myśląc o tym, jak dowieźć rodzinę do pierwszego. Szkoda, bo wydaje mi się, że z nauki polskiej odeszło w tamtych latach wielu bardzo wartościowych ludzi. Mam tylko nadzieję, że moi młodszy koledzy będą mieli lepsze perspektywy, w końcu od tamtego czasu staliśmy się członkiem Unii Europejskiej, a strategia lizbońska zakłada, że do 2010 r. nakłady na naukę mają wzrosnąć do 3 proc. PKB.

Jakie widzisz zalety twojego wykształcenia jako fizyka nie pracującego w swoim zawodzie, a jakie może niedostatki? Czego musiałeś się nauczyć i czy Ci to sprawiało trudności?

Dr Krzysztof Sokalski zawsze powtarzał nam na ćwiczeniach, że fizyk da sobie radę w każdym zawodzie (śmiech). Fizyka pomaga nam zrozumieć mechanizmy rządzące otaczającym nas światem i dla absolwenta fizyki pewne prawa przyrody stają się po pięciu latach studiów oczywiste. Często zaskakuje mnie, że osoba, z którą pracuję, nie rozumie do końca np. dlaczego para wodna skrapla się na zimnej szybie. Zaskoczenie mija dopiero, gdy uświadamiam sobie, że nie pracuję z samymi fizykami. To może prosty przykład, ale pokazuje, że fizyk inaczej postrzega pewne zjawiska. A czego musiałem się nauczyć? Na pewno tego, że nie warto szukać pracy, w której nie trzeba się niczego nowego „douceć” i ciągle doskonalić. Studiując fizykę na UJ nauczyłem się z pewnością jak efektywnie zdobywać i przyswajać nową wiedzę.



W środku Wojtek Blicharski po obronie pracy doktorskiej z promotorem prof. W. Fronciszem w otoczeniu najbliższej rodziny, ojcem prof. J. Blicharskim, babcią, mamą prof. B. Blicharską i siostrą Marysią



CO CZYTAĆ

Mr. Fahrenheit, dżentelmen z Gdańska Andrzeja Januszajtisa

Mr. Fahrenheit, dżentelmen z Gdańska, Andrzej Januszajtis, Wydawnictwo „L&L” Spółka z o.o., Gdańsk 2005

Andrzej Januszajtis to znany gdańszczanin, fizyk i miłośnik muzyki; był dyrektorem Instytutu Fizyki Politechniki Gdańskiej i dziekanem Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, autor znanego podręcznika fizyki dla studentów politechniki. Jest pasjonatem i znawcą historii Gdańska. W kręgu jego zainteresowań znalazł się wybitny uczyony – gdańszczanin – Daniel Fahrenheit, o którym A. Januszajtis pisze w książkach: *Dzieciństwo i młodość Daniela Fahrenheita* i *Mr. Fahrenheit, dżentelmen z Gdańska*.

Bohater tych publikacji urodził się w Gdańsku, spędził tu dzieciństwo i wczesną młodość. Po tragicznej śmierci obojga rodziców wyjechał do Holandii, unikając w ten sposób uczenia się rzemiosła, do czego chcieli przymusić go opiekunowie. *Mr. Fahrenheit, dżentelmen z Gdańska* to opowieść o holenderskim rozdziale życia uczonego. O jego studiach, odkryciach i wynalazkach, z których najważniejszy – termometr rtęciowy o 212-stopniowej skali – jest do dziś używany w Wielkiej Brytanii oraz w Stanach Zjednoczonych. Autor opisuje również kontakty Fahrenheita z najwybitniejszymi postaciami epoki oraz jego działalność jako wykładowcy i pracę w Królewskim Towarzystwie Naukowym w Londynie.

Autor podążył tropem uczonego i odwiedził wszystkie miejscowości i miejsca, do których peregrynował i w których pracował Fahrenheit. Odszukał stare ryciny tych miejscowości, dokumenty, np. oryginalne zapiski i rysunki Fahrenheita. W książeczce przeczytać można fragmenty testamentu uczonego, spis przedmiotów, które po nim zostały (np. 4 peruki, męska mufka).

Zachęcamy Czytelników do lektury, a profesorowi Januszajtisowi z okazji 80. urodzin życzymy zdrowia i dalszej owocnej pracy.

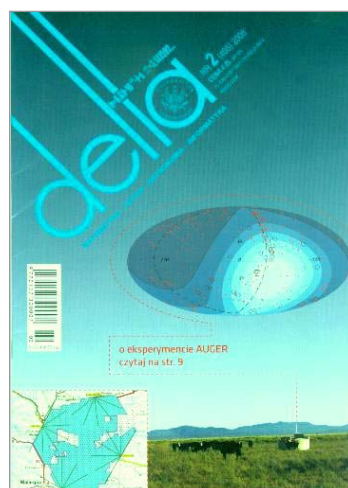
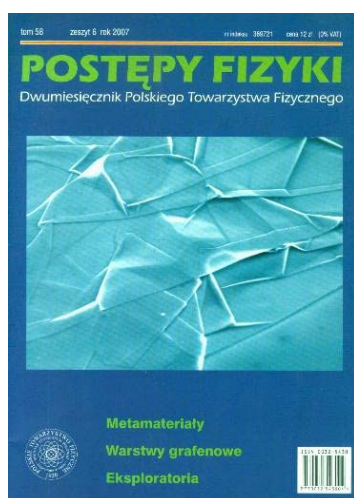


Gorąco zachęcamy naszych Czytelników do lektury *Postępów Fizyki*
<http://postepy.fuw.edu.pl>

W zeszycie 6/2007 (tom 58) polecamy recenzję podręcznika *Mechanika kwantowa* Ramamutri'ego Shankara (Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2006) autorstwa Jacka Karwowskiego z Instytutu Fizyki UMK w Toruniu. Jacek Karwowski przy okazji komentuje inne podręczniki do mechaniki kwantowej. Uważa tłumaczenie podręcznika Shankara za celowe, jednakże pisze:

Sformułowanie mechaniki kwantowej oferowane przez Shankara porównałbym do restauracji McDonalda, gdzie można zjeść szybko, tanio, obficie i w miarę czysto, ale chociaż dania z wołowiny lub ryb zajmują czołowe miejsce w jadłospisie, ktoś, kto chciałby poznać smak dobrze przyrządzonego befsztyka albo sandacza, powinien udać się gdzieś indziej. Klientela McDonalda jest jednak bardzo liczna i to nie tylko z powodu niskich cen.

Naszych Czytelników na pewno zainteresują też suplementy do wykładów Feynmana omawiane w tym zeszycie przez Krzysztofa Fiałkowskiego.



Polecamy jak zwykle najnowszą *Deltę* i mamy nadzieję, że jest ona ulubionym pismem naszych Czytelników.



FIZYKA W INTERNECIE

Mechanika kwantowa

Wiesław Zajiczek

Doktorant w Instytucie Fizyki UJ

Mechanika Kwantowa – Skrypt kursu podstawowego

Stanisław Kryszewski, Uniwersytet Gdański

<http://iftia9.univ.gda.pl/~sjk/QM/indexQM.html>

Elementarny, choć dosyć rozbudowany, polskojęzyczny podręcznik mechaniki kwantowej. Materiał ilustrowany wieloma przykładami rachunkowymi, jest precyzyjny matematycznie, napisany językiem przystępnym dla początkującego czytelnika. Zawiera cenne uzupełnienia matematyczne i zadania rachunkowe, będące integralną częścią kursu.

Mechanika Kwantowa – Wykład dla doktorantów

Marek Zrałek, Uniwersytet Śląski

<http://prac.us.edu.pl/~ztpce/wyklady/zralek.htm>

Wykład, który zainteresuje z pewnością nie tylko doktorantów. Zagadnienia mechaniki kwantowej omawiane są w szerokim kontekście historycznym, a także w odniesieniu do danych doświadczalnych. Autor porusza ciekawe zagadnienia, którym standardowe podręczniki poświęcają zwykle mniej uwagi, w szczególności: elementy kwantowej teorii informacji, stany splątane, problem nielokalności i nierówności Bella, kryptografia kwantowa. Dla studentów wykład ten będzie cennym uzupełnieniem tradycyjnego kursu mechaniki kwantowej. Z pewnością zainteresuje również nauczycieli chcących uporządkować wiedzę dotyczącą filozoficzno-interpretacyjnych aspektów tej teorii.

Introductory Quantum Mechanics I – Lecture Notes

Troy Van Voorhis, MIT

<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Chemistry/5-73Fall-2005/LectureNotes/index.htm>

Podręcznik internetowy do kursu mechaniki kwantowej w Massachusetts Institute of Technology (MIT). Może być przewodnikiem w samodzielnych studiach, nadaje się jako podręcznik do pierwszego czytania. Autor wprowadza

czytelnika w teoretyczne podstawy mechaniki kwantowej, stopniowo rozbudowując formalizm matematyczny. Nie stroni od wykonywania elementarnych przekształceń, co może być pomocne dla początkującego czytelnika. Kurs zawiera wprowadzenie do bardziej zaawansowanych zagadnień mechaniki kwantowej, takich jak: rachunek zaburzeń, twierdzenie Eckarta-Wignera, przybliżenie Borna-Oppenheimera. Do niektórych rozdziałów zamieszczone są ćwiczenia rachunkowe ułatwiające przyswajanie materiału.

Quantum Mechanics

Martin Plenio, Imperial College

<http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/613904.PDF>

Bardziej zaawansowany podręcznik mechaniki kwantowej wyróżniający się dbałością o precyzję matematyczną. Materiał w sporej mierze zorganizowany jest w postaci definicji, lematów, twierdzeń i ich dowodów, na bieżąco jednak dyskutowana jest również fizyczna interpretacja omawianych zagadnień. Mimo, iż podręcznik rozpoczyna się od zagadnień podstawowych w mechanice kwantowej, to jednak wymaga on pewnej „kultury” matematycznej czytelnika. Prócz standardowych zaawansowanych zagadnień mechaniki kwantowej, w podręczniku omawiany jest problem stanów splątanych, kwantowa teoria informacji, nierówności Bella, kwantowa teleportacja. Niestety nie zostały w nim umieszczone ćwiczenia rachunkowe, mimo to jest on godny polecenia.

Lecture Notes in Quantum Mechanics

Doron Cohen, Department of Physics, Ben-Gurion University, Beer-Sheva, Israel

<http://arxiv.org/abs/quant-ph/0605180>

Zaawansowany podręcznik, nadający się jako uzupełnienie tradycyjnego kursu mechaniki kwantowej. Poruszane są w nim zagadnienia takie jak: symetrie i teoria grup (ze szczególnym uwzględnieniem grupy obrotów), rachunek zaburzeń, formalizm funkcji Greena, teoria rozpraszania, kwantyzacja pola elektromagnetycznego i wiele innych.

Advanced Quantum Mechanics

Douglas M. Gingrich, University of Alberta, Canada

<http://www.phys.ualberta.ca/~gingrich/phys512/latex2html/phys512.html>

Rozbudowany podręcznik relatywistycznej mechaniki kwantowej. Przegląd zagadnień od omówienia grupy Lorentza do kwantowej elektrodynamiki.



Przed szkole Fizyki– zima 2008

Dagmara Sokołowska

Historia zatoczyła koło. Po trzydziestu latach Przed szkole Fizyki na wyjeździe, powróciliśmy do sal wykładowych Instytutu Fizyki UJ. Powód? Chcemy, aby Przed szkole pozostało elitarne, czyli w zamierzeniu przeznaczone dla uczniów wybitnie zainteresowanych fizyką, ale dostępne dla wszystkich chętnych.

Pierwsza sesja w nowej formule odbyła się w czerwcu 2007. Została zorganizowana dość spontanicznie, największą liczbę uczestników stanowili uczniowie klasy uniwersyteckiej V LO w Krakowie. Już wtedy brało w niej udział około stu uczniów.

Druga, zimowa sesja, odbyła się w dniach 12–14 lutego 2008, a jej tematem przewodnim były „Materiały przyszłości”. Podany poniżej program zajęć przedstawia bogactwo poruszanych tematów – od polimerów, poprzez solitony, biomateriały, ciekłe kryształy, materiały granulowane, nowe materiały magnetyczne, aż po nanomateriały i nanotechnologie.

Trafiliśmy z promocją do wielu liceów i techników Małopolski, Podkarpacia i Śląska. Niektórzy, jak pewien uczeń z Włoszczowej, znaleźli nas samodzielnie w Internecie. Frekwencja przeszła nasze oczekiwania – na wykładach zgromadziło się w sumie około czterystu osób. Nie wszyscy uczestniczyli w całej, trzydniowej sesji Przed szkole. Grupa najbardziej wytrwałych stanowiła około pięćdziesięciu osób. A należy dodać, że zdecydowaną większość – zgodnie z intencją organizatorów – stanowili indywidualni uczestnicy lub małe grupki klasowe.

Już po sesji otrzymaliśmy sygnały, że brakuje podobnych spotkań dla gimnazjalistów. Postanowiliśmy zatem także ich objąć podobnym przedsięwzięciem.

Następna sesja odbędzie się w drugiej połowie czerwca, tuż przed wakacjami. Jeden dzień przeznaczony będzie dla uczniów gimnazjów, a tematem spotkania będą „**Materiały przyszłości**” – czyli okrojony, uproszczony zestaw wykładów, pokrywający się tematycznie z poprzednią, zimową sesją dla szkół ponadgimnazjalnych. Następne trzy dni przeznaczone zostaną na wykłady i warsztaty dla uczniów liceów i techników, a tematem przewodnim będzie tym razem „**Wszechświat oddziaływań**”.

Zachęcamy gorąco do indywidualnych zgłoszeń na adres: ufdsokol@cyf-kr.edu.pl oraz śledzenia strony internetowej Przed szkole www.if.uj.edu.pl/przed szkole.

Spis wykładów sesji zimowej Przedszkola Fizyki 2008Wtorek, 12 II

O spontanicznym złamaniu symetrii i solitonach topologicznych – prof. Henryk Arodź

Polimery – nowoczesne materiały – dr Joanna Raczkowska

Magnetyczne własności fazy skondensowanej – prof. Andrzej Szytuła

Środa, 13 II

Różne oblicza bioenergetyki – dr hab. Kvetoslawa Burda

Ciekłe kryształy – dr Joanna Janik-Kokoszka

Niezwykłe własności materiałów sypkich – prof. Maria Massalska-Arodź

An Introduction to the Maxwell Distribution of the Velocity – dr Alessandro Fiasconaro

Czwartek, 14 II

Turniej zadań niezwykłych – uczniowie maturalnej klasy uniwersyteckiej V LO w Krakowie: Krzysztof Bożek, Marcin Dohnalik, Aleksander Gajos, Damian Leśniak, Jakub Mozgawa, Artur Święch.

Świat widziany w nanoskali – nowoczesne techniki mikroskopowe – dr Marta Targosz-Korecka

Nanostruktury – wybrane zagadnienia – mgr Krzysztof Sajewicz



Dagmara Sokołowska



Reprezentacja Polski – brązowy medal w Korei

Urszula Woźnikowska-Bezak

Grupa Twórcza QUARK

Pałac Młodzieży w Katowicach

Grupa Twórcza QUARK z Pałacu Młodzieży w Katowicach słynie z wieloletniej działalności w zakresie kształcenia młodzieży wybitnie uzdolnionej. Jako reprezentacja Polski zdobyła brązowy medal w XX Światowym Turnieju Młodych Fizyków. W Polsce wygrała potyczki krajowe w języku polskim i angielskim. Turniej posiada charakter drużynowy. Pięciosobowa drużyna bierze udział w potyczkach, gdzie w każdym starciu drużyna występuje w roli Referenta, Oponenta i Recenzenta (w kolejnych starciach następuje zmiana ról).

Startowały 22 drużyny z Europy, Azji, Afryki i obu Ameryk: Anglii, Australii, Austrii, Brazylii, Bułgarii, Chorwacji, Cypru, Czech, Niemiec, Węgier, Kenii, Korei Południowej, Nowej Zelandii, Nigerii, Polski, Słowacji, Szwecji, Szwajcarii, Holandii, USA.

Zawody obserwowali przedstawiciele Chin, Indonezji, Iranu.

Młodzież miała możliwość zmierzenia swych sił na arenie międzynarodowej i nawiązania bezpośrednich kontaktów z rówieśnikami z innych krajów, a zaangażowanym w turnieju nauczycielom fizyki umożliwiono kontakty i wymianę doświadczeń ze środowiskiem akademickim.

Członkowie drużyny Grupy Twórczej QUARK reprezentujący Polskę, to laureaci konkursów organizowanych przez Fizykę Pałacu Młodzieży w Katowicach. W niżej wymienionym składzie **zdożyli brązowy medal**:

1. Szymon Migacz – kapitan, V Liceum Ogólnokształcące, Bielsko-Biała
 2. Rafał Modrzewski – I Liceum Ogólnokształcące, Katowice
 3. Justyna Chromik – I Liceum Ogólnokształcące, Pszczyna
 4. Aleksander Kubica – V Liceum Ogólnokształcące, Bielsko-Biała
 5. Grzegorz Mazur – I Liceum Ogólnokształcące, Dąbrowa Górnicza
- opiekun: mgr Urszula Woźnikowska-Bezak

I miejsce – złoty medal zdobyła drużyna Australii

II miejsce – srebrny medal zdobyły drużyny: Korea Południowa i Nowa Zelandia

Atmosfera naukowa była przeplatana interesującymi wycieczkami do fabryk LG Electronics, Samsung Electronics i Hyundai Motors, zwiedziliśmy Korean Folk Village i dzielnicę InsaDong – atrakcyjne miejsce, gdzie można zaopatrzyć się w tradycyjne suveniry. Mieszkaliśmy w luksusowym hotelu Olympic Park,

z którego rozpościerał się widok na park olimpijski. Na specjalnym Cultural Diversity Event młodzież każdego z państw uczestniczących w turnieju przedstawiała swoje tradycje kulturowe. W jury Polskę reprezentował prof. dr hab. Maciej Kolwas z Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.

Konsultacje naukowe w przygotowaniach: prof. dr hab. Władysław Borgiel z Uniwersytetu Śląskiego i dr Joachim Gmyrek z Politechniki Śląskiej.

Serdecznie dziękuję sponsorom, bez których nasz wyjazd nie byłby możliwy: Katowickiemu Holdingowi Węglowemu, Urzędowi Marszałkowskiemu, Miejskiemu Zakładowi Gospodarki Komunalnej w Katowicach.

Następny Międzynarodowy Turniej Młodych Fizyków odbędzie się w mieście Trogir koło Splitu w Chorwacji w dniach 21–28 maja 2008 roku.



Urszula Woźnikowska-Bezak (na dolnym zdjęciu pierwsza z prawej) prowadzi od wielu lat, z sukcesami, Grupę Twórczą QUARK w Pałacu Młodzieży w Katowicach. Organizuje Turnieje Młodych Fizyków oraz Międzynarodowe Konferencje Młodych Naukowców. Jest przewodniczącą Komisji PTF Popularyzacji i Promocji Fizyki.



Ogólnopolski Festiwal „Nauki Przyrodnicze na Scenie 3”

Wojciech Nawrocik
Instytut Fizyki UAM, Poznań

W dniach 26–27 września 2008 roku, na Wydziale Fizyki UAM w Poznaniu, pod patronatem Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, organizowany jest Ogólnopolski Festiwal „Nauki Przyrodnicze na Scenie 3”, który stanowi kontynuację bardzo udanych festiwali „Fizyka na Scenie” oraz „Nauki Przyrodnicze na Scenie”

Podobnie, jak w przypadku poprzednich festiwali do udziału w Ogólnopolskim Festiwalu „Nauki Przyrodnicze na Scenie 3” Krajowy Komitet Organizacyjny (KKO) zaprasza nauczycieli i uczniów szkół ponadpodstawowych, dydaktyków nauk przyrodniczych z wyższych uczelni oraz popularyzatorów fizyki i nauk przyrodniczych z całej Polski.

Europejskie festiwale SOS organizowane są przez *EIROforum* (*European Intergovernmental Research Organisation's Forum*) – powstałą w 2002 roku grupę siedmiu wiodących laboratoriów naukowych UE.

Grupę *EIROforum* tworzą następujące laboratoria:

CERN (*Europejskie Centrum Badań Jądrowych*),

ESA (*Europejska Agencja Kosmiczna*),

ESO (*Europejskie Obserwatoria Południowe*),

EMBL (*Europejskie Laboratorium Biologii Molekularnej*),

EFDA (*Europejskie Stowarzyszenie Rozwoju Fuzji Termojądrowej*),

ESRF (*Europejskie Laboratorium Promieniowania Synchrotronowego*),

ILL (*Instytut Lauego-Langevina*).

Wiodącym tematem poznańskiego festiwalu „Nauki Przyrodnicze na Scenie 3” będzie pokazanie związków fizyki z innymi naukami przyrodniczymi, wpływu tych nauk na naszą wiedzę o świecie, na życie codzienne i nowe technologie oraz pokazanie aktywności nauczycieli i uczniów w dziedzinie astronomii i *space science* – nauki o przestrzeni kosmicznej.

Jeśli chodzi o nauki o przestrzeni kosmicznej to należy zauważyć, że w roku 2007 upływa 50. rocznica wysłania w kosmos pierwszego radzieckiego satelity „Sputnik”. To wydarzenie niewątpliwie zapoczątkowało erę badań kosmicznych tak ważnych dla ludzkości. Rok 2009 będzie z kolei Światowym Rokiem Astronomii.

Ogólnopolski Festiwal „Nauki Przyrodnicze na Scenie 3” odbędzie się w dniach 26 i 27 września 2008 roku, tradycyjnie na Wydziale Fizyki UAM w Poznaniu pod patronatem Dziekana Wydziału Fizyki UAM.

Występy zespołów oceniane będą w trzech kategoriach:

- demonstracje zjawisk,
- działania artystyczne związane z fizyką, naukami przyrodniczymi oraz astronomią i naukami o przestrzeni kosmicznej (przedstawienia teatralne, fotografie, rysunki, formy przestrzenne, wiersze itp.),
- pokazy multimedialne z zakresu nauk przyrodniczych i nauk o przestrzeni kosmicznej.

Do Poznania zaproszone zostaną osoby i zespoły (w sumie około 200 osób) wybrane przez KKO spośród tych, którzy do 3 czerwca 2008 roku zgłoszą propozycje występów.

Wierzymy, że oczekiwany kolejny Europejski Festiwal SOS 3 stanowić będzie wielką szansę dla nauczycieli szkół ponadpodstawowych skorzystania z oferty współpracy w upowszechnianiu osiągnięć nauk przyrodniczych z grupą *EIROforum* i nauczycielami przedmiotów przyrodniczych z całej Europy.

Jesteśmy przekonani, że tak, jak w poprzednich latach nauczyciele polscy, uczestnicy festiwalu krajowego i europejskiego, będą mieli okazję podnieść swoje kwalifikacje, pochwalić się swoimi osiągnięciami dydaktycznymi, wymienić doświadczenia, nawiązać nowe kontakty zawodowe i doskonalić umiejętności językowe.

Jako wieloletni przewodniczący KKO (W.N.) mam stały kontakt z nauczycielami, którzy uczestniczyli w festiwalach w Poznaniu i w festiwalach europejskich i z dużą satysfakcją obserwuję ich znaczny rozwój zawodowy. Również młodzież ze szkół biorących udział w festiwalach uczestniczy w tych imprezach z wielkim pożytkiem.

Wszystkich, którzy zainteresowani są Ogólnopolskim Festiwalem „Nauki Przyrodnicze na Scenie 3” prosimy o czytanie naszej strony internetowej <http://main3.amu.edu.pl/~fizscena/>, na której umieszczamy kolejne informacje o festiwalu oraz formularz zgłoszeniowy.

Zapraszamy do udziału w festiwalu

Przewodniczący KKO
Prof. Wojciech Nawrocik





Komisja Nazewnictwa Fizycznego PTF o zakresie znaczeniowym terminu „substancja”

Bernard Jancewicz

w imieniu Komisji Nazewnictwa PTF

Dr Ewa Kurek, pracująca w redakcji nauk przyrodniczych Wydawnictw Szkolnych i Pedagogicznych, przedstawiła Komisji spory, jakie toczą się między fizykami a chemikami w tym zespole. Chemicy posługują się pojęciem substancji chemicznej rozumiejąc pod tym tylko pierwiastek lub związek chemiczny i nie godzą się na szersze rozumienie słowa „substancja”. Natomiast fizycy zwracają uwagę na liczne tabele, w których podaje się różne właściwości fizyczne, np. temperaturę wrzenia czy skraplania, gęstość, oporność właściwą. Przy zawężonym znaczeniu substancji w kolumnie tabeli pod nazwą „substancja” nie można wpisać powietrza, szkła, drewna, granitu, ebonitu, bursztynu, ani ropy naftowej. Poza tym w podręcznikach szkolnych można napotkać następującą definicję: masa jest miarą ilości substancji, czy więc ciała, które nie są substancjami chemicznymi, nie mają masy?

Komisja Nazewnictwa Fizycznego zajęła się tym zagadnieniem i po dyskusji w swoim gronie opracowała stanowisko, które zamieściła na stronie internetowej Zarządu Głównego PTF (<http://ptf.fuw.edu.pl/>). Oto istotne fragmenty tego stanowiska.

Komisja Nazewnictwa Polskiego Towarzystwa Fizycznego uważa, że – w zgodzie z powszechnym rozumieniem terminu „substancja” – tę ogólną nazwę można stosować (w sensie fizykochemicznym, a nie przenośnym, np. filozoficznym) do wszelkiej materii fizycznej o charakterze korpuskularnym. Zdaniem Komisji, zawężanie definicji substancji do materii *jednorodnej i o określonym składzie chemicznym*, spotykane w niektórych słownikach oraz leksykonach, powoduje następujące niekorzystne skutki: 1. prowadzi do rozmijania się nomenklatury naukowo-technicznej z językiem potocznym, opartym na intuicji; 2. utrudnia opisywanie jednym terminem najszerszej kategorii obiektów korpuskularno-materialnych; 3. często powoduje niestosowanie się do definicji nawet przez autorów podręczników, w których termin ten jest określony w sposób zawężający; 4. nie jest w zgodzie z polskim ustawodawstwem, np. z rozporządzeniem dotyczącym wykazu substancji niebezpiecznych.

Z tych względów Komisja wypowiada się za przyjęciem takiego zakresu znaczeniowego terminu „substancja”, jak w niedawno wydanym „Nowoczesnym kompendium chemii” (Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, przekład z języka niemieckiego, redaktor naukowy przekładu prof. Grzegorz Młostoń):

- *Substancje* składają się z cząstek o charakterze korpuskularnym.

Według tej definicji substancjami są też np. mieszaniny (substancje niejednorodne) lub materia o niezbyt ściśle określonym składzie chemicznym (np. drewno, powietrze czy ropa naftowa). Jeśli zachodzi potrzeba uszczegółowienia terminu, to naturalnie można użyć określeń dodatkowych, np. substancja jednorodna, substancja czysta, substancja szkodliwa itp.

Dr hab. Bernard Jancewicz jest profesorem w Instytucie Fizyki Teoretycznej na Uniwersytecie Wrocławskim; Przewodniczący Komisji Nazewnictwa Fizycznego PTF; autor książki *Wielkości skierowane w elektrodynamice*.



Galaktyczne zoo, czyli nowe narzędzie dla polskich szkół

Tomasz Skowron

Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 7 w Szczecinie

Od nowego roku szkolnego polskie szkoły mogą uczestniczyć w projekcie astronomicznym o nazwie Galaktyczne zoo. Projekt ten umożliwia współpracę astronomów amatorów i zawodowców w celu lepszego poznania otaczającego nas Wszechświata.

Dziś wiemy, że Wszechświat składa się z miliardów galaktyk, a sprzęt, którym dysponują naukowcy pozwala zaglądać w najodleglejsze jego zakątki, co skutkuje odkrywaniem nowych obiektów, m.in. galaktyk. Liczba odkrywanych galaktyk ciągle rośnie, a zawodowi astronomowie nie są w stanie opracowywać (klasyfikować) wszystkich nowych obiektów. Wyszli zatem z pomysłem współpracy z astronomami amatorami. Współpraca polega na tym, że wszyscy zarejestrowani użytkownicy programu przeglądają katalogi z niesklasyfikowanymi jeszcze obiektami i określają typy obserwowanych na zdjęciach obiektów. Oczywiście nie mamy pewności, że określony przez nas typ obiektu jest poprawny, ale jeśli na ten sam obiekt spojrzysz np. 1000 użytkowników i wskazania większości będą takie same, to z dużym prawdopodobieństwem możemy określić typ tego obiektu. Niestety, musimy być przygotowani na to, że obiekty, które otrzymamy do sklasyfikowania będą dość często dziwnych kształtów i możemy

mieć spore kłopoty z dokonaniem klasyfikacji. Z drugiej strony musimy pamiętać o tym, że dzięki naszej pracy możemy wspomóc i przyspieszyć pracę naukowców.

Na zdjęciu obok widzimy np. dwie zderzające się galaktyki.



Jak przystąpić do projektu?

To naprawdę nic trudnego, szczególnie teraz, kiedy istnieje polska brama galaktycznego zoo. Nie potrzebujemy do tego żadnego drogiego i skomplikowanego sprzętu. Wystarczy komputer i łącze internetowe, a to w dzisiejszych szkołach nie jest już problemem. Wszelkie podstawowe informacje znajdziemy na stronie <http://www.galaxyzoo.org/pl>. W zakładce *Udział w projekcie* znajduje się krótki kurs ułatwiający późniejszą klasyfikację, zatem od przejścia tego kursu należałoby zacząć przygodę z projektem. Więcej informacji można uzyskać również na stronie projektu Eu-hou (adres strony: www.pl.euhou.net). Tam też znajduje się prezentacja w języku polskim mówiąca o tym jak dokonywać klasyfikacji. Po przejściu tego kursu, czeka nas krótki sprawdzian polegający na tym, że dostajemy do sklasyfikowania 15 znanych już galaktyk. Jeśli na 8 propozycji odpowiemy poprawnie, możemy dokonać rejestracji i zabierać się do pracy.

W projekcie mogą uczestniczyć również indywidualni użytkownicy, ale zachęcam do wprowadzenia tego zagadnienia, np. na zajęciach koła astronomicznego. Myślę, że w programie mogą uczestniczyć już uczniowie gimnazjum. Ja osobiście wprowadziłem ten temat na zajęcia koła w drugiej klasie gimnazjum. Teraz uczniowie pracują już w projekcie indywidualnie w domu i są bardzo zadowoleni, że mogą w ten sposób przyczynić się do poznawania Wszechświata. Każdy z nich jest w stanie wygospodarować jedną godzinę w tygodniu na pracę w projekcie, jednak ta godzina przemnożona przez liczbę uczestników może dać bardzo znaczne efekty. Pamiętajmy o tym, że naszą rolą jako nauczycieli jest odpowiednie wyjaśnianie i uświadomienie młodzieży, jak ważna i potrzebna jest ich praca.

Jeśli napotkacie Państwo na problemy, zawsze możecie się zwrócić o pomoc do zespołu konsultantów, w którego skład wchodzi: dr Waldemar Ogłóza z Akademii Pedagogicznej w Krakowie, Ariel Majcher, przedstawiciel redakcji portalu Astronomia.pl oraz Tomasz Skowron, nauczyciel fizyki w Zespole Szkół Ogólnokształcących nr 7 w Szczecinie. Można do nas pisać na adres galaktycznezoo@astronomia.pl. Jeśli przystąpiacie już Państwo do projektu, to zapraszamy również do dyskusji i wyrażania swojej opinii na forum, które znajduje się na stronie www.pl.euhou.net. Życzę zatem Państwu miłej i satysfakcjonującej pracy.



VII Ogólnopolski Konkurs na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki Kraków 2008

Andrzej Zięba

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH

Pokazowe doświadczenia – zwane inaczej demonstracjami – stanowią jeden z filarów dobrego kształcenia w zakresie fizyki na każdym poziomie nauczania. Celem Konkursu (organizowanego co dwa lata od 1996) jest promowanie rozwoju sztuki pokazów fizycznych w Polsce i popularyzacja najlepszych pomysłów, które mogłyby trafić do szkół i sal wykładowych. Konkurs adresowany jest w szczególności do uczniów i ich nauczycieli, ale w ogólności do wszystkich pasjonujących się wymyślaniem i realizacją doświadczeń pokazowych*. W ocenie projektów liczy się na równych prawach nowatorstwo pomysłu, wartość dydaktyczna i sposób wykonania.

Konkurs organizowany jest co dwa lata przez Oddział Krakowski Polskiego Towarzystwa Fizycznego przy współdziałaniu Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH oraz Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ. Termin nadsyłania zgłoszeń upływa 30 czerwca 2008. Najlepsze doświadczenia biorą udział w finale Konkursu, który odbędzie się w Krakowie 25 września.

Regulaminu konkursu, dokumentacja poprzednich oraz informacje bieżące dostępne na stronie: <http://www.ptf.agh.edu.pl/konkurs/>

* Za wyjątkiem tych pracowników wyższych uczelni, którzy zajmują się zawodowo przygotowaniem demonstracji wykładowych.



Ogólnopolski Konkurs Nauk Przyrodniczych „Świetlik”

Fundacja dla Uniwersytetu Jagiellońskiego

Dagmara Sokołowska



Ogólnopolski Konkurs Nauk Przyrodniczych mający na celu propagowanie nauk przyrodniczych wśród uczniów szkół podstawowych.

Zarówno jako Nauczyciele, jak i Rodzice, doświadczamy na co dzień niezwykłej inwencji twórczej naszych dzieci, objawiającej się nieustannym eksperymentowaniem oraz zadawaniem pytań: dlaczego? jak to się dzieje? jak to działa?

Wychodząc od tych naturalnych aktywności wszystkich dzieci, zapraszamy uczniów szkół podstawowych do uczestnictwa w Konkursie Nauk Przyrodniczych, w którym będziemy zachęcać ich do eksperymentowania oraz rozwijając ciekawość, dotyczącą otaczającej ich przyrody, we wszystkich jej postaciach: świata organizmów żywych, przyrody nieożywionej, zjawisk fizycznych, astronomicznych, klimatycznych, praw biologii, chemii i fizyki.

Konkurs przeznaczony jest **dla uczniów szkół podstawowych z klas 2–6.**

Zasady w skrócie

Konkurs składa się z **jednego etapu**, który w bieżącym roku szkolnym odbędzie się w formie testu jednokrotnego wyboru w każdej zgłoszonej szkole w dniu **10 kwietnia 2008 r.**

Uczniowie przygotowujący się do każdej edycji Konkursu, będą mieli za zadanie przeprowadzenie zestawu **prostych eksperymentów**, z użyciem przyrządów i przedmiotów domowego użytku. Dokładne opisy doświadczeń dla obecnej edycji zostaną ogłoszone na stronie internetowej do **3 marca 2008 r.** Zachęcamy do wykonywania tych eksperymentów podczas lekcji lub na kółkach pozalekcyjnych. Można także polecić uczniom przeprowadzenie tych eksperymentów w domu, pod okiem osoby dorosłej. Termin wykonania doświadczeń – do 10 kwietnia 2008 r.

Konkurs zostanie przeprowadzony w pięciu grupach wiekowych, właściwych **dla klas 2–6 szkoły podstawowej**. Dla każdej grupy wiekowej przygotowany zostanie inny zestaw eksperymentów i osobny test. Zadania testowe będą zawierały treści dotyczące eksperymentów z zalecanego do wcześniejszego wykonania zestawu (10–30% ogólnej liczby zadań) oraz inne treści ze wszystkich dziedzin nauk przyrodniczych (biologia, chemia, fizyka, astronomia, geografia, ekologia), dostosowane do wieku uczestników.

W regulaminie można znaleźć wszelkie szczegóły dotyczące organizacji Konkursu, punktacji oraz przyznawanych **nagród**.

W szczególności:

- uczniom przyznawane będą nagrody rzeczowe i dyplomy.
- szkoły, najliczniej (procentowo) reprezentowane w danej edycji Konkursu, zostaną nagrodzone możliwością przeprowadzenia warsztatów z nauk przyrodniczych w siedzibie szkoły
- wszystkie szkoły biorące udział w Konkursie będą mogły ubiegać się o uczestnictwo w podobnych warsztatach na terenie Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w kolejnym roku szkolnym.

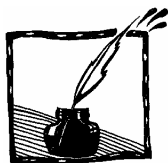
Oplata za udział w Konkursie wynosi **6 zł** od każdego uczestnika. **Termin płatności** upływa **7 III 2008 r.**

Uczestnictwo ucznia w Konkursie zgłasza jego macierzysta szkoła. Zgłoszenie szkół do udziału następuje poprzez wypełnienie **formularza rejestracyjnego**, dostępnego na stronie internetowej **www.swietlik.edu.pl**.

W formularzu należy podać kwotę opłaty za udział w Konkursie wszystkich uczniów danej szkoły na konto Fundacji.

Patronat nad Konkursem objął: **Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego**.

Zapraszamy do odwiedzenia strony: **www.swietlik.edu.pl**



Xperimania

Leszek Jabłoński

koordynator krajowy projektu Xperimania

Czy zastanawialiście się kiedyś, z jakich materiałów zbudowane są otaczające was przedmioty?

Na to, a także wiele innych pytań, ma dostarczyć odpowiedzi **Xperimania** [czyt. „eksperimania”], projekt europejski zaproponowany szkołom przez stowarzyszenie „Appe” zrzeszające producentów materiałów petrochemicznych oraz europejską organizację edukacyjną „European Schoolnet”. Do udziału w projekcie uprawniona jest młodzież szkolna w wieku 10–20 lat, a jego głównym celem jest zainteresowanie uczniów nowoczesnymi materiałami ropopochodnymi, badaniami ich własności oraz przygotowanie do uczestnictwa w pracy naukowej w Unii Europejskiej (nawiasem mówiąc cierpiącej na niedobór specjalistów w dziedzinie fizyki i chemii).

Wszelkie informacje – także w języku polskim – dostępne są na stronie internetowej <http://www.xperimania.net>. Oto trzy proponowane przez organizatorów formy działań uczniów:

- Uzupełnianie „**Osi czasu**” o niezamieszczone tam ropopochodne materiały syntetyczne. W dziale tym przedstawiono historię wynalezienia nowoczesnych materiałów, m.in. **nylonu, polistyrenu, bakelitu, pleksiglasu, teflonu, poliestru**. Uczniowie mogą do „osi czasu” dodać informacje o innym materiale petrochemicznym.
- W dziale „**Czaty**” znajdują się zapowiedzi bądź sprawozdania z rozmów z ekspertami. Do końca 2007 r. odbyły się dwa czaty: pierwszy na temat nylonu i innych materiałów syntetycznych stosowanych w modzie, a tytuł drugiego to „Sport i nauka: w jaki sposób igrzyska olimpijskie uzależnione są od petrochemii?”. Rozmowy prowadzone są w języku angielskim. Dla uczniów wspomaganym przez nauczyciela jest to na pewno ciekawa forma zajęć lekcyjnych. Kolejne czaty będą sukcesywnie zapowiadane.
- Udział w konkursie na oryginalne, proste i zabawne doświadczenie dotyczące badania nowoczesnych materiałów syntetycznych. Konkurs prowadzony jest w kategoriach wiekowych 10–14, 14–20 i 10–20 lat.

Na pewno warto przystąpić do Xperimania, szczególnie jeśli zależy nam na popularyzacji w szkołach fizyki – przedmiotu na ogół nie wzbudzającego zbyt wiele sympatii.

Kto z młodych ludzi nie marzy o super-sprzęcie sportowym, czy ekstrawaganckim modnym ubiorze? Warto więc, by pamiętali, że to fizyka i chemia są twórcami przedmiotów ich marzeń!



KOMUNIKATY REDAKCJI

SPOTKANIA ŚRODOWE W IF UJ

W roku szkolnym 2007/2008 w **środy o 16.00 w Instytucie Fizyki UJ, ul. Reymonta 4, sala 055 (parter)** odbywają się wykłady i pokazy dla młodzieży szkół średnich, jak również dla gimnazjów.

Tytuły i terminy zamieszczone są na stronie internetowej:

<http://www.if.uj.edu.pl/Foton/>

<http://www.if.uj.edu.pl/PPF/>

* * *

WARSZTATY Z FIZYKI prowadzone przez pracowników Instytutu Fizyki UJ. Spotkania w ramach warsztatów adresowane są do uczniów szkół średnich zainteresowanych fizyką. Program zajęć teoretycznych obejmuje praktyczną naukę rozwiązywania zadań z fizyki na poziomie rozszerzonego programu szkoły średniej, z naciskiem na te działy fizyki, które powszechnie uważane są za najtrudniejsze.

Podczas zajęć doświadczalnych uczestnicy warsztatów wykonują doświadczenia indywidualnie lub zespołowo. Istnieje możliwość wzięcia udziału w zajęciach w pracowni fizycznej.

Zajęcia odbywają się we **wtorki o godz. 16.30 w Instytucie Fizyki UJ, ul. Reymonta 4.**

Tematy zajęć na stronie: <http://www.if.uj.edu.pl/warsztaty/warsztaty.html>

* * *

UNIwersytet Jagielloński dla szkół

Seria cotygodniowych wykładów skierowanych do uczniów szkół średnich. Tematyka obejmuje zagadnienia nauk ścisłych i przyrodniczych. Prowadzącymi są wyróżniający się studenci i doktoranci oraz goście specjalni z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Spotkania odbywają się we **wtorki o godz. 16:00 w sali 22, V LO w Krakowie, ul. Studencka 12.** Na wszystkie wykłady wstęp wolny.

www.uniwersytetdlaszkol.pl



Maria Skłodowska-Curie

Rewolucjoniści XX wieku na banknotach



Niels Bohr



Ernest Rutherford



Albert Einstein



Erwin Schrödinger

Źródło: <http://www2.physics.umd.edu/~redish/Money>